

**Ўзбекистан Республикасы Жоқары ҳәм орта  
арнаўлы билим министрлиги**

**Бердақ атындағы Қарақалпақ мәмлекетлик  
университети**

# **Механика курсы бойынша лабораториялық жұмыслар**

Жоқары оқыу орынларының физика қәнигелигиниң студентлери  
ушын арналған оқыу қолланбасы

Нөкис – 2014

Оқыу қолланбасы улыуа физика курсының механика бөлимине тийисли болған лабораториялық жумыслардан хәм бул жумысларды орынлау ушын зәрүрли болған методикалық көрсетпелерден ибарат. Механикаға тийисли қубылыларды тереңирек үйрениу хәм эксперименталлық жумыслар алып барыуда студентлерде қәбилетликлерди, көнликпелерди пайда етиу ушын жумыстың теориялық тийкарлары, орынланыу тәртиплери, орынланған жумыслар бойынша есап бериуге керекли болған кестелерди толтырыу жоллары, жумысты орынлау ушын зәрүрли болған методикалық көрсетпелер, сүүретлер, схемалар келтирилген. Соның менен бирге оқыу қолланбасы университет студентлериниң физика илими бойынша теориялық билимлерди өзлестириулерди хәм оларды әмелде қоллана билиулерди, орта арнаулы хәм улыуа билим беретуғын мектептер ушын физика муғаллимлерин таярлау сапасын жақсылауға алып келиуи керек. Қолланба сәйкес мәмлекетлик стандартлар тийкарында дүзилген болып, 16 лабораториялық жумысты өз ишине алады.

Оқыу қолланбасы университеттиң физика қәнигелиги студентлери менен бир қатарда механика пәнин үйрениуши барлық қәнигеликлердиң студентлери ушын да пайдалы оқыу қуралы бола алады.

**Дүзиушилер:** Б.Абдикамалов, Ж.Акимова, М.Жумабаев, Х.Турекеев, Р.Хожаназарова.

<b>Пикир билдириушилер:</b>	
	Физика-математика илимлериниң докторы А.Камалов.
	Физика-математика илимлериниң кандидаты Е.Өтениязов.

Оқыу қолланбасы Бердақ атындағы Қарақалпақ мәмлекетлик университетиниң илимий кеңесиниң 2014-жыл \_\_-май күнги мәжилисинде мақулланды хәм баспаға усынылды. Протокол саны \_\_.

## МАЗМУНЫ

Кирисиу.	4
Өлшеулерге тийисли болған улыуамалық түсиниклер.	4
Өлшеулер барысында жиберилетуғын қәтелер хаққындағы мағлыуатлар.	5

Өлшеу нәтижелерін жазып барыу хәм лаборатория жұмысын орынлаудың жууақлары хаққында есап дүзиу қағыйдалары.	7
Физикалық практикумындағы студентлердиң шынығыу жұмыслары.	7
Студентлер ушын еслетпелер.	8
Механика бойынша лабораториялық жұмысларды рәсимийлестириу бойынша көрсетпелер.	9
1-санлы лабораториялық жұмыс. Нониусларды үйрениу.	15
2-санлы лабораториялық жұмыс. Тәрезиде дәл өлшеу.	24
3-санлы лабораториялық жұмыс. Қатты денелер менен суйықлықлардың тығызлығын пикнометр хәм гидростатикалық усыллар жәрдемінде анықлау.	35
4-санлы лабораториялық жұмыс. Пружиналы маятниктиң тербелислерин үйрениу.	41
5-санлы лабораториялық жұмыс. Байланысқан механикалық системалардың тербелислерин үйрениу.	50
6-санлы лабораториялық жұмыс. Маятниктиң жәрдемінде еркин түсиу тезлениуин табыу.	56
7-санлы лабораториялық жұмыс. Сүйкелис коэффициентин трибометр жәрдемінде анықлау.	63
8-санлы лабораториялық жұмыс. Импульстиң сақланыу нызамын үйрениу.	68
9-санлы лабораториялық жұмыс. Денелердиң еркин түсиу нызамларын Атвуд машинасының жәрдемине үйрениу.	76
10-санлы лабораториялық жұмыс. Серпимлилик модулин стерженди созыу хәм ийиу арқалы анықлау.	82
11-санлы лабораториялық жұмыс. Қатты денелердиң айланбалы қозғалысларын үйрениу.	89
12-санлы лабораториялық жұмыс. Эпиуайы формаға ийе болған денелердиң инерция моментлерин анықлау хәм Гюйгенс-Штейнер теоремасын буралуу тербелислери усылында тексеру.	94
13-санлы лабораториялық жұмыс. Балластикалық маятник жәрдемінде снарядтың ушыу тезлигин анықлау.	101
14-санлы лабораториялық жұмыс. Айланыушы балластикалық маятниктиң жәрдемінде снарядтың ушыу тезлигин анықлау.	105
15-санлы лабораториялық жұмыс. Сестинң хауда тарқалуу тезлигин, толқын узынлығын хәм хауа бағанасының меншикли тербелис жийилигин анықлау.	110
16-санлы лабораториялық жұмыс. Аэродинамика нызамларын үйрениу.	117

## **Кирисиў**

Физика эксперименталлық илим болып табылады. Сонлықтан оны үйрениўде эксперимент үлкен орынды ийелейди. Физикалық нызамлар тәжирийбелер тийкарында ашылады, ал нызамларды пайдаланыўдың шеклери сол тәжирийбелерде анықланады. Студентлер физика лабораториясында тийкарғы физикалық қубылысларды эсбап-үскенелердиң жәрдемінде өз көзлери менен көреді, тереңирек үйренеди, өлшеўлер менен шуғылланады хәм алынған нәтийжелерди талқылаў және қайта ислеў мәселелери менен танысады.

Улыўма физика курсынан лабораториялық жумысларды орынлаў жумысларын шөлкемлестиргенде хәм өткерийде биринши гезекте төмендеги жағдайларға дыққат аўдарыў усынылады:

1). Студентлердиң тийкарғы физикалық нызамлар менен қубылыслардың мәнисин терең өзлестирийи;

2). Тәжирийбе өткерий усылын дурыс таңлап алыў, физикалық шамалардың мәнислерин өлшеўлердиң жәрдемінде анықлаў хәм олардың дурыслығын сәйкес формулалардың жәрдемінде тексерип көрийди үйрениўи;

3). Эсбап-үскенелердиң ислеўи менен физикалық өлшеўлердиң нәтийжелерин талқылап, математикалық жоллар менен оларды қайтадан ислеп шығыў усылларын үйрениўи.

Оқыў қолланбасында хәр бир лабораториялық жумысты орынлаў ушын керекли эсбаплардың атамалары, олардың ислеў принципери, жумыстың орынланыў тәртиби хәм студенттиң қарап атырған мәселе бойынша билим дәрежесин тексерип көрийи ушын қадағалаў сораўлары келтирилген.

Оқыў қолланбасына механикаға тийисли болған 16 лабораториялық жумыс киргизилген. Жумысларды орынлаў ушын зәрүрли болған теориялық мағлыўматлар, тәжирийбелерди орынланыў тәртиби, есап берийи ушын керекли болған кестелерди толтырыў жоллары, жумысты орынлаў ушын керекли сүүретлер, схемалар хәм графиклер келтирилген. Олардың барлығы да механикалық қубылысларды терең үйрениўге жәрдем береді.

Қолланба жоқары оқыў орынларының физика хәм басқа да тәбийий пәнлер қәнигеликлери студентлер ушын арналған.

## **Өлшеўлерге тийисли болған улыўмалық түсиниклер**

Физика илимин үйрениў барысында нәзерде тутылатуғын тәжирийбелер менен әмелий шынығыўлар студентлер алдындағы еки мақсетти белгилеп береді:

- бириншиден, студентлердің өлшеуі әсбаптары, үскенелер менен танысуына хәм физикадағы шамаларды өлшеулердің тийкарғы усылларын үйрениуге имканият бериу;

- екіншиден, тәбияттағы хәр қыйлы қубылыс хәм нызамлықлардың физикалық тийкарлары менен тереңирек танысуы имканиятын жаратыу.

Әдетте қубылыслар менен нызамларды терең түсиниу үшін лекциялардың барысындағы физикалық демонстрацияларда өткерилетуғын экспериментлер жеткиликли емес деп есапланады. Бундай экспериментлерди оқытуышы ямаса демонстрациялық экспериментти өткериу хызметин атқаратуғын лаборатория хызметкери өткереди, ал студент тек бақлаушы хызметин атқарады. Ал лабораториялық жумысларда болса студент бақлаулар менен өлшеулерди өзи өткереди хәм сонлықтан физикалық нызамларды тереңирек үйрениуге мүмкиншилик тууылады.

Қәлеген физикалық шаманы өлшеудің баслы мәниси өлшенип атырған шаманың өлшем бирлиги сыпатында қабыл етилген шамадан неше есе үлкен ямаса неше есе киши екенлигин анықлаудан ибарат. Әдетте физикалық шаманың мәнисин дәл өлшеу үлкен машқала болып табылады. Хеш бир экспериментте массаның, узынлықтың, басқа да физикалық шамалардың мәнислердің дәл мәнисин анықлай алмайды.

Көпшилик жағдайларда экспериментте зәрүрли болған шама емес, ал усы шама менен байланыслы болған басқа шамалар өлшенеди. Бул байланыс физикалық нызамлар менен принциптерден келтирип шығарылады хәм өлшеу нәтийжелерине тийкарланып есапланып, зәрүрли болған мәнислер анықланады. Усының нәтийжесинде көпшилик жағдайларда зәрүрли болған шаманы өлшеу үшін усы шама менен байланыслы болған басқа физикалық шаманы ямаса бир қанша физикалық шамаларды өлшеу керек болады.

Физика лабораториясында өлшеу жумысларын орынлауда тийкарынан төмендегидей операцияларды орынлау керек болады:

- өлшеуши әсбаптарды туурылап орнатып алыу;
- бақлау хәм өлшеу;
- алынған санлы мағлыұматларды пайдаланып есаплау операцияларын орынлау, өлшеулердің дәллиги менен жиберилген қәтеликлердің шамасын анықлау.

## **Өлшеулер барысында жиберилетуғын қәтелер хаққындағы мағлыұматлар**

Пайдаланып атырған қәлеген өлшеу әсбабының сезгирлиги менен дәллиги белгили бир шеклерге ийе. Сонлықтан өлшеулердің нәтийжелери бизге өлшенип атырған шаманың хақыйқый дәл мәнисин

емес, ал усы мәниске жақын мәнисти береді деп болжаймыз. Мысалы, егер дененің салмағы 0,1 мг шамасына шекемгі дәллікте өлшейтуғын тәрезиде өлшенген болса, онда дененің өлшенген салмағының оның салмағының дәл мәнисінен  $\pm 0,1$  мг шамасынан үлкен емес айырмаға ийе болатуғынлығын аңғарыуымыз керек.

Өлшенип атырған шаманы өлшем бірлігінің қандай ең киши үлесіне шекемгі дәллікте исенімлі түрде өлшеу мүмкін болса, онда сол үлестің шамасы өлшеу нәтижесінің дәллік дәрежесі болып табылады. Өлшеу дәллігінің дәрежесі өлшеулерде қолланып атырған әсбаптарға хәм өлшеудің улыума усылларына байланысly. Физика лабораторияларында әдетте шаманы 0,1 процентке шекемгі дәллікте өлшеу менен шекленеді. Тек базы бір жағдайларда ғана бір қанша дәлірек өлшеуге ерисиу мүмкін. Мысалы, салмағы 200 Г болған дененің салмағын 0,1 мГ ға шекемгі дәллікте өлшейтуғын тәрезиде 0,00005 процентке шекемгі дәлліктегі нәтижени алыу мүмкін. Көпшилик жағдайларда 0,1 процентлік дәллікте өлшеу дерлік мүмкін болмайды. Буған температураны термометрлердің жәрдемінде өлшеу мысал бола алады. Температураны әпиуайы термометрлердің жәрдемінде тек  $0,1^{\circ}$  дәллікке шекем, базы бір жағдайларда  $\pm 0,05$  градусқа шекемгі дәллікте өлшеу мүмкін. Сонлықтан температураның өзгеріуі 5 градусқа жақын болса, онда дәллік дәрежесі өлшенип атырған шаманың 1-2 процентінен аспайды.

Демек, базы бір шаманы өлшеуден бурын усы жұмыста пайдаланылатуғын әсбаптар жәрдемінде ерисилиуі мүмкін болған дәллік шегараларын анықлап алыу керек болады.

Алынған нәтижениң дәллігін жоқарылатыу ушын өлшеуді бір рет емес, ал тәжірийбе өткерилип атырған шараятларды өзгертпей бір неше рет қайталайды.

Өлшеулердің барысында жиберилетуғын қәтелерді системалы түрде жиберилетуғын хәм тосаттан жиберилетуғын қәтелер деп екіге бөледі.

Системалы түрде жиберилетуғын қәтелер өлшеу әсбаптарының кемшилигі, өлшеу дәллігінің төменлігі, өлшеу усылының дурыс емеслігі ямаса бақлаушының дурыс емес өлшеуі нәтижесінде жибериледи. Бундай қәтелердің шамасын анықлаудың бирден-бир жолы өлшеулерді хәр қыйлы әсбаптардың жәрдемінде әмелге асыруы болып табылады. Өлшеулерді бір неше рет тәкірарлау алынған нәтижелердегі системалы түрде жиберилетуғын қәтелердің шамасын киширейтпейді. Сонлықтан бір әсбапта системалы түрде жиберилетуғын қәтелерді сапластыруы ушын әсбаптарды жақсылап көріп шығыу, тәжірийбелерді басқа да әсбап-үскенелердің жәрдемінде орынлау хәм жұмысты орынлау ушын жаратылған шараятларды жақсылау керек болады.

Тосаттан жиберилетуғын қәтелер тәжирийбе өткизиўшиниң өзиниң өлшеў процессиниң барысында тосаттан жиберетуғын қәтеси нәтийжесинде жүзеге келеди. Бундай қәтелердиң шамасы итималлықлар (статистикалық) нызамлықларына бағынады.

Тосаттан жиберилетуғын қәтелерди сапластырыўдың бирден-бир жолы өлшеўлер санын мүмкиншилиги болғанынша көбейтиў болып табылады.

Физикалық тәжирийбелер нәтийжелерин қайта ислеў усыллары усы қолланбаның ақырында дизими келтирилген арнаўлы түрде шығарылған оқыў қолланбаларында толық түрде тәрийипленген.

## **Өлшеў нәтийжелерин жазып барыў хәм лаборатория жумысын орынлаўдың жуўмақлары ҳаққында есап дүзиў қағыйдалары**

Хәр қандай эксперименталлық жумыстың нәтийжели шығыўы тек өлшеў методикасын туўры таңлап алыныўына, пайдаланылатуғын әсбап-үскенелердиң дәллигине, өлшеў жумысларын пукталық пенен орынлаўға ғана байланыслы болып қалмай, өлшеў нәтийжелерин дурыс хәм системалы түрде жазып барыўға да байланыслы. Усыған байланыслы физикалық практикум (лабораториялық жумысларды орынлаў) ушын өз алдына дәптер – лабораториялық жумыс журналын дүзиў керек болады. Бул журналға жумыстың аты, өлшеў усыллары хәм схемалары, өлшеў нәтийжелери бойынша анықланайын деп атырған шаманы есаплаў формулалары хәм алынған нәтийжелер жазылады.

Өлшеўде алынатуғын шамаларды жазыў ушын алдын-ала тийисли кесте дүзип қойыў керек. Бул кестеде усы жумыстағы өлшеў нәтийжелери толық жазылады. Ең кейинги нәтийже, жиберилген қәтениң шамасы өлшеў нәтийжелерине тийкарланып сәйкес математикалық усыллардың жәрдемінде есаплаў жолы менен табылады.

Лабораториялық жумыстың нәтийжелери бойынша есап дүзгенде студенттиң өлшеўлер нәтийжелерин хәм оларды қайта ислеу шығыўда алынған мағлыўматларды толық жазыўы талап етиледди.

## **Физикалық практикумындағы студентлердиң шынығыў жумыслары**

1. Студент келеси лабораториялық жумысты орынлаў ҳаққындағы тапсырманы оқытыўшыдан жумысты орынламастан бурын кемінде бир хәпте бурын алады. Жумыстың тәрийиплемесиндеги көрсетилген әдебиятлардан пайдаланып, студент жоқарыда баян етилген көрсетпелерге муўапық жумысты орынлаўға таярлық көредди.

2. Оқытыушы хәр бир жумысты орынлаў алдында студенттиң жумысқа таяр екенлиги аўызша сораўлар берип тексереди; егер студент жумысты орынлаўға таяр деп есапланса, онда оған лабораториялық жумысты орынлаўға руқсат бериледи. Оқытыушы студентке эксперименталлық жумысты орынлаўға руқсат бергенлигин лаборатория журналына белгилеп қояды.

3. Студент лабораториялық жумысты орынлаў барысында оқытыушының қадағалаўында болады. Оқытыушы лабораториялық жумыстағы өлшеўлерде алынған санлы мағлыўматлардың дурыс жазыўына басшылық етеди хәм бул бойынша студенттиң лабораториялық жумыс журналына жазылған нәтийжелерге қол қояды. Оқытыушы студенттиң эксперименталлық жумысты тамамланғанын студенттиң дәптерине хәм лаборатория журналына жазып қойылады.

5. Студент экспериментте алған нәтийжелерин толық қайта ислеп шыққаннан кейин оқытыушыға тапсырады. Студенттиң жумысты орынланғанлығы хәққинда оқытыушы студенттиң практикум дәптерине хәм лаборатория журналына жазып қояды.

6. Базы бир себеплер пенен оқытыушыға орынлаған жумысы хәққинда есап тапсырмаған студентлер келеси лабораториялық жумысты орынлаўға жиберилмейди.

7. Физика қәнигелигиниң хәр бир студенти бир оқыў семестри даўамында нәзерде тутылған лабораториялық жумыслардың кеминде онын орынлаўы шәрт. Буннан соң студенттиң лабораторияда орынлаған жумыслары бойынша алған билимлери менен көнликпелери оқытыушыға тапсырылған есаплары тийкарында аўызша сораў-жуўап өткерий жолы менен анықланады.

## **Студентлер ушын еслетпелер**

1. Лабораторияда ислеў ушын студент төменде атлары келтирилген оқыў қуралларына ийе болыўы шәрт:

a). Үлкен форматтағы көп бетлик дәптер (бетлердиң саны 80-96). Бул дәптерди лабораториялық жумыслар журналы деп атаймыз.

b). Физикалық практикум (лабораториялық жумыслар) бойынша оқыў қолланбасы, басқа да оқыў әдебиятлары.

c). Миллиметрли қағаз (өлшемлери 19x28 см болған бетлер).

d). Ручкалар (олардың хәр қыйлы реңлерге ийе болғаны мақсетке муўапық келеди).

e). ТМ ямаса М маркалы қәлем хәм өширгиш.

f). Сызғыш.

Соңғы ўақытлары лабораториялық жумысларды орынлаўда компьютерлер кең түрде пайдаланыла баслады. Бундай жағдайда с-ф пунктлеринде келтирилген талаптарды орынлаўдың зәрүрлиги жоғалады хәм графиклер компьютердиң жәрдемінде сәйкес



программалар жәрдеминде (математикалық программалау тиллери ямаса графиклер соғыу бойынша арнаулы программалар) соғылады.

2. Төмендегідей унамсыз жағдайлар анықланған жағдайларда студент келеси лабораториялық жұмыстарды орынлауға жиберилмейди:

а) бурын орынланған лабораториялық жұмыс хәрекеттеги талаптар тийкарында рәсимийлестирилмеген болса (рәсимийлестириу жуумақты жазыу менен жуумақланады, ал жуумақ болса өз ишине нәтийжелерди, өлшеудин дәлигин хәм графиклерди алады);

б) орынланған, бирақ есабы дүзилмеген хәм оқытыушыға тапсырылмаған жұмыстар бар болса;

в) лабораториялық журналда зәрүрли болған жазыулар болмаса (жұмыстың аты хәм қатар саны, зәрүрли болған формулалар, тәжирийбе өткерийде қолланылатуғын әсбап-үскенениң схемасы, экспериментте алынған нәтийжелерди жазыу ушын арналған кестелер);

с) студент оқытыушының берген сорауларына қанаатландыарлы түрде жууап бере алмаса (лабораториялық жұмыстарды орынлауға таярланғанда студент физикалық практикумның қадағалау ушын берилетуғын сорауларына жууап бериуи керек).

3. Студент өлшеу ушын арналған әсбап-үскенелерди тек оқытыушының руқсаты менен ғана иске қоса алады. Жұмысты орынлаудың алдында әсбаптардың характеристикаларын жазып алыу хәм өлшеулердин избе-излигин ойлап алыу керек. Хеш бир зәрүрлик болмаса да әсбаптардың тутқаларын бурауға ямаса өзгертиуге болмайды. Лабораториядағы әсбап-үскенелердин барлығы да студентлердин жұмыс ислеуи ушын алдын-ала таярланған болады.

4. Лабораторияда қәуипсизлик техникасы қағыйдаларын қатаң түрде сақлау талап етиледи.

## **Механика бойынша лабораториялық жұмыстарды рәсимийлестириу бойынша көрсетпелер**

Лабораториялық журнал ушын 11 форматтағы (бетиниң майданы 21x29 см), бетлериниң саны 80-90 беттен кем болмаған дәптер алынады. Пружинасы бар дәптерлерди пайдаланыу усыныс етилмейди.

Лабораториялық журнал ушын қойылған дәптердин бетлерин жыртып алыу менен қосымша бетлерди желимлеп жабыстырыу қадаған етиледи.

Лабораториялық журналдағы нәтийжелердин үстине қағаз жабыстырыу ямаса ойып өшириу қадаған етиледи. Дурыс емес нәтийжелерди үстинен бир сызық сызыу арқалы белгилеу керек. Дурыс нәтийжелер усы нәтийжелер менен қатар жазылады. Егер нәтийжелердин барлығы да қәте болып шықса кестелер кайтадан

сызылады хәм оларға жаңа нәтийжелер жазылады. Дурыс емес кестениң қасына "дурыс емес" деп жазып қойыў керек.

Журналдың биринши бетине төмендегидей жазыўлар жазылады:  
 \_\_\_\_\_ факультетиниң \_\_\_\_\_ курсының \_\_\_\_\_ топары студенти (студенттиң аты, әкесиниң аты хәм фамилиясы толық жазылады) лабораториялық журналы.

Дәптердиң оң тәрәпи лабораториялық жумыстың таза жазыўлары ушын арналған. Ал дәптердиң оң тәрәпине есаплаўларды жүргизиў ушын қалдырылады. Есаплаўлардың барлығы да буннан кейин сол есаплаўлар нәтийжелерин тексерип көриў мүмкин болғандай етип пұқта жазылады.

Хәр бир лабораториялық жумыс кирисиў хәм мағлыўматлар кестеси менен басланады. Кирисиў төмендегилерди өз ишине алады:

- a). Мәселениң қысқаша тарийхы;
- b). Дүзилистиң схемасы ямаса сүўрети;
- c). Қәтелерди баҳалаў, олардың шамасын есаплаў ушын формулалар;
- d). Болжанған теориялық фәрезликлердиң сүўретлери ямаса графиклери.

Кирисиўдиң көлеми дәптердиң 1-2 бетин алыўы шәрт.

Кестелерди дүзгенде хәм толтырғанда төмендегилерди есапқа алыў шәрт:

1. Егер лабораториялық жумыс ушын арналған материаллар арасында кесте келтирилмеген болса, онда кестени үйренген материаллар, жумыстың баянламасы тийкарында дүзип алыў талап етиледи. Буның ушын кестеге қандай мағлыўматларды жазыўдың керек екенлигин, олардың қандай тәртипте хәм избе-изликте жазылатуғынлығын есапқа алыў лазым. Бос қалатуғын бағаналар менен қатарлардың болыўына жол қойыўға болмайды. Кестеде "ескертиўлер" менен "қосымшаларды" киргизиў ушын бағана қалдырыў керек.

2. Кестелерди сызғанда әпиўайы қәлемди пайдаланыў керек. Кестеге мағлыўматлардың барлығы да ручка менен жазылады.

3. Нәтийже кестеге өлшеўден кейин дәрхал жазылады. Қосымша өлшеўлер өткерилген жағдайларда алынған нәтийжелер дәптердиң (лаборатория журналының) шеп тәрәпине жазылады.

Графиклерди дүзгенде төмендегидей қағыйдаларды басшылыққа алыў шәрт:

1. Миллиметрли қағаздың өлшемлери лабораториялық журналдың бетиниң өлшемінде ямаса оның ярымына тең болыўы керек. Графиктиң стандарт емес өлшеми тек зәрүрли болған жағдайларда ғана қолланылады.

2. Графиктиң көшерлери, өлшеўлерде жиберилетуғын қәтелерди сәўлелендиретуғын ноқатлар, алынған фәрезликлердиң өзлери қәлем менен салынады, ал санларды, графиктиң атамасын ручка менен жазады. Графикти компьютердиң жәрдемінде А4 типіндеги бетке түсириў де мүмкин. График миллиметрлерде бөлинеди.

3. Графиктің атамасы шәртлі түрде толық жазылуы керек. Мысалы: "Денениң тезлениуінің шамасының тәсир етиуіші күштен ғәрезлигин сәулелендириуіші график". Атамада қысқартып жазуға болмайды. Мысалы: "а ның F тен ғәрезлиги" Графиктің атамасы миллиметрлі қағаздың жоқарысына жазылады.

4. Масштаблар төмендегидей талаптардың орынланыуы үшін сәйкес түрде сайлап алынады:

а). Эксперименталлық мағлыұматлар менен ғәрезлилик беттің үлкен бөлимін алыуы керек;

б). Миллиметрлі қағаздың бір клеткасы көшерге қойылатуғын шаманың 1, 2, 5, 10 бирлигине сәйкес болуы керек;

с). Көшерлерге 20000, 30000, 40000 сыяқлы санларға сәйкес келиуіші шамалар қойылатуғын болса, онда бундай үлкен санлардың орнына 2, 3, 4 хәм басқа да санлар жазылып, көшердің ушында (көшердің ушы стрелка болып табылады) келтирилген физикалық шама  $10^{-4}$  санына көбейтиледі;

д). Егер сызықлы ғәрезлилик ҳаққында гәп етилип атырған болса, онда алынған сызықтың абсцисса көшериниң оң тәрәпиндеги қыялық мүйеши 40–70 градус шеклеринде болуы керек;

е). Көшерлердің хәр қайсысы дәптер бетиниң шетинен 1,5-2 см қашықлықта турыуы шәрт.

Көпшилик студентлер графиктің көшерлерине өлшенген шамаларды нолден баслап қояды (яғный координата басына нол сәйкес келеди). Бирақ бир қатар жағдайларда шамаларды нолден баслап қойуыдың кереги жоқ. Графиклерди дүзгенде көшерлер кесилискен ноқатқа талап етилетуғын шаманы (бирақ бул шаманың мәниси оң болуы керек) қойуыға руқсат етиледі.

5. Көшерлерге тек масштаблық санлар ғана қойылады, ал эксперименталлық ноқатлар санлары қойылмайды.

6. Көшердің ушында стрелка қасына өзгериуіші физикалық шаманың белгиси, буннан кейин үтир белгиси қойылып өлшеу бирлиги белгиси жазылады. Мысалы: m, кг.

7. Графикти лаборатория журналына (лабораториялық журналға) муқыятлы түрде дәптердің шеп тәрәпине желим менен жабыстырылады. График сызылған миллиметрлі қағаздың дәптерден шығып турмауы керек.

8. Байланыслардың графиклерин дүзгенде төмендегилерди естен шығармау лазым:

а). Эксперименталлық ғәрезликлердің (байланыслардың) тууы сызық түринде, яғный сызықлы байланыс түринде алынғаны мақсетке мууапық келеди. Себеби қыялық мүйеши, көшерлер менен кесилисиу ноқатлары көпшилик жағдайларда әхмийетли информацияларға ийе болады. Усындай мақсетлерде, яғный ғәрезлиликте сызықлы түрге алып

келиуі үшін графиктерди логарифмлик, квадратлық хәм басқа да масштабларда қурады;

б). Егер тәжірийбелерде алынған байланыс (ғәрезлик) сызықты емес болып шықса ямаса сол байланысты масштабларды сайлап алыу жолы менен сызықты байланысқа айландыру мұмкиншилиги табылмаса, онда эксперименталлық графиктерди нәтийжелердің қәтеси областының ортасы бойынша тегисленген иймеклик түрінде қурады. Бундай жағдайда сол тегисленген сызықтың еки тәрәпиндеги (астындағы хәм үстиндеги) ноқатлардың санларының шама менен бирдей болыуы кереклиги хәққындағы қағыйданы умытпау керек;

в). Кесик сызықлар түріндеги градуировкалық деп аталатуғын графикти буннан былай өткерилетуғын эксперименттерде тәжірийбе ушын жыйналған дүзилістің өзине тән өзгешеликтерин есапқа алыу ушын қурады. Градуировкалық графиктерди гейде калибровкалық графиктер деп те атайды;

с). Теориялық байланыслар (ғәрезликтер) графиктерин сызғанда ноқатлардың қәтелери жазылмайды. Бирақ теориялық формулаларға шамалар өлшегенде жиберилетуғын қәтелери менен қатнасауғын жағдайларда ноқатлардағы орын алған қәтелердің мәнислерин жазыу керек;

е). Эксперименталлық графиктер эксперименталлық нәтийжелер жоқ болған областлар арқалы өте алмайды. Бирақ айырым жағдайларда графиктерде алынған сызықларды тәжірийбеде алынған шамалардың өзгеріу интервалларынан тыстағы областларда да дауам етиу мұмкин (мысалы аппроксимациялағанда, теориялық нәтийжелерди эксперименттерде алынған нәтийжелер менен салыстырып көрилгенде хәм тағы басқалар);

д). Сызықты байланысты тек еки ноқат бойынша анықлауға болмайды. Үш ноқат арқалы анықланған байланыстың дурислығы гүмән туудырады. Сонлықтан алынған нәтийжелердің исенимли болыуы мақсетинде ноқатлардың санын мұмкин болғанынша көбейтиуге тырысыу керек.

9. Графиктеги эксперименталлық ноқатларды кишкене дөңгелектер түрінде белгилейди. Егер байланыслар (ғәрезликтер) саны бир неше болса, онда мағлыұматлардың хәр бир сериясының үш мүйешликтер, квадратлар, боялмаған дөңгелектер, боялған дөңгелектер хәм басқа да белгилер менен белгилениуі мұмкин. Ал компьютерлерди пайдаланған жағдайларда хәр қыйлы байланыслар хәр қыйлы реңлердеги сызықлардың жәрдемінде көрсетиледи. Хәр қыйлы ғәрезликтер де хәр қыйлы сызықлар менен сызылады: тутас, пунктир, штрих-пунктир хәм басқалар. Сол сызықлардың қапталына сызықтың қатар санын ямаса басқа да көрсеткиштерди қойыу мұмкин. Ал графиктиң мүйешине қайсы графиктиң қандай байланысқа сәйкес келетуғынлығын көрсетиу мақсетке мууапық келеди.

10. Ҳәр бир ноқаттағы жиберилген қәтениң шамасын вертикаллық ямаса горизонталлық бағыттағы жиңишке сызықтың жәрдемінде белгиленип қойылады.

11. Экспериментлердиң нәтийжелери бойынша дүзилген графиклердиң қәтесиз болыуы мүмкин емес. Егер экспериментлерде алынған шамалардағы қәтелери жүдә аз ҳәм график масштабларында дерлик көринбейтуғын болса, онда "қәтелер көрсетилген ноқатлардың сызықлы шеклерінде" деген стандарт гәпти (фразаны) жазып қойыуы усынылады.

12. Егер анықланыуы керек болған физикалық шаманың мәниси графиктиң жәрдемінде анықланатуғын болса, онда усы шаманы анықлау ушын зәрүрли болған барлық байланысларда графикке киргизиу керек болады.

Лабораториялық жумыслардың нәтийжелери бойынша жуўмақлар жазыу қәлеген илимий изертлеу ушын жуўмақ жазыудың ең әпиуайы модели болып табылады. Жуўмақ нәтийжениң баянламасынан ибарат текст болып табылады. Соның менен бирге жуўмақ жазыу дәретиушилик мийнеттиң бир түри болып табылады. Сонлықтан жуўмақ жазыу студенттен жумыстың орынланыу барысында нелерди ислегенлигин ҳәм қандай нәтийжелерди алғанлығын дурьс түсиниуин, илимий терминологияны пайдалана билиу қәбилетлигин, қысқа түрде баянлау уқыплығын қәлиплестиреди.

Лабораториялық жумысқа жазылатуғын жуўмақ өз ишине төмендегидей тийкарғы блоklarды қамтыуы керек:

1. Жумыстың қандай усыл ҳәм қандай әсбаплар менен орынланғанлығын қысқаша баянлау. Бундай жағдайда лабораториялық жумыстың тәрийиплемесиниң кирисиу бөлиминиң қайталанбауы шәрт.

2. Өлшеулер орынланған диапазонды сайлап алыуды, өлшеулер арасындағы интервалларды ҳәм неше рет өлшеулердиң жүргизилгенлигин тийкарлау.

3. Қандай усыллардың жәрдемінде мағлыұматлардың қайта исленгенлигин, нәтийжелердиң қалай пайдаланылғанлығын (масалы графиктиң қалай қурылғанлығын, константалардың қалай есапланғанлығын ҳәм басқаларды) баянлау. "Туұрылар жуп ноқатлар усылы тийкарында сызылды" түриндеги гәптиң жазылыуы мақсетке муўапық келеди.

4. Алынған графиклерди тәрийиплеу. Бундай жағдайда экспериментте алынған нәтийжелер менен теориялық есаплаулар берген нәтийжелерди бир биринен айырып көрсетиу талап етиледі. Төмендеги жағдайларды түсиниу айрықша әҳмийетке ийе:

а). Экспериментте алынған нәтийжелер менен теориялық есаплаулардың нәтийжесинде алынған шамалардың бир бири менен толық сәйкес келиуи шәрт емес;

б). Ҳеш бир эксперименталлық нәтиҗе дәл җақыйқый мәниске сәйкес келмейди. Басқа усыл ямаса басқа асбаптың жәрдеминде өткерилген өлшеулерде дәслепки алынған шамалардың мәнисине сәйкес келмейтуғын нәтиҗелердиң алынуы мүмкин. Экспериментлердеги өлшеулердиң дәллик дәрежеси алынған мағлыұматлардың санына җәм җәр бир мағлыұматтағы бар қәтениң шамасына байланыслы;

с). Эксперименттиң жәрдеминде теориянының дурыслығын тастыйықлау ямаса тексерип көриу мүмкин емес. Себеби экспериментлерде алынған мағлыұматлар қандай да бир теорияның пайдасы ушын ғана хызмет ете алады. Сонлықтан эксперименттиң берген нәтиҗелериниң теория менен сәйкес келиу дәрежеси җаққында ғана айтыу мүмкин.

Мысалы "алынған нәтиҗелер энергияның сақланыу нызамының дурыслығын тастыйықлайды" деп жуумақ шығарыу дурыс емес болып табылады. Ал дурыс жазылған жуумақта "алынған нәтиҗелер энергияның сақланыу нызамына толық сәйкес келди" түриндеги фраза жазылады.

5. Барлық жағдайларда да жиберилген қәтелердиң системалы қәтелер менен тосаттан жиберилетуғын қәтелер болып табылатуғынлығын естен шығармау керек.

6. Қәтелердиң дереклерин таллау. Эксперимент методикасындағы җәм эксперименталлық үскенениң характеристикаларындағы кемшиликлериниң җақыйқый себеплерин табыуға тырысыу зәрүр. Сәтсиз алынған деп есапланатуғын нәтиҗелерди түсиндириу мақсетинде эсбаплардың көрсетиулерине, олардың дәллик дәрежесине сүйениуге болмайды.

7. Егер сәйкес теория ямаса нызам бар болатуғын болса эксперименттиң нәтиҗелериниң усы теорияға ямаса нызамға сәйкес келетуғынлығын ямаса сәйкес келмейтуғынлығын таллау. Жиберилген қәтелер шеклеринде теория менен эксперименттиң нәтиҗелериниң бир бирине сәйкес келгенлигин ямаса келмегенлигин атап өтиу зәрүр. Бул жағдайда да тәжирийбе өткерийши өз пикирин ашып билдириу керек җәм жүдә дәл емес болған бақаларды да берий мүмкин. Мысалы, "қанаатландырарлықтай дәрежеде сәйкес келеди, толық сәйкес келеди, дәл сәйкес келеди җәм тағы басқалар" җаққында жазыуға болады.

Жуумақ жазылғанда тартым сеплеуиндеги сөзлер жазылмайды. Мысалы: "Бул жумыста бийиклик пенен еркин түсиу тезлениуи арасындағы байланыс изертленди". Биринши ямаса үшінши адам атынан жазыу усыныс етилмейди. Баянлаудың бирден бир әдебий стилиниң сақлауи зәрүрли. Қурамалы ямаса узыннан-шубай гәплерди пайдаланбаған мақул.

Өлшеулерде алынған барлық шамалар җәм олардың китапларда келтирилген мәнислери бир есаплау системасының бирликлеринде

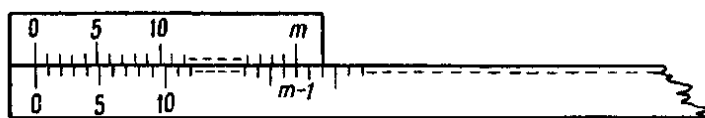
жазылады. Соның менен бирге экспериментте хәм китаптардан алынған мәнислер арасындағы айырмалардың талланғанлығы мақул.

## 1-санлы лабораториялық жұмыс Нониусларды үйрениу

Нониус деп өлшеуши эсбаптың әдеттеги сызықлы ямаса мүйешлик масштабына қосымша түрде пайдаланылатуғын екінши масштабты айтады. Усындай қосымша түрде пайдаланылатуғын масштабтың жәрдемінде өлшеудің дәллигин 10-20 есе жоқарылатыуға болады.

Нониусты пайдаланғанда еки масштаб ҳаққында гәп етиуға тууры келеди. Бириншиси сызғыштағы ямаса мүйеш өлшейтуғын эсбаптағы тийкарғы масштаб. Ондағы сызықлар арасындағы қашықлық әдетте 1 мм ямаса 1 мүйешлик градусқа тең. Нониустың қозғалатуғын бөлеги болған екінши масштабта сызықлар арасындағы қашықлық 1 мм ге ямаса 1 градусқа тең болмайды (бул жағдай 1-сүүретте көринип тур).

Экспериментаторлар узынлықларды хәм мүйешлерди дәл өлшеу ұсылларын жүдә жоқары дәрежеде жетилистирди. Компараторлар деп аталатуғын хәм узынлықты 1 микронға шекемги ( $1 \mu = 1 \text{ мкм} = 1 \text{ мкм} = 10^{-4} \text{ см}$ ) дәлликте өлшеу ушын бир қатар арнаулы эсбаптар дәретилди.



1-сүүрет.

Бул эсбаптардың көпшилигинде узынлықларды өлшеу ушын микроскоптарды хәм басқа да оптикалық эсбаптар пайдаланылады. Бирақ бул эсбаптардың барлығы да қосымша есаплаушы бөлимлер болған нониустар ямаса микрометрлер менен үскенеленген. Гейпара жағдайларда узынлықты өлшеуде салыстырмалы дәлликтиң миллиметрдің жүзден бир бөлегине, мүйешлерди өлшеуде болса салыстырмалы дәлликтиң минутларға ямаса минуттың бөлимлерине тең болуы талап етиледі. Бундай жағдайларда нониустарға ийе болған сызғышлар менен мүйеш өлшегішлерден пайдаланыу зәрүрлиги пайда болады. Бундай эсбаптарға мысал ретінде штангенциркулди, буссолди хәм кипрегелди көрсетиуға болады.

Сызықлы нониус деп масштаб деп аталушы бөлимлерге бөлінген үлкен сызғыш бойлап сырғанап жүре алатуғын кишкене сызғышқа айтылады (1-сүүрет). Нониустың масштабының бир бөлими масштабың  $\frac{m-1}{m} = 1 - \frac{1}{m}$  бөлиmine тең болады. Бул аңлатпада  $m$  арқалы нониустың сызықлар менен ажыратылған бөлимлериниң саны белгиленген. Усындай жағдайда нониус жәрдемінде өлшеу нәтийжесин масштабтың

ең киши бөлиминің  $1/m$  үлесиндей дәлликке шекем жоқарылатыўға болады.

Мейли тийкарғы масштабтың қоңсылас штрихлары арасындағы қашықлық  $y$ , ал нониустың қоңсы штрихлары арасындағы қашықлық  $x$  шамасына тең болсын. Бундай жағдайда  $x = y - \left(\frac{y}{m}\right)$  түриндеги аңлатпаны жазыў мүмкин. Буннан  $mx = (m - 1)y$  теңлиги келип шығады. Бундай жағдайда

$$\Delta x = y - x = \frac{y}{m} \quad (1)$$

шамасы нониустың дәллиги деп аталады. Бул шама нониусты пайдаланғанда жиберилетуғын максималлық қәтени анықлайды. Масштаб бөлимлери жеткиликли дәрежеде майда болғанда нониустың бөлимлерин үлкенирек етип алынады. Мейли  $x_1 = 2y - \frac{y}{m}$  теңлиги орынланатуғын болсын. Бундай жағдайда

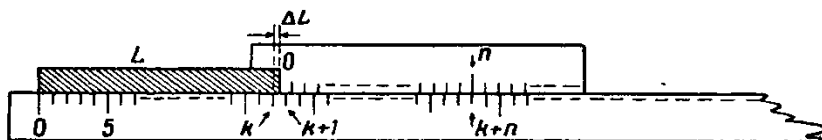
$$mx_1 = (2m - 1)y$$

хәм нониустың дәллиги дәслепки алынған

$$\Delta x_1 = y - x_1 = \frac{y}{m}$$

шамасындай болып қала береді.

Нониустың қәлеген аўхалында масштабтың бир бөлими нониустың қандай да бир бөлиминің үстине сәйкес келеді. Нониус бойынша шаманың мәнисин есаплаў нониус пенен масштабтың бөлеклеринің сәйкес келиўин көздің айыра алыў қәбилетлигине тийкарланған.



2-сүүрет

Енди сызықлы нониустың жәрдемінде өлшеў усылларын үйренемиз.

$L$  арқалы өлшеніп атырған кесиндинің узынлығы белгиленсин (2-сүүрет). Бул кесиндинің бир ушын тийкарғы масштабтың ноллик сызығына туўры келтиремиз. Усындай жағдайда кесиндинің екінши ушы масштабтағы  $k$  сызығы менен  $(k + 1)$  сызығы арасында жайласқан деп есаплайық.

Бул жағдайда

$$L = ky + \Delta L$$

аңлатпасын жазыў мүмкин. Бул аңлатпада  $\Delta L$  арқалы масштабтың  $k$  сызығынан үлкен, ал шамасы еле белгисиз болған қашықлық белгиленген.

Енди  $L$  кесиндинің ушына нониустың нолинши сызығын туўры келетуғындай етип жайластырамыз. Нониус бөлимлеринің узынлығы масштаб бөлимлеринің узынлығына тең болмағанлықтан нониуста



қәлеген  $n$  номерли бөлими табылады хәм бул бөлимнің сызығы масштабқа тийисли  $(k + n)$ -бөлимнің сызығына жүдә жақын келеди. 2-сүўреттен көринип турғанындай,

$$\Delta L = ny - nx = n(y - x) = n\Delta x$$

хәм усыған байланыслы кесиндинің толық узынлығы:

$$L = ky + n\Delta x$$

шамасына ямаса (1) - аңлатпаға тийкарланып

$$L = ky + n \frac{y}{m} \quad (2)$$

аңлатпасына ийе боламыз.

Бул формуланы төмендегише тәрийиплеў мүмкин:

Нониустың жәрдеминде өлшенген узынлық мынаған тең: масштабтың пүтин бөлимлеринің саны плюс нониустың дәллиги менен масштабтың базы бир бөлимине сәйкес келетуғын нониустың бөлимнің номеринің көбеймеси.

Бул усыл менен өлшеўде жүз бериўи мүмкин болған қәте нониустың  $n$ -бөлими менен масштабтың  $(k + n)$ -бөлимнің бир-бирине туўры келмей қалыўы себепли пайда болады. Бул қәтениң мәниси  $\frac{1}{2} \Delta x$  шамасынан үлкен болмаўы керек. Себеби бул бөлимлеринің бир-бирине туўры келмей қалыўы сезилерли дәрежеде үлкен болса, ең жақын турған оң хәм шептеги бөлимлеринен биреўине тийисли масштаб хәм нониус сызықларының бир-бирине туўры келмеўи  $\frac{1}{2} \Delta x$  дан киши болады деп есаплаймыз. Демек нониустың қәтелиги оның дәллигинің ярымына тең деп айта аламыз.

Масштаб бөлимлеринің узынлығы хәм нониус бөлимлеринің саны, соған сәйкес нониустың дәллиги хәр қыйлы болады.

Шеңбер тәризли нониустың ислеў принципи сызықлы нониустан ҳеш қандай өзгешелиги жоқ. Шеңбер тәризли нониус – градусларға ямаса оннан да киширек бөлимлерге бөлінген шеңбер бойлап сырғанай алатуғын доға түриндеги сызғыш (3-сүўрет) болып табылады. Бул сызғышта да  $m$  дана сызықлар сызылып, олар арасындағы улыўмалық узынлық  $m - 1$  шамасына тең, яғный:

$$m\alpha = (m - 1)\beta.$$

Бул аңлатпада  $\alpha$  хәм  $\beta$  арқалы градусларда ямаса минутлардағы нониустың бөлимлеринің (сызықлар арасындағы қашықтықтың) баҳасы ( $\alpha$ ) менен лимбның ең киши бөлимнің баҳасы (еки сызығы арасындағы қашықтықтың шамасы) белгиленген.

Шеңбер тәризли нониустың  $\Delta\alpha$  дәллиги (1)-формулаға уқсас формула менен анықланады:

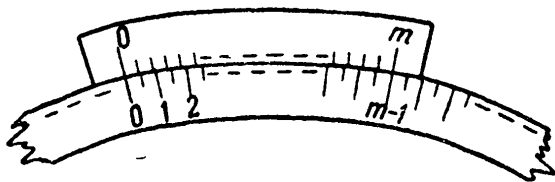
$$\Delta\alpha = \frac{\beta}{m}.$$

Шеңбердің нолине салыстырылып есапланатуғын мүйешлердің мәнислери

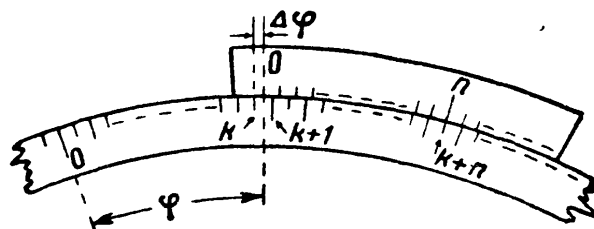
$$\varphi = k\beta + n \cdot \Delta\alpha$$

формуласының жәрдеминде анықланады.

Мүйешлерди еки бағытта (саат стрелкасының қозғалыуы бағытында хәм оған кери бағытта) өлшеу мүмкин болған әсбаплардағы шеңберли нониуслар көбинше еки бирдей шкаладан ибарат болып, олар нолдиң еки тәрeпинде жайласқан.



3-сүүрет.



4-сүүрет.

Жоқарыда айтылған нониуслардан да дәл өлшейтуғын нониуслар тек прецизиялық (яғный жүдә дәл өлшеу талап етилетуғын) хәм астрономиялық әсбапларда қолланылады. Базы бир уақытларда градустың оннан бир үлеслерин көрсетиуши нониуслар да қолланылады.

Өлшеулерди аңсатластыруу ушын нониусларға лупалар ямаса көриу трубалары бекитилген болады. Егер нониусларға қосымша оптикалық дүзиліслер бекитилмеген болса өлшеулер ушын әдеттеги лупаларды пайдалану мүмкин.

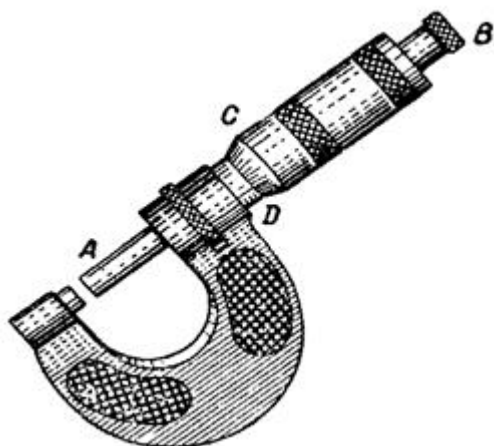
## 1-тапсырма

### Металл пластинканың қалыңлығын микрометр менен өлшеу

**Керекли әсбап хәм үскенелер:** 1) микрометр, 2) металл пластинка.

**Микрометрдиң қурылысы.** Микрометр сымлардың диаметрин, жуқа пластинкалардың қалыңлығын хәм басқада усыларға уқсас буйымлардың сызықлы өлшемлерин өлшеу ушын қолланылады. Ол тискаға уқсаған болып, өлшенетуғын предмет бул тисканың винти менен қысып қойылады. Винттиң адымы әдетте 1 мм ямаса 0,5 мм болады. А винттиң стерженине С барабан кийгизилген болып, бул барабанның бетинде 50 ямаса 25 бөлімлі шкала бар (5-сүүретте көрсетилген). Винтти қысып қойғанда барабан шкаласының нол сызығы сызықлы шкала (D) ның нолине тууры келеди.

Өлшенетуғын предметти винт пенен оның қарама-қарсы тәрeпиндеги таяныш арасына қойып, винт В ушынан бурап предметке тийгизиледи. Сызықлы шкаладан миллиметрлер барабан шкаласынан миллиметрдиң жүзден бир үлеслеринде табылады.



5-сүрөт.  
Микрометр.

Бул эсбап бенен өлшегенде жиберилетуугын қәтелердиң тийкарғы себеби винттиң өлшенип атырған затты тең өлшеўли қыспаўы менен байланыслы. Бундай кемшиликти сапластырыў мақсетинде микрометрлерге қосымша түрде арнаўлы қурылмалар бириктириледі.

**Өлшеўлер.** Микрометрди ислетиўден алдын оның дурыс ислейтуғынлығына, яғный оның ноллик сызықларының бир бирине сәйкес келиўине итибар беріў керек.

Пластинканы винт пенен оның қарсысындағы таяныш арасына орналастырады хәм С барабаны айландырылып винттиң ушын пластинканың бетине алып келеді. В бурғыны бураў жолы менен винтти пластинкаға тийгизиў керек.

Винт пластинка бетине тийгенде хәлсиз сес шығады. Буннан кейин В бурғыны айландырыўдың пайдасы жоқ, С барабанды айландырыўға болмайды. Есаплаўларды шкалаларға қарап орынлайды: сызықлы шкала бойынша миллиметрлер, ал миллиметрдиң бөлеклери барабандағы шкаладан анықланады.

Пластинканың қалыңлығын өлшегенде оның төрт мүйешине жақын орынларда кеминде 4 рет өлшенеди (олардың мәнислерин  $d_1, d_2, d_3, d_4$  арқалы белгилеймиз. Пластинканың қалыңлығының хақыйқый мәниси  $d$  алынған нәтийжелердиң орташа арифметикалық мәниси сыпатында алынады. Алынған нәтийжелерди 1-кестеге жазады.

1-кесте

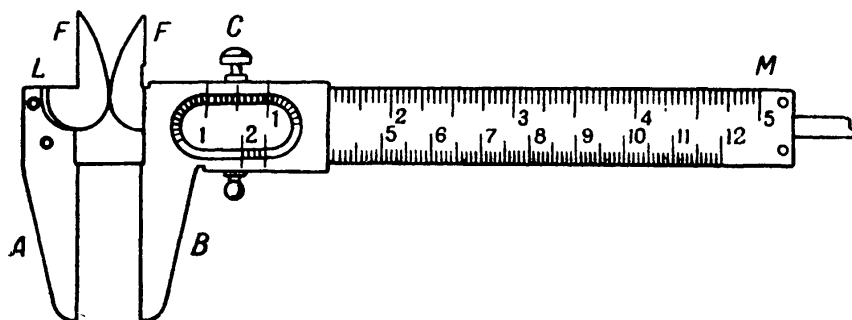
№	$d_1, \text{мм}$	$d_2, \text{мм}$	$d_3, \text{мм}$	$d_4, \text{мм}$	$d_{\text{орт}}, \text{мм}$	$\Delta d, \text{мм}$	$\frac{\Delta d}{d} \cdot 100 \%$
1							
2							
3							
4							
Орт.							

## 2-тапсырма

### Түтікшениң көлемин хәм түтікше материалының тығызлығын штангенциркуль менен анықлаў

Керекли эсбап хәм материаллар: 1) штангенциркуль, 2) өлшенетуғын түтікше, 3) лупа.

**Эсбаптың қурылмасы.** Штангенциркуль (6-сүўрет) миллиметрлерге бөлінген  $LM$  масштабдан ибарат болып, бул масштаб бойлап қозғалатуғын оның узынлығына перпендикуляр болған  $CB$  дүзилиси бар. Бул  $CB$  аяғын қозғалмайтуғын етип бекитип қойыўға мүмкиншилик беретуғын  $C$  винти бар.  $CB$  дүзилисинде тесик тесилген болып, бул тесиктиң қыя қапталына нониус сызылған. 6-сүўреттеги қозғалыўшы дүзилис шеп тәрәпке ысырылып қойылғанда масштаб пенен нониустың ноллери бир бирине сәйкес келеди. Масштабтың басында оған перпендикуляр орнатылған қозғалмайтуғын  $LA$  аяғы өлшенетуғын денеге таяныш болып хызмет етеди. Денелердиң ишки өлшемлери еки аяқтың  $FF$  бөлимлери, ал сыртқы өлшемлери  $AB$  аяқларының жәрдемінде өлшенеди.



6-сүўрет.  
Штанген-  
циркуль.

**Өлшеўлер.** Түтікшениң көлемин табыў ушын оның геометриялық өлшемлери болған узынлығын, ишки хәм сыртқы диаметрлерин өлшеў зәрүр. Түтікше материалының тығызлығын табыў ушын оның көлемин хәм массасын анықлаў керек болады.

**Көлемди анықлаў.** Түтікше ийелеп турған көлемди анықлаў ушын түтікшениң сыртқы хәм ишки диаметрлерин және узынлығын билиў керек. Оларды сәйкес  $D_1$ ,  $D_2$  хәм  $l$  арқалы белгилеймиз. Бундай жағдайда анықланыўы керек болған көлем диаметри түтікшениң сыртқы диаметриндей, ал узынлығы түтікшениң узынлығындай болған цилиндрдиң көлеми менен диаметри түтікшениң ишки диаметриндей, ал узынлығы түтікшениң ишки диаметриндей цилиндрдиң көлеминиң айырмасына тең болады.

Түтікшениң узынлығын өлшеў былайынша әмелге асырылады: Штангенциркульдиң аяқлары олардың арасына түтікше сыятуғындай етип бир-биринен ажыратылады. Буннан соң олардың арасына түтікше узынына қойылып  $B$  аяғын түтікшени қысып туратуғындай хәм

өлшеуді әмелге асыратуғындай етип жылыстырамыз. Тап усы жағдайда түтикшениң узынлығын штангенциркульдиң тийкарғы масштабының жәрдемінде жууық түрде өлшеу мүмкин. Дәлликти жоқарылатыу ушын нониус пайдаланылады. Оны пайдаланыу усылы жоқарыда баянланды.

Түтикшениң узынлығын дәл өлшеу ушын оны өз көшери дөгерегинде шама менен 45 градусқа бурып өлшеуді қайталау керек болады. Ең ақырында алынған нәтийжелердиң орташа арифметикалық шамасы алынып, оны түтикшениң узынлығы сыпатында қабыл етеди.

Буннан соң түтикшениң сыртқы диаметри өлшенеди. Түтикше штангенциркульдиң аяқлары арасына қысып қойылады хәм тийкарғы масштаб пенен нониустың көрсеткен шамалары жазып алынады. Әдетте түтикшениң узынлығы бойынша хәр қыйлы бөлимлериниң (ушларына жақын бөлимлериниң, ортасының) диаметрлерин өлшеу керек болады. Ақырғы нәтийже сыпатында өлшеу нәтийжелериниң орташа арифметикалық мәниси алынады.

Түтикшениң ишки диаметрин өлшегенде штангенцикуль аяқларының  $FF$  бөлимлери түтикшениң ишине киргизиледи, түтикшениң ишки дийуалларына тийип туратуғындай етип бир-биринен узақластырылады. Буннан кейин әдеттеги өлшеу процедуралары өткериледи. Түтикшениң еки ушының ишки диаметрлерин өлшеу керек болады. Түтикшениң ишки диаметри сыпатында алынған нәтийжелердиң арифметикалық орташасы қабыл етиледи.

Егер штангенцикуль түтикшелердиң ишки диаметрин өлшеу ушын қолайластырылмаған болса, онда еки аяқтың да қалыңлықтарын есапқа алыуға тууры келеди. Бул қалыңлықтың мәниси әдетте штангенцикульдиң өзінде көрсетилген болады.

Түтикшениң көлемин

$$V = \frac{l\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2)$$

формуласының жәрдемінде анықланады. Бул аңлатпада  $l$  арқалы түтикшениң узынлығы,  $D_1$  хәм  $D_2$  арқалы сәйкес түтикшениң ишки хәм сыртқы диаметрлери белгиленген.

**Түтикше материалының тығызлығын анықлау.** Түтикшениң массасын тәрезиде 0,1 г ға шекемги дәлликте өлшеу керек. Тап усундай жол менен анықланған массаның мәнисин түтикшениң көлемінде бөлиу арқалы түтикше материалының тығызлығы анықланады.

Алынған нәтийжелер 2-кестеге жазылады.

2-кесте.

№	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$l$ , мм	$m$ , г	$V$ , мм <sup>3</sup>	$\rho$ , г/мм <sup>3</sup>
1						
2						
3						

4						
5						
Орт.						

### 3-тапсырма Мүйешлерди өлшеу

**Керекли эсбап хэм материаллар:** мүйеш өлшеуши эсбаплар (оптикалық гониометр, транспортир), қапталлары арасындағы мүйешлерди өлшеу керек болған денелер.

Узынлықтарды өлшеу менен бир қатарда мүйешлерди өлшеу тек физикалық эксперименттерде емес (мүйешлер тийкарынан, оптика бөлиминде де өлшенеди), ал басқа илимлерде де (астрономияда, геодезияда, минерологияда хэм басқаларда) кең тарқалған өлшеулердің қатарына киреди. Мүйешлерди өлшеу ушын қолланылатуғын эсбаплар тийкарынан еки бөлимнен ибарат болып, олардың бирин лимб хэм екіншисин бақлау ушын қолланылатуғын дүзилис деп атайды (биз бул дүзилести оптикалық труба деп атаймыз). Мүйештиң шамасы лимб бойынша өлшенеди. Лимбдағы шкалаға оптикалық трубаның жәрдемінде қарайды. Оптикалық трубаның лимбға салыстырғандағы бурылыу мүйеши биз өлшейин деп атырған мүйеш болып табылады.

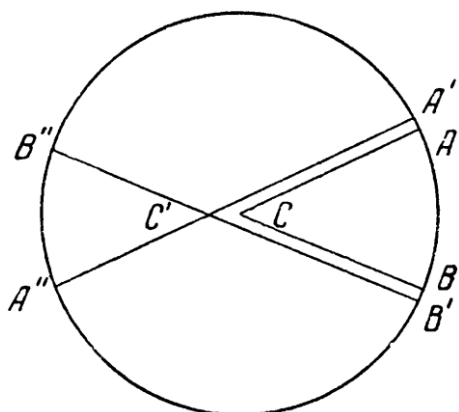
Мүйеш өлшейтуғын эсбаптарды көпшилик жағдайларда гониометрлер деп атайды. Физикалық лабораторияларда оптикалық гониометрлер көп тарқалған. Ал рентген нурларының кристаллардағы шашырау мүйешин өлшеу ушын рентген гониометрлери қолланылады. Бундай гониометрлерде оптикалық труба лимбның орайы арқалы өтетуғын көшер дөгерегинде еркин айланатуғын етип исленеди. Оптикалық трубаның қандай мүйешке бурылғанлығын лимбдағы қозғалмайтуғын шкаланың жәрдемінде анықланады.

Мүйеш өлшейтуғын эсбаптың өлшеу дәллигин жоқарылатыу ушын лимбның шкаласы бойынша қозғалатуғын қосымша доға тәризли ямаса дөңгелек нониус орнатылады.

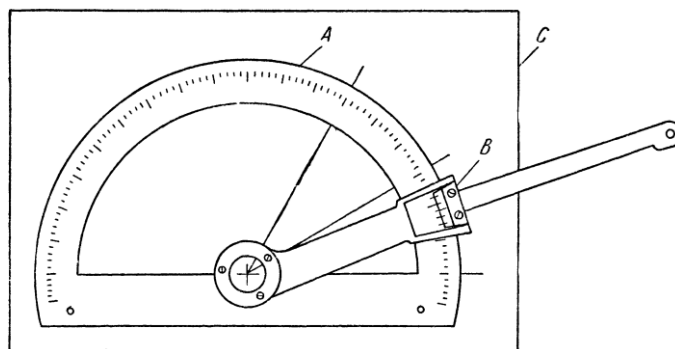
Гейпара жағдайларда лимб менен көрсеткиштиң қарама-қарсы түрдеги жайласуы да пайдаланылады: лимб оптикалық труба менен биргеликте айланады, ал олардың бурылыу мүйешиниң мәниси қозғалмайтуғын көрсеткиш (шкаланың) жәрдемінде анықланады.

Барлық мүйеш өлшеуши эсбаптарда оптикалық трубаның айланыу көшериниң лимбның орайы менен дәл сәйкес келиуи үлкен әхмийетке ийе. Оптикалық трубаның айланыу көшери менен лимбтың орайын сәйкеслендириу орайластырыу деп аталады. Дурыс орайластырыудың орын алмауы өлшенип атырған мүйеш ушын дурыс емес мағлыұматлардың алынуына (яғнай системалық қәтениң жиберилиуине) алып келеди. Бул талаптың дурыслығы 7-сүүретте

айқын көринип тур. Бул сүүретте бирдей мүйешлерди пайда ететугын еки радиустың еки аўхалы сәулелендирилген. Бирақ бир жағдайда бул радиуслардың кесилисиў ноқаты  $C$  лимбның дәл орайына сәйкес келеди. Ал екінши жағдайда радиуслардың кесилисиў ноқаты орайдан аўысқан ( $C'$  ноқаты). Сүүретте  $A'C'B'$  мүйешиниң  $A'B'$  бағытын өлшегенде оның хақыйқый  $AB$  мәнисинен үлкен екенлиги көринип тур. Ал усы мүйешке тең  $A''C'B''$  вертикаллық мүйешин өлшегенде киши мәнис алынады. Усы жағдай ҳәр бир мүйеш өлшеўши әсбапта болатуғын эксцентриситетти жоқ етиў ушын пайдаланылады. Бундай жағдайда көриў трубасы менен бир диаметрдиң қарама-қарсы ушларында орналастырылған еки нониус пайдаланылады. Солай етип нониуслардың бири үлкен мәнисти, ал екіншиси киши мәнисти береді. Хақыйқый мәниси сол еки мәнистиң арифметикалық орташа мәниси сыпатында алынады.



7-сүүрет.



8-сүүрет.

8-сүүретте ең әпиўайы мүйеш өлшегиш әсбап (мүйешлик нониус) көрсетилген. Ол  $A$  лимбсынан хәм нониуслы  $B$  дүзилистен ибарат. Әсбап  $C$  металл пластинкасындағы мүйешлерди өлшеўге таяр ҳалында сүүретленген.

Алынған нәтийжелер 3-кестеге жазылады.

3-кесте

№	Лимбның көрсетиўи, град.			$\angle A'C'B'$	$\angle A''C'B''$
	$AB$	$A'B'$	$A''B''$		
1					
2					
3					
4					
5					
Орт.					

## 2-санлы лабораториялық жұмыс Тәрезиде дәл өлшеу

**Керекли әсбап хәм үскенелер:** 1) аналитикалық тәрези, 2) тәрези таслары, 3) массасы өлшенетуғын денелер жыйнағы.

**Аналитикалық тәрези хаққындағы мағлыұматлар.** Тәрезилердиң жәрдемінде әдетте денениң салмағы өлшенеди. Денениң салмағы менен массасы арасында туұры пропорционаллық байланыс орын алғанлықтан тәрези тасларында граммлардағы оның массасының шамасы жазылған болады. Сонлықтан биз тәрезилердиң жәрдемінде массаны тиккелей өлшей аламыз.

Илим менен техникада, күнделикли турмыста тәрезилердиң хәр қыйлы түрлери пайдаланылады. Бул жұмыста лабораторияларда массаны салыстырмалы дәл өлшеуґе мүмкиншилик беретуғын хәм сонлықтан кең түрде пайдаланылатуғын аналитикалық тәрезиде өлшеу хаққында гәп етиледи.

Көпшилик жағдайларда аналитикалық тәрезиге шаңның кирмеуи, хаўа ағысларының тәсир етпеуи хәм жақтылықтың көбирек түсиуи ушын қапталлары көтерилип қойыуға болатуғын айналардан туратуғын қутыда жайласқан болады (1-сүүрет). Тәрези *BB* арқалы белгиленген тәрезиниң оғы деп аталыушы теңдей ийинлерге ийе рычагтан турады. Бул рычаг тәрези оғының дәл ортасында оның тегислигине перпендикуляр жайласқан шынықтырылған полаттан исленген *a* призмасына сүйенип турады. Призманың төменги қапталы *A* бағанасының үстине орнатылған тегис платинкаға бекитилген. Тәрези оғының ортадағы призмадан бирдей узақлықлардағы ушларында *CC* пәллелерин асып қоятуғын дүзилислер болған жоқары қараған әдеттегидей *b* призмалары бекитилген болады. Ортадағы *a* призмасының хәм шетки *b* призмалардың жоқары қабырғалары өз-ара параллель болыуы керек. Пәллелерде жүк болмаған уақытта тәрезиниң оғы горизонт бағытында турыуы керек. Тәрези оғының халы (горизонт бағытына параллеллиги) шетки призмалардың қабырғаларын тутастырыушы сызыққа перпендикуляр түрде оқтың ортасында орнатылған *J* стрелкасы менен анықланады. Стрелканың ушы тәрезиниң төменги бөлиміндеги *S* шкаласының алдында қозғалады. Тәрезиниң оғы горизонт бағытында турған жағдайда стрелка шкаланың дәл ортасындағы ноллик сызықтың туұрысында турыуы керек.

Тәрезини характерлеуши тийкарғы шама оның сезгирлиги болып табылады. Тәрезиниң сезгирлиги деп тәрезиге қосымша  $p$  жүк қойғанда стрелканың ауысыу мүйеши тангенсиниң усы қосымша жүктиң салмағы қатнасына айтады хәм бул шама төмендеги формуланың жәрдемінде анықланады:

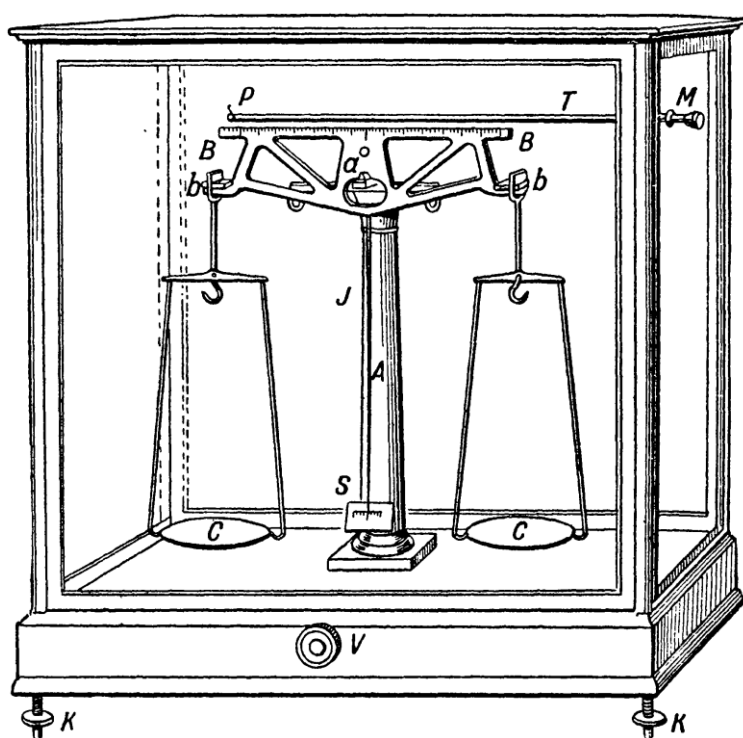


$$\omega = \frac{L \cos \alpha}{(2P + p)L \sin \alpha + Kh}$$

Бул аңдатпада  $L$  арқалы тәрезинің оғының ийинлеринің ұзынлығы,  $K$  арқалы тәрези оғының салмағы,  $h$  арқалы ортадағы призманың төменги қабырғасы менен тәрези оғының салмақ орайы арасындағы қашықлық,  $P$  арқалы тәрезиге қойылған жүктің салмағы,  $\alpha$  арқалы рычагтың еңкейіу мүйеши белгиленген. Бул формулада тәрезинің сезгирлигинің жүктің шамасына ғәрезли екенлиги көринип тур. Егер тәрези оғы тийип туратуғын үш призманың қабырғалары бир тегисликте жатады деп есапласақ хәм ийинлеринің еңкейіуин итибарға алмау мүмкин болса, онда  $\omega$  сезгирлик турақлы шамаға айланады хәм оның мәниси төмендеги формула менен анықланады:

$$\omega = \frac{L}{Kh}$$

Заводта пайдаланыу үшін таяр халда шыққан тәрезилерде биз тек  $h$  шамасын өзгерте аламыз (басқа сөз бенен айтқанда тәрези оғының салмақ орайын жоқарыға ямаса төменге көшириу жолы менен тәрезинің сезгирлигин өзгерте аламыз). Бундай операция хәр қыйлы тәрезилерде вертикаллық бағытта жылыстырылатуғын хәр қыйлы жүклердің жәрдемінде әмелге асырылады.



1-сүүрет.

Массасы 1 миллиграммнан киши болған тәрези таслары жүдә майда болады. Сонлықтан оларды услау хәм тәрезинің пәллесине қойыу үлкен қолайсызлықларды пайда етеди. Сонлықтан массасы тап усындай ямаса оннан да киши болған тәрези тасларын илмек сым ямаса пластинка түрінде соғылған жылжытып қойыу мүмкин болған рейтер деп

аталатуғын жүк түрінде соғады. Рейтер тәрези оғының ийинлериниң бириниң үстине бекитиледи. Әдетте тәрези оғының хәр бир ийини теңдей 10 бөлимге бөлінген болады. Егер рейтер тәрези оғының ортасынан баслап санағанда биринши, екінши, үшінши хәм тағы бөлимлерге қойылған болса, онда бул жағдайлар тәрезиниң усы тәрептеги пәллесине 1, 2, 3 хәм тағы басқа миллиграммларға тең жүклерди қойғанға сәйкес келеди. Рейтерди тәрези есиги жабық турған ҳалда тәрези оғына арнаўлы дүзилистиң жәрдемінде илип қойыў ямаса илип қойылған рейтерди алыў мүмкин.

Тәрези ислетилмей турған ўақытта оны арретирлеп (тәрези оғын қозғалмайтуғын етип беккемлеп) қойыў لازым. Тәрези оның бағанасы ишиндеги арнаўлы қурылманың жәрдемінде арретирленеди. Бул қурылма тәрезиниң пәллелерин хәм оғын жоқары көтерип, оларды призмалардан босатып, таяныш бетине басып турып керек емес (унамсыз) қозғалыслардан сақлайды. Арретирлер дүзилиси хәр қыйлы тәрезилерде хәр қыйлы болыўы мүмкин. Тәрезини арретирлеў ямаса тәрези оғын өлшеў ҳалына түсирип қойыў керек болғанда тәрезиниң төменги бөлиміндеги V буралатуғын дөңгелек буралады.

Хәр бир тәрези белгили бир максималлық муғдардағы жүктиң салмағы ямаса массасын өлшеўге мөлшерленип соғылады. Максималлық жүктиң шамасы әдетте хәр бир тәрезиниң өзінде жазып қойылған болады. Салмағы бундай жүктиң салмағынан аўыр болған жүклерди өлшеўге болмайды. Егер бундай қағыйдалар орынланбаса тәрезиниң оғы ийилип истен шығып қалады. Сонлықтан хәр бир тәрези ушын арналған белгили салмаққа ийе таслар салынған ағаш қуты болады.

**Тәрезини орнатыў.** Тәрезиниң бағанасы тик турыўы керек. Бағанасының тик ямаса қыялығын билиў ушын жүк илдирилген жип кишкене сақыйнаның дәл ортасының үстінде турыўы керек. Бул жипти сақыйнаның дәл ортасына келтириў *K* винтлерин бураў жолы менен әмелге асырылады (1-сүўрет). Егер тәрезиниң бағанасы вертикал ҳалға келтирилген болса пәллелерге жүк қойылмаған жағдайда өз еркине қойылған тәрези оғының *J* стрелкасы *S* шкаланың орта ноллик сызығының тусына келип турады. Егер тәрези оғының *J* стрелкасы шкаланың орта сызығының тусына туўры келмей қалса ямаса стрелка орта сызықтан 2-3 бөлимнен көбирек аўысса, онда тәрезини ВВ оғының еки ушындағы винтер түрінде исленген кишкене сәйкес тәрепке қарай бураў менен туўрылаў мүмкин. Бул операцияны орынлаў жүдә дыққатты хәм итибарлы ислеўди, жеткиликли дәрежедеги тәжирийбеге ийе болыўды талап етеди.

Арретирленген (яғный тәрезиниң оғы қозғалмайтуғын етип қойылған) тәрезиниң оғы өз еркине қойылғанда ол әдетте қозғалысқа келеди хәм көпшилик жағдайда тербеледи. Бундай қозқалыс ўақытын кемейтиў ушын тәрезилерге тынышлатыўшы дүзилис болған демпфер орнатылады. Тынышлыққа келтириўши дүзилис еки жуп жеңил металл

стерженлерден ибарат болып, олардың екеуі тәрезинің бағанасына қыймылдамайтуғын етип орнатылған, қалған екеуі тәрезинің оғына бекитілген. Тәрезинің оғы қозғалғанда оған бириктирилген стаканлар қыймылдамайтуғын стаканлардың ишинде қозғалады. Стаканлардың ишиндеги ҳауа қысылғанда қосымша басым күши пайда болады. Бул күш тәрези оғының қозғалыс ұақытын кемейтеди.

Бул мақсетте хәм тасларды пинцет пенен алыўда оларды желинип кетпеуи ушын арнаўлы механизм қолланылады. Бул механизм улыўма көшерге орнатылған еки дисктен ибарат. Дисклерден бирин бурап, тәрези оғы бириктирилген рейка үстине сақыйна тәризли тасларды қойыў хәм оннан алыў мүмкин. Қойылатуғын ямаса алынатуғын тастың салмағы дискке жазылған санларға қарап анықланады.

Бир қатар аналитикалық тәрезилерде экраны жақсы жақтыландырылатуғын арнаўлы оптикалық қурылма болған вейограф қолланылады. Бундай жағдайда шкалаға қарап есаплаў барысында экспериментатордың көзи шаршамайды.

**Тәрезини пайдаланыў қағыйдалары.** Тәрезини пайдаланыўда төмендегидей талапларды сақлаў зәрүр:

1. Тәрезини арретирлемегенше оның пәллесине жүк қойыў ямаса қойылған жүкти алыўға болмайды (хәтте тәрезинің пәллесине тийиўге де болмайды), тәрезинің оғындағы рейтерди бир орыннан екинши орынға алып қойыўға да болмайды.

2. Жүклерди пәллелерге қойғанда олардың улыўмалық салмақ орайының пәллениң ортасына туўры келиўи талап етиледи.

3. Тәрези тасларын қол менен услаўға болмайды, оларды пинцет пенен услаў керек, массасы жүдә киши болған пластинка тәризли тасларды (граммның оннан, жүзден бир үлеслери) олардың бүгилген мүйешинен пинцет пенен алынады.

4. Тасларды тәрезиден алғаннан соң олардың қутыдағы өз орнына қайтып қойылыўы зәрүр.

5. Тәрези пәллелери тең салмақлық халға келмегенше тәрези оғын орнына толық түсирмеў керек; стрелканың ауысыўына қарап қайсы пәллениң жеңил екенлигин билиў ушын тәрезинің оғы әстелик пенен азмаз түсириледи, буннан кейин тәрези оғы арретирленип, пәллелерге майда тәрези таслары салынады ямаса алып тасланады. Өлшенетуғын денениң салмағы менен таслар салмағы арасындағы айырма киши болған жағдайда тәрези оғы маятникке уқсап тербеле баслайды.

6. Тәрезинің оғын барлық ұақытта да әстелик пенен үзликсиз түрде арретирлеў хәм түсириў керек. Егер тәрези тербелип турған болса, онда арретирлеў тәрези стрелкасы шкаланың ортасы арқалы өтип атырған моментте абайлап арретирлеў керек.

7. Егер пәллелер маятникке уқсап тербелип турған болса, онда олардың шетине қағаз тийгизип тынышландырыў керек. Пәллелер толық тынышланғаннан ғана кейин тәрези оғын толық босатыў керек.

8. Тәрезиниң тербелисин бақлаған ўақытта оның есиги жабық болыўы керек.

9. Егер тәрези оғын орнына түсиргенде стрелканың тербелиў амплитудасы киши болса (шкаланың ортасындағы ноқатынан стрелка оңға ҳәм шепге 3-4 сызыққа жылысса амплитуданы жеткиликли дәрежеде киши деп есаплаўға болады), онда тәрезиниң есигин ашып қағаздың жәрдемінде ҳаўаны желпиў керек болады. Бундай жағдайда ҳаўаның ағысы тәрезиниң оғына жеткиликли амплитуданы береді.

10. Әсиресе тәрези арретирленбеген жағдайларда жүклерди пәллелерде көп ўақыт ушлап турыўға болмайды. Жүклерди өлшеп болғаннан кейин тәрезини арретирлеў, тәрези есигин ашып жүклерди алып ҳәм есигин және жаўып қойыў керек.

**Өлшеўлер.** Дәл өлшеў ушын: 1) тәрезиниң ноллик ноқатын табыў, 2) оның сезгирлигин анықлаў, 3) өлшеўди әмелге асырыў, 4) денениң ҳаўадағы салмағының кемейиўине тийисли дүзетиўлер киргизиў керек.

**Тәрезиниң ноллик ноқатын табыў.** Ҳәр бир өлшеў алдында жүк қойылмаған тәрезидеги тең салмақлық ҳалды, яғный сүйкелиў болмаған жағдайдағы шкаладағы стрелка тоқтайтуғын  $x_0$  сызықты анықлап алыў керек. Бул сызық тәрезиниң ноллик ноқаты деп аталады. Сүйкелистиң тәсирин жоқ етиў мақсетинде ноллик ноқатты тербелис усылының жәрдемінде анықлайды.

Тәрезиниң оғы тербелгенде оған бекитилген стрелка маятникке усап тербеледи. Стрелка шепке аўысқанда оның ушы шкаланың ең шеп тәрәптеги шетки ноқатынан баслап есапланған  $a_1$  сызыққа, ал оңға аўысқанда оның ушы шкаладағы оң тәрәптен есапланғанда  $a_2$  сызыққа келетуғын болсын деп есаплайық. Егер стрелка өзиниң тең салмақлылық ҳалынан оң ҳәм шеп тәрәплерге бирдей шамаларға аўысатуғын болса, онда ноллик ноқат  $a_1$  ҳәм  $a_2$  шамаларының қосындысының ярымына тең болған болар еди. Ҳақыйқатында стрелканың тербелиў амплитудасы ўақыттың өтиўи менен кемейеди. Биринши шепке қарай аўысыў оңға қарай аўысыўға салыстырғанда үлкенирек болады, ал буннан кейинги оңға қарай аўысыў өзинен кейинги шепке қарай аўысыўдан үлкенирек болады. Сонлықтан  $a_1$  ҳәм  $a_2$  шамаларының қосындысының ярымы тәрезиниң ноллик ноқатының ҳақыйқый орнын көрсете алмайды.

Стрелканың избе-из үш рет аўысыўын (олардың шамаларын  $a_1, a_2$  ҳәм  $a_3$  арқалы белгилеймиз) қарайық. Олардың екеўи болған  $a_1$  ҳәм  $a_3$  аўысыўлары шеп тәрәпке қарай болса,  $a_2$  аўысыўы оң тәрәпке қарай болады. Бундай жағдайда  $a_1$  ҳәм  $a_3$  аўысыўларының орташа мәниси  $a_2$  аўысыўына  $a_1$  ҳәм  $a_3$  аўысыўларына салыстырмалы түрде жақын болады. Демек

$$\frac{\frac{a_1 + a_3}{2} + a_2}{2}$$

формуласы менен есапланған тәрезинің ноли оның хақықый мәнисине жақынырақ болады.

Амплитуда ўақытқа пропорциональ нызам бойынша емес, экспоненциал нызам бойынша өзгеретуғын болғанлықтан көп санлы аўысыўларды алсақ тәрезинің нолин әдеўир үлкен дәлликте табыў мүмкин. Мысал ретинде биринен соң бири болатуғын бес  $a_1, a_2, a_3, a_4$  хәм  $a_5$  аўысыўларын аламыз. Бул аўысыўлардың үшеўи ( $a_1, a_3, a_5$  лер) бир тәрәпке, ал қалған  $a_2$  хәм  $a_4$  аўысыўлары екинши тәрәпке қарай аўысыўлар болсын. Бундай жағдайда тәрезинің ноллик ноқатын

$$l_0 = \frac{\frac{a_1 + a_3 + a_5}{3} + \frac{a_2 + a_4}{2}}{2}$$

формуласының жәрдемінде әдеўир үлкен дәлликте анықлай аламыз.

Егер  $a$  аўысыўларының шамасы шкаланың ортасында турған сызық бойынша өлшенетуғын болса, онда тәрезинің ноллик ноқатын анықлаў ушын формулаға сәйкес өзгерислер киргизиледи. Бул жағдайда шеп тәрәпке қарай аўысыўларға оң белги (+) қойсақ, оң тәрәпке қарай аўысыўларға терис белги (-) қоямыз

Әдетте тәрезинің нолин табыўда (ноллик ноқатын табыўда) избе-из болған бес аўысыўдың шамасын өлшеў менен шекленемиз. Шепке қарай аўысыўлардың шамалары дәптердиң шеп тәрәпине, оң тәрәпке қарай аўысыўлардың шамаларын оң тәрәпине жазыў керек. Биринши рет аўысыў қайсы тәрәпке қарай болған болса, онда сол тәрәпке қарай аўысыўлардың саны екинши тәрәпке қарай болған аўысыўлардың санынан 1 ге артық болады. Тәрәзи оғын босатқаннан кейин оның тербелиў амплитудасы жүдә киши болған жағдайда тәрәзи пәллелеринің бирин әсте-ақырынлық пенен қағаздың жәрдемінде желпип тербелиске (қозғалысқа) алып келинеди. Буннан кейин бир неше тербелис өткерилип жибериледи хәм буннан кейин ғана стрелканың аўысыўлары өлшенеди. Стрелканың максималлық аўысыўы шкаладағы сызықлар арасындағы бөлимлердиң оннан бирине шекемги дәлликте өлшенеди. Тәрәзинің ноллик ноқатын тек бир рет табыў менен шекленбеў керек. Бул өлшеў операциясы әдетте бир неше рет тәкирарланады хәм ақырында өлшеўлердиң нәтийжелеринің орташа арифметикалық мәниси алынады.

Мысал келтиремиз. Аўысыўлардың 5 мәнисин анықлаймыз. Биз мынадай шамаларды алған болайық:  $a_1 = -9,6$ ;  $a_3 = -7,8$ ;  $a_5 = -6,9$ ;  $a_2 = 8,4$ ;  $a_4 = 7,5$ ; Есаплаўлар нәтийжесинде төмендегидей шаманы аламыз:

$$l_0 = \frac{-\frac{9,6 + 7,8 + 6,9}{3} + \frac{8,4 + 7,5}{2}}{2} = \frac{-\frac{24,3}{3} + \frac{15,9}{2}}{2} = -0,075$$

шамасына ийе боламыз. Демек тәрәзинің ноллик ноқаты  $S$  шкаласындағы ноллик ноқаттан 0,075 бирликке тең шеп тәрәпте екен.

Алынған нәтижелердің барлығы да төмендегі 1-санлы кестеге киргизиледи. Бул шынығыў кеминде 4 рет орынланады.

Тәрезиниң ноллик ноқаты табылғаннан кейин ғана оның сезгирлигин анықлаўға болады.

1-кесте

№	$a_1$	$a_3$	$a_5$	$a_2$	$a_4$	$l_0$
1						
2						
3						
4						
Орташа мәнис						

**Тәрезиниң сезгирлигин анықлаў.** Егер жүксиз тәрезиниң оғындағы биринши бөлимге рейтер орнатылса, онда тәрезиниң сол бөлим тәрeпиндеги пәлlege массасы 1 мг шамасындағы тас қойылған менен бирдей болады. Тәрезиниң усы ҳалдағы тербелислерин бақлап, оның тең салмақлық ҳалын табамыз. Нәтийжеде ноллик ноқат ушын биз алдынғы алынған  $l_0$  шамасын емес, ал басқа бир  $l$  шамасын табамыз. Бул шама бизге тәрезиниң тең салмақлық ҳалының шкалада  $l - l_0$  бөлимге жылжығанлығын билдиреди. Бул жылжыўдың абсолют мәниси жүксиз тәрезиниң 1 мг тас қойылғандағы сезгирлигин береди. Бул жағдайда да жоқарыдағы шынығыўда  $l_0$  шамасын қалайынша тапқан болсақ,  $l$  шамасын да тап сондай жоллар менен табамыз. Алынған нәтийжелерди 2-кестеге түсиремиз. Тәрезиниң ноллик ноқатын ҳәм сезгирлигин анықлап болғаннан кейин жүклерди өлшеўге кирисиўге болады.

2-кесте

№	$P$	$a_1$	$a_3$	$a_5$	$a_2$	$a_4$	$ll$
1							
2							
3							
4							
Орт.							

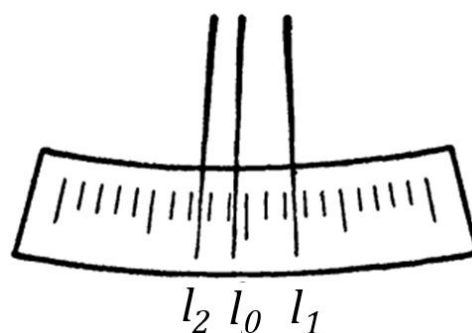
**Өлшеў.** Егер өлшенип атырған денениң салмағын пүтин граммларға тең болмаса, онда тәрези тасларын избе-из қойыў жолы менен өлшенип атырған денениң салмағы арасында болатуғын еки  $a$  ҳәм  $a + 1$  граммларды табыў мүмкин. Буннан кейин салмағы дециграммалардағы (граммның оннан бири), ал оннан соң сантиграммалардағы (граммның жүзден бири) тәрези таслары қойылады. Егер денениң салмағы пүтин сантиграммларға тең болмаса, онда рейтерден пайдаланып тәрезиге миллиграммлар қойылады. Рейтерди тәрезиниң оғында жылыстырып,

санлар менен белгиленген сызықлар үстине қойып көриу жолы менен избе-из турған сондай еки сызық табамыз, рейтер бул сызықлардан биринде турғанда өлшенетуғын жүктің салмағы берилген салмақтан киши, ал екіншисинде турғанда берилген салмақтан үлкен болады.

Тәрези таслары менен өлшенетуғын денениң массалары арасында үлкен айырма болған жағдайда пәллелердің бири дәрриу төменге басып кетеди. Нәтийжеде тәрезиниң оғына бекитилген тәрези стрелкасы бир тәрепке қарай ақырына шекем аўысады хәм қозғалмай қалады. Тәрезиниң пәллелериндеги жүклердің салмақларының айырмасы киши болғанда тәрези оғы тербеледи. Тәрези оғы тербелип турғанда стрелканың ноллик ноқаттан бир тәрепке қарай аўысыуы екінши тәрепке қарай аўысыуынан үлкен ямаса киши екенлигин анық сезиу қыйын болса, онда тәрезиниң тербелиси тоқтағаннан кейин ғана стрелканың шкалада көрсетип турған бөлимин табыу керек. Тәрезиниң тең салмақлық ноқаты да ноллик ноқатта тапқандағыдай усыл менен табылады. Тең салмақлық ноқатты табыуда рейтерди пайдаланыуға тууры келеди. Рейтерди пайдаланыудың барысында тәрезиниң тең салмақлық ноқатын аңсатырақ табыуға болады. Тәрезиниң табылған тең салмақлық ноқаты тәрезиниң нолине салыстырғанда оңға ямаса шепке қарай аўысыуына қарап, биз тәрезиниң қайсы пәллеси аўыр екенлигин анық айта аламыз.

Биз тәрези оғының бир бөлиmine сәйкес келиуши рейтердің еки аўхалын тапқан болайық. Бул 1 мГ айырмаға ийе халлар болып табылады. Бул халлар ушын сәйкес тең салмақлық халлар  $l_1$  хәм  $l_2$  ге тең болады.  $l_1$  ноқаты тәрезиниң ноллик аўхалының оң тәрепинде, ал  $l_2$  ноқаты тәрезиниң ноллик аўхалының шеп тәрепинде жайласқан болады (бул жағдай 2-сүүретте көрсетилген).

2-сүүрет



Егер салмағы өлшенип атырған дене тәрезиниң шеп тәрепиндеги пәлдеде жайласқан болса, онда стрелка  $l_2$  халында турған халда тәрези тасларының салмағы өлшенип атырған денениң салмағынан үлкен болады, стрелканы  $l_1$  халына алып келетуғын тәрези тасларының салмағы денениң салмағынан киши болады.  $l_1$  тең салмақлық халына сәйкес келиуши тәрези тасларының салмағы  $P$  мГ болса, онда тәрезиниң ноллик ноқатын  $l_0$  аўхалына алып келиу ушын тәрезиниң оң пәллесине

салмағы миллиграммның қәлеген бир үлесине тең тас қойыу керек болады.

Ауысыу мүйешлери киши болғанда стрелканың ноллик ноқатынан ауысыу оны пайда еткен жүкке пропорционал болады деп болжайық. Бул болжау  $P$  ның мәнисин есаплап табыуға мүмкиншилик береді.  $l_1$  қалы салмағы  $P$  мГ тасқа тууры келеді, ал  $l_2$  қалы болса салмағы  $P + 1$  мГ тасқа тууры келеді. Демек  $l_1 - l_2$  ауысыуы салмағы ауысыу 1 мГ болған тасқа тууры келеді. Сонлықтан  $l_1 - l_2$  шамасының **жүкке ийе тәрезиниң сезгирлиги** болып табылады. Енди бизге тәрези оғын хәм оның менен байланыслы болған стрелканы  $l_1$  қалынан  $l_2$  қалына алып келетуғын, яғнай  $l_1 - l_0$  шамасына ауыстыратуғын қосымша  $p$  жүктиң шамасын есаплап табыуымыз керек болады. Егер салмағы 1 мГ жүк қойылғанда стрелка  $l_1 - l_2$  шамасына ауысса, салмағы  $p$  мГ болған жүк  $l_1 - l_0$  шамасына ауысады. Нәтийжеде биз

$$\frac{1}{P} = \frac{l_1 - l_2}{l_1 - l_0}, \quad P = \frac{l_1 - l_0}{l_1 - l_2} \text{ мГ}$$

аңлатпаларына ийе боламыз хәм денениң салмағы

$$Q = P + p$$

шамасына тең болады. Усындай жоллар менен тәрезиде денелердиң салмағын 1 миллиграммның оннан бир үлесиндей дәлликте өлшеу мүмкиншилигине ийе боламыз.

Егер тәрезиниң сезгирлиги қойылған жүктиң шамасынан ғәрезсиз болғанда тәрезиниң ноллик ноқатының еки тәрепиндеги тең салмақлық қалларды анықлаудың зәрүрлиги болмаған болар еди. Бундай жағдайда тек бир тең салмақлық қалын табыу хәм усундай тең салмақлық қал ушын керек болатуғын миллиграммларды есаплап шығаруы менен шеклениу жеткиликли болған болар еди. Бирақ тәрезиниң сезгирлиги жүктиң шамасына байланыслы өзгеретуғын болғанлықтан жүк салынбаған тәрезиниң сезгирлигин алдын-ала табыу пәллелерге қанша муғдардағы жүкти салғанда стрелканың қанша шамаға ауысатуғынлығын шама менен билиу арқалы еки тең салмақлық қалын тезирек табыуға мүмкиншилик береді.

Тәрезиде рейтер болмаған жағдайда денениң салмағын миллиграммның үлеслерине шекемги дәлликте төмендегидей усылларды жәрдемінде өлшейди. Мейли тәрезиниң оң пәллесине тәрези дерлик тең салмақлықта туратуғындай шамадағы тас қойылған болсын. Бундай жағдайда тәрези оғы босатылғанда стрелка шкаланың орта сызығынан онша көп шамаға ауыспайды. Тәрезиниң оң пәллесиниң салмағы шеп пәллесиниң салмағынан бираз жеңил деп есаплайық. Тәрезиниң ноллик ноқатын тапқандай жол менен тең салмақлық қалын табайық. Мине усундай етип табылған тең салмақлық қалын жоқарыда пайдаланғандай белгилеулерде  $l_1$  арқалы, ал ноллик ноқатты  $l_0$  арқалы белгилейик. Енди оң тәрептеги пәллеге салмағы 1 сГ болған тәрези тасын



қосып пайда болған тең салмақлық қалын табамыз. Бул табылған қалды  $e_2$  арқалы белгилейміз.  $l_1$  менен  $l_2$  нокаттарын  $l_0$  диң еки тәрәпинде жататуғындай етип алыўға болады. Нәтийжеде  $l_1 > l_0 > l_2$  теңсизлиги орынлы болады.  $l_1 - l_2$  шамасының тәрәзиниң қосымша 1 сГ жүк салынғандағы сезгирлиги екенлигин аңғарамыз. Бул жағдайда да тәрәзиниң стрелкасының аўысыў мүйешиниң шамасы салынған жүкктиң шамасына туўры пропорционал деп есаплаймыз ҳәм стрелканы  $l_1$  қалынан  $l_0$  қалына алып келетуғын жүкктиң салмағын миллиграммларда жоқарыда пайдаланған формуланың жәрдемінде есаплаймыз. Тек  $l_1 - l_2$  шамасының бул жағдайда 1 сГ сезгирлигин аңлатады. Сонлықтан миллиграммларға өткенде алынған шаманы 10 ға көбейтиў керек болады (яғный 10 шамасына тең көбейтиўшини киргиземиз).

Тәрәзидеги өлшеў жумысларын орынлап болғаннан кейин тәрәзиниң ноллик нокаты қайтадан анықланады ҳәм  $p$  шамасын есаплағанда оның орташа арифметикалық мәниси алынады.

Тәрәзиде өлшегенде салмағы өлшенетуғын денелерди оң тәрәптеги пәлlege де, шеп тәрәптеги пәлlege де қойып өлшеў усынылады.

**Дене салмағының қаўада кемейиўин есапқа алыў.** Қәлеген денеге вертикал бағытта қаўа тәрәпинен усы денениң салмағын кемейтетуғын Архимед күши тәсир етеди. Бул күштиң шамасы дене тәрәпинен қысып шығарылған қаўаның салмағына тең болады. Мейли денениң көлеми  $V$  см<sup>3</sup>, тәрәзи тасларының көлеми  $v$  см<sup>3</sup> болсын. Көлеми см<sup>3</sup> болған қаўаның салмағын  $\lambda$  арқалы белгилейик. Демек қаўаның көтериў күшлериниң тәсиринде денениң  $V\lambda$  шамасына тең, ал тәрәзи тасларының  $v\lambda$  шамасына тең салмағы жоғалады.  $P$  арқалы денениң ҳақыйқый салмағын, ал  $p$  арқалы тәрәзи тасларының ҳақыйқый салмағы болсын (тәрәзи тасларының ҳақыйқый салмағы олардың үстине санлар менен жазып қойылған болады). Бундай жағдайда қаўадағы тең салмақлық қалында

$$P - V\lambda = p - v\lambda$$

ямаса

$$P = p + (V - v)\lambda$$

аңлатпаларын жаза аламыз. Мейли  $D$  арқалы өлшенип атырған денениң көлеминиң 1 см<sup>3</sup> шамасының ҳақыйқый салмағы (сан мәниси бойынша салыстырмалы тығызлыққа тең), ал  $d$  арқалы таслар ушын тап сондай шама белгиленген болсын. Бундай жағдайда мынадай аңлатпаларға ийе боламыз:

$$VD = P, \quad vd = p.$$

Бул аңлатпалардың жәрдемінде анықланған  $V$  менен  $v$  ның мәнислерин жоқарыдағы теңлемеге қойып

$$P = p + \left(\frac{P}{D} - \frac{p}{d}\right)\lambda$$

аңлатпасын аламыз. Оны  $P$  шамасына қарата шешсек

$$P = p \frac{1 - \lambda/d}{1 - \lambda/D}$$

екенлигине ийе боламыз. Көп ағзалыны бөліудің қағыйдалары бойынша бөлшектің алымын бөлімине бөлсек

$$\frac{1 - \lambda/D}{1 - \lambda/d} = 1 - \frac{\lambda}{d} + \frac{\lambda}{D} - \frac{\lambda^2}{dD} + \frac{\lambda^2}{D^2} - \dots$$

қатарын аламыз.  $\lambda/d$  хәм  $\lambda/D$  шамалары жүдә киши болғанлықтан  $\lambda^2/dD$  қатнасынан басланатуғын ағзалардың барлығын есапқа алмауымызға болады. Сонлықтан ең ақырғы аңлатпа

$$P = p \left( 1 - \frac{\lambda}{d} + \frac{\lambda}{D} \right)$$

түрине ийе болады.

Алынған аңлатпадағы  $\lambda$  шамасы қаўаның басымына, температурасына хәм ығаллығына байланысly болады. Оның мәнисин әдетте турақлы хәм  $0,0012 \text{ г/см}^3$  шамасына тең деп есаплайды. Тәрези тасларының салыстырмалы салмағы  $8,4 \text{ г/см}^3$  шамасына тең (бул темирдің тығызлығы). Усы шамаларды пайдалансақ  $P$  ушын

$$P = p + 0,0012p \left( \frac{1}{D} - 0,12 \right)$$

формуласын аламыз. Бул аңлатпада  $p$  арқалы денениң салмағының дүзетилмеген мәниси, ал  $P$  арқалы денениң салмағының дүзетилген қақыйқый мәниси белгиленген.

Жоқарыда келтирилип шығарылған  $P = p + 0,0012p \left( \frac{1}{D} - 0,12 \right)$  формуласынан қаўада денелердің салмағының кемейетуғынлығы көринип тур. Мәселен егер салмағы  $p = 15 \text{ Г}$  болған хәм тығызлығы  $1 \text{ г/см}^3$  шамасына тең заттың салмағы өлшенетуғын болса (муз), онда  $15,0158 \text{ Г}$  шамасы алынады. Демек қаўаның көтеріу күшиниң тәсиринде бундай денениң салмағы  $0,0158 \text{ Г}$  шамасына кемейеди екен.

Алынған нәтийжелер 3-кестеге түсириледі.

3-кесте.

№	t, К	D, kg/m <sup>3</sup>	d, kg/m <sup>3</sup>	P, kG	p, kG
1					
2					
3					
4					
Орт.					

### Қадағалау ушын сораулар

1. Сиз пайдаланған тәрезиниң оғына итибар бериңиз. Не себепли оның формасы құрамалы?

2.  $\omega = \frac{L}{Kh}$  формуласы бойынша  $h$  шамасын киширейтiу жолы менен тәрезинiң сезгирлигин шексиз үлкейтiу мүмкин.  $h$  шамасын қаншаға киширейтiу мүмкин?  $h \rightarrow 0$  шегинде тәрезинiң сезгирлигинiң өсиуине қандай факторлар тосқынлық қылады?

3. Тәрезинiң сезгирлиги салмағы өлшенетуғын заттың пәлдеде тұрған орнына байланыслы ма?

### 3-санлы лабораториялық жұмыс

#### Қатты денелер менен суйықлықтардың тығызлығын пикнометр хәм гидростатикалық усыллар жәрдемінде анықлау

**Жұмыстың мақсети:** аналитикалық тәрезиде дәл өлшеу усылларын үйрениу, суйық хәм қатты денелердин тығызлықтарын пикнометрдин жәрдемінде өлшеу, тығызлық бойынша затлардың типин анықлау.

**Керекли әсбаптар хәм материаллар:** пикнометр, аналитикалық тәрези, дистилляцияланған суу қуйылған ыдыс, фильтрлеуши қағаз, термометр, пипетка.

**Жұмыстың теориялық тийкарлары хәққындағы қысқаша мағлыұматлар.** Пикнометр деп берилген температурадағы көлеминиң мәниси бетине см<sup>3</sup> ямаса мм<sup>3</sup> шамаларында жазылып қойылатуғын, температураның өзгерийи менен көлеми дерлик өзгермейтуғын шийшеден соғылған хәр қыйлы формалардағы ыдысқа айтады. Қәлеген пикнометрдин бетинде оның көлемин шегаралап туратуғын сызық сызылған болып, изертленетуғын дене усы сызыққа шекемги көлемди толтырыуы керек.

Денениң көлеминиң бир бирлигиндеги массаны **тығызлық** деп атайды хәм оның шамасын

$$\rho = \frac{M}{V}$$

формуласы менен анықлайды. Бул формулада  $\rho$  арқалы массасы  $M$  хәм көлеми  $V$  болған денениң тығызлығы белгиленген.

Сонлықтан денениң тығызлығын табыу үшін оның көлеми менен массасын анықлап алыу керек болады. Денениң массасын тәрезиниң жәрдемінде өлшейди. Ал көлемди өлшеу көпшилик жағдайларда құрамалы машқалалардың бирине айланады. Денениң формасы құрамалы болған жағдайда көлемди анықлау үшін Архимед нызамынан пайдаланады: денени сууға батырады хәм қысып шығарылған суудың массасын өлшейди. Берилген температурадағы суудың тығызлығын арнаулы кестелерден алады.

Денениң тығызлығы түсиниги менен оның салыстырмалы салмағы түсинигин араластырыуға болмайды. Денениң көлеминиң бир бирлигиниң салмағын **салыстырмалы салмақ** деп атайды. Хәр қандай

денениң салыстырмалы салмағы  $d$  менен оның тығызлығы  $\rho$  арасында төмендегидей байланыс орын алған:

$$d = \rho g.$$

Бул аңлатпада  $g$  арқалы салмақ күші тезлениуі белгиленген.  $d = \rho g$  аңлатпасынан салыстырмалы салмақ пенен тығызлық арасындағы байланыстың денениң салмағы менен массасы арасындағы байланыстай болатуғынлығы көринип тур. Егер салыстырмалы салмақтың сан мәнісін  $\Gamma/\text{cm}^3$ , тығызлықты болса  $\text{г}/\text{cm}^3$  бирликлерінде аңлатсақ, онда денениң салыстырмалы салмағы менен оның салыстырмалы тығызлығының сан мәніслериниң бир бирине тең болатуғынлығын көреміз.

Пикнометр қатты денелердиң бөлеклериниң көлемін табыу үшін пайдаланылады. Егер дистилляцияланған суу қуйылған пикнометрдиң массасын  $M$ , ал  $M'$  арқалы сууы бар хәм денениң бөлеклери салынған пикнометрдиң массасы белгиленген болса, онда  $M + m - M'$  шамасы пикнометрден бөлеклерди салғанда қысып шығарылған суудың массасына тең болады. Суудың тығызлығын  $\rho_{\text{suw}}$  арқалы белгилейміз. Бундай жағдайда пикнометрге салынған қатты денениң бөлеклериниң көлеми  $V = \frac{M+m-M'}{\rho_{\text{suw}}}$  шамасына, ал биз излеп атырған тығызлық

$$\rho_{q.d.} = \frac{m}{M + m - M'} \rho_{\text{suw}}$$

шамасына тең болады.

### **Жумысты орынлау тәртиби.**

1. Бир текли қатты денениң бөлеклерин сайлап аламыз (сымның бөлеклерин де пайдаланыу мүмкин) хәм аналитикалық тәрезиниң жәрдемінде сайлап алынған бөлеклердиң массасын өлшейміз.  $\rho_{q.d.}$  ушын жазылған аңлатпаның бөлиминдеги айырманың мәнісиниң дәллигиниң жоқары болыуы ушын бөлеклердиң массасының жеткиликли дәрежеде үлкен болыуы шәрт (суу толтырылған пикнометр менен бирге масса шама менен 200 граммды қурауы керек).

2. Пикнометрди дистилляцияланған суу менен белгиге шекем толтырады хәм тәрезиде өлшеу арқалы  $M$  шамасы анықланады. Суудың қәдди белгиге тийип турыуы керек. Пикнометрге сууды пипетка менен қосады ямаса азайтады. Пикнометрдиң дийуалларында суу тамшыларының болмауына итибар беріу керек.

3. Ишинде сууы бар пикнометрге қатты денениң бөлеклерин саламыз. Усының нәтийжесінде суудың қәдди көтеріледі. Суудың қәдди пикнометрдеги белгиге шекем төменлегенше пипетканың жәрдемінде сууды кемейтеміз хәм тәрезиниң жәрдемінде  $M'$  массасын анықлаймыз.

4. Белгили болған  $M, m$  хәм  $M'$  шамаларын орташа мәніслерин пайдаланып жоқарыдағы формуланың жәрдемінде  $\rho_{q.d.}$  шамасын есаплап табамыз. Дистилляцияланған суудың берілген температурадағы тығызлығын кестеден аламыз.

5. Қатты дененің тығызлығын өлшегендегі жиберилетуғын қәтениң мүмкин болған шамасын есаплап табамыз. Бул жағдайда  $M, m$  хәм  $M'$  шамаларын өлшегенде жиберилетуғын қәтелердің мәнислери есапқа алыныуы керек.

Өлшеулердің саны кемінде 7-8 болуы керек.

Алынған нәтийжелер төмендегі кестеге жазылады:

№	$\rho_{suw},$ г/см <sup>3</sup>	$m, г$	$M, г$	$M', г$	$\rho_{q.d.}, г/см^3$
1					
2					
3					
...					
8					
Орташа мәнислер					

Алынған нәтийжени қатты денелердің (металлардың) тығызлығы келтирилген кестедегі мағлыұматлар менен салыстыу жолы менен типі анықланады.

Хәр қыйлы температуралардағы дистилляцияланған суудың тығызлықлары төмендегі кестеде берилген:

$t, ^\circ C$	$\rho_{suw},$ г/см <sup>3</sup>	$t, ^\circ C$	$\rho_{suw},$ г/см <sup>3</sup>	$t, ^\circ C$	$\rho_{suw},$ г/см <sup>3</sup>
15	0,99913	21	0,99802	27	0,99654
16	0,99897	22	0,99780	28	0,99626
17	0,99880	23	0,99757	29	0,99597
18	0,99862	24	0,99732	30	0,99567
19	0,99843	25	0,99707	31	0,99537
20	0,99823	26	0,99681	32	0,99505

### Студентлердің билимин қадағалау үшін берилетуғын сораулар

1. Бул лабораториялық жумысты орынлағанда сууды бар хәм ишине қатты дененің (металлдың) бөлеклери салынған пикнометрдің массасының шегаралық мәнислери қандай болады?

2. Қандай себеплерге байланысly тығызлығы анықланыуы керек болған қатты дененің бөлеклеринің массасының жеткиликли дәрежеде үлкен болуы керек?

3. Қатты денелердің тығызлығын пикнометр менен өлшегенде қоршаған орталықтың тығызлығы қандай жоллар менен есапқа алынады?

4. Денелердің салмағын анықлағанда Архимед нызамына сәйкес хәуаның көтеріу күшин қалай есапқа алыуға болады?

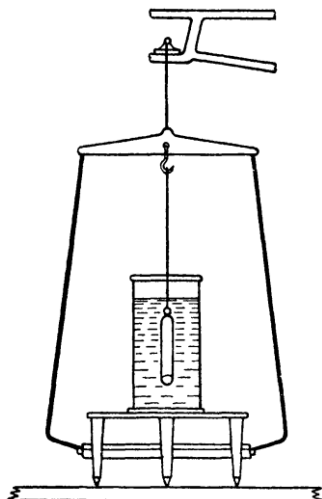
## 1-шынығыў

### Қатты денениң тығызлығын гидростатикалық усылдың жәрдеминде анықлаў

**Керекли эсбап ҳәм материаллар:** 1) аналитикалық тәрези, 2) тәрези таслары, 3) тәрези орнатылатуғын стол, 4) тығызлығы өлшениўи керек болған қатты дене, 5) шийше цилиндр, 6) жиңишке сым.

Аналитикалық тәрезиниң тәрийиплемеси 3-жумыста берилген.

**Өлшеўлер.** Изертленетуғын денениң салмағы ҳаўада 1 мГ дәлликке шекемги дәллик пенен өлшенеди. Буннан кейин бул дене белгили узынлықтағы жиңишке сым менен тәрезиниң шеп пәллесиндеги илгекке илдириледи, оң тәрептеги пәлlege тас қойып тәрези қайтадан теңлестириледи. Изертленип атырған денениң массасының дүзетилмеген мәнисин  $m$  арқалы, дене менен сымның массасын болса  $m_1$  арқалы белгилеймиз.



1-сүўрет.

Буннан кейин тәрезиниң пәллеси үстиндеги үш аяқлы кишкене стол үстине ишинде әдеўир муғдарда дистилляцияланған суўы бар стаканды қойып, тәрезини арретирлеген ҳалда стакандағы суўға изертленетуғын денени батырамыз. Бул жағдайда денениң стаканның дийўалларына ҳәм түбине тиймеўине және суўдың бети арқалы сымның тек бир бирине оралмаған бөлиминиң өтиўине (капиллярлық тәсирди кемейтиў мақсетинде), денениң бетине ҳаўа көбикшелериниң жабысып турмағанлығына итибар берий керек. Усының нәтийжесинде денениң салмағы кемейеди ҳәм сонлықтан тәрезиниң екинши пәллесиндеги таслардың бир бөлеги алынып, тәрези тең салмақлылыққа алып келинеди. Дене менен сымның суўға батырылғандағы массасын  $m_2$  арқалы белгилейик. Дене қысып шығарған суўдың массасы

$$W = m_1 - m_2$$

шамасына тең болады. Бундай жағдайда денениң дүзетилмеген тығызлығы

$$\rho_1 = \frac{m}{W} \delta$$

формуласының жәрдеминде есапланады. Бул формулада  $\delta$  арқалы суудың тығызлығы белгиленген.

**Есаплаулар.** Табылған тығызлықтың мәнісін дүзетіу керек. Себеби салмақты өлшеу барысында дене менен суудың салмағының қаудағы кемейиу есапқа алынбаған еди. Егер денениң салмағын өлшеу уақтында сол температурадағы суудың тығызлығы  $\delta$ , қауданың тығызлығы  $\lambda$  шамаларына тең болған болса, онда тығызлықтың дүзетілген мәнісін

$$\rho = \frac{m + V\sigma}{M + V\sigma} \lambda$$

шамасына тең болады. Бул формулада  $V$  арқалы дене қысып шығарған суудың көлеми белгиленген. Бул көлемнің мәнісін жоқарыда келтирилген  $W = V(\delta - \lambda)$  формуласы бойынша табылады. Демек, денениң дүзетілген тығызлығы  $\rho$

$$\rho = \frac{m + \frac{W\lambda}{\delta - \lambda}}{W + \frac{W\lambda}{\delta - \lambda}} \delta = \frac{m}{W} (\delta - \lambda) + \lambda$$

формуласының жәрдеминде есапланады.

Сымның салмағының суға батырған бөлегинің кемейиуі жүдә киши болғанлықтан оның мәнісін есапқа алмауға болады.

Алынған нәтижелер хәм есаплаулар жуумақлары 1-кестеге жазылады.

1-кесте.

№	$M_1, \text{kg}$	$M_2, \text{kg}$	$\delta, \text{kg/m}^3$	$\lambda, \text{kg/m}^3$	$\rho_1, \text{kg/m}^3$	$\Delta\rho, \text{kg/m}^3$	
1							
2							
3							
4							
Ort.							

## 2-шынығыу.

### Суйықлықтың тығызлығын гидростатикалық усылдың жәрдеминде анықлау

**Керекли әсбап хәм үскенелер:** 1) дәл өлшейтуғын (аналитикалық) тәрези, 2) тәрези таслары, 3) ауызы дәнекерленген шийше баллон, 4) металдан исленген үш аяқлы кишкене стол, 5) еки стакан, 6) изертленетуғын суйықлық қуйылған ыдыс, 7) жиңишке сым.

### Өлшеулер.

1. Баллон жиңишке сым жәрдеминде тәрези пәллелериниң бирине асып қойылады (1-сүүрет) хәм тәрезиниң екинши пәллесине таслар қойылып, 1 мГ дәлликте теңлестириледі.

2. Тәрезиниң пәллесине тийгизбестен оның төбесиндеги үш аяққа дистилляцияланған суўлы стакан қуйылып, шийше баллон стакандағы суўға батырылады. Бул жағдайда да баллонның стаканның дийўалына да, түбине де тиймеўине, баллонға хәм баллон илдирилген орынға ҳаўа көбиклериниң жабыспаўына, суў бети арқалы тек бир сымның өтиўине итибар берий керек. Тәрези тең салмақлылыққа алып келинеди хәм қысып шығарылған суўдың салмағының дүзетилмеген  $p$  мәниси табылады.

3. Суўлы стакан шетке алып қойылып, шийше баллон фильтр қағаз бенен сыпырылады хәм кептириледі. Буннан соң суўдың орнына тығызлығы анықланыўы керек болған суйықлық қуйылып, оған баллон батырылады хәм тәрези қайтадан теңлестириледі. Қысып шығарылған суйықлықтың массасының дүзетилмеген мәниси ушын  $q$  шамасы алынады. Буннан суйықлықтың дүзетилмеген тығызлығы болған  $\frac{q}{p} \delta$  шамасы табылады.

**Есаплаўлар.**  $v$  арқалы шийше баллонның көлемин,  $\delta$  арқалы тәжирийбе өткерилген ўақыттағы суўдың тығызлығын (усы ўақыттағы суўдың температурасы жазып алынады) хәм  $\lambda$  арқалы ҳаўаның тығызлығын белгилеймиз. Көлеми қысып шығарылған суўдың көлемине тең болған шийше баллонның көлеми

$$P = V(\delta - \lambda)$$

теңлигинен анықланады. Тығызлықтың дүзетилген мәниси.

$$\rho = \frac{q + v\lambda}{p + v\lambda} \delta$$

шамасына тең болады. Бул теңликке  $v$  ның жоқарыдағы теңликтен табылған мәнисин қойсақ, суйықлықтың дүзетилген тығызлығының

$$\rho = \frac{q}{p} (\delta - \lambda) + \lambda$$

формуласының жәрдеминде есапланатуғынлығына ийе боламыз.  $\delta$  ның мәниси кестеден табылады,  $\sigma$  ны  $0,0012 \text{ Г/см}^3$  мәнисин алыў мүмкин. Сымның салмағының суйықлықтың ишинде кемейиўи жүдә киши болғанлықтан онын мәнисин есапқа алмаймыз.

Егер суйықлықтың жыллылық кеңейиў коэффициентини белгили болса, онда оның  $0^\circ \text{C}$  температурадағы тығызлығын есаплап табыў мүмкин болады.

Алынған нәтийжелер 2-санлы кестеге жазылады.



№	$M_1$ , kg	$M_2$ , kg	$\delta$ , kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ , kg/m <sup>3</sup>	$\rho_1$ , kg/m <sup>3</sup>	$\Delta\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$\frac{\Delta\rho}{\rho} \cdot 100\%$
1							
2							
3							
4							
Ort.							

#### 4- санлы лабораториялық жұмыс

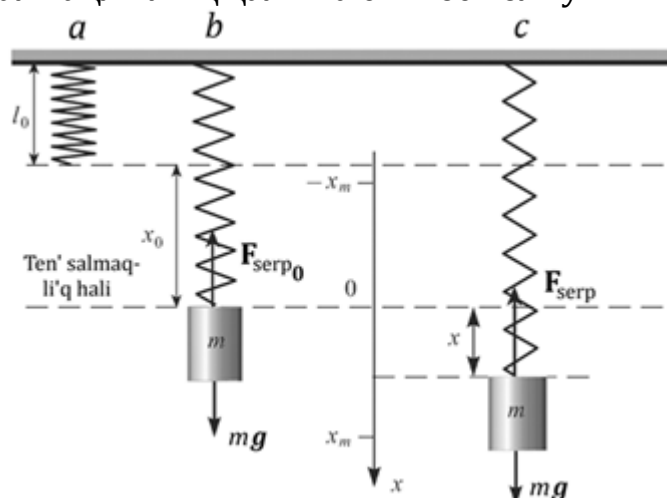
### Пружины маятниктер белістерін үйреніу

**Жұмыстың мақсети:** Пружинаға илдирилген жүктің тербелістерін үйреніу арқалы меншикли гармоникалық тербелістер менен танысу.

**Теориялық бөлім.** Серпимлилік коэффициенті белгили болған материалдан соғылған хәм узынлығы  $l_0$  шамасына тең болған пружина берилген болсын. Пружинаның бир ушы беккемленип, вертикаль бағытта илдирилген (1-а сүүрет). Пружинаға салмағы  $P = mg$  шамасына тең жүк илдирилгенде созылады (деформацияланады) хәм узынлығы  $x_0$  шамасына артады (1-б сүүрет). Физикалық мәніси бойынша  $x_0$  шамасы абсолют деформация болып табылады хәм оны әдетте  $x_0 = \Delta l$  арқалы белгилейди. Гук нызамы бойынша

$$P = F = kx_0 = k\Delta l \quad (1)$$

Бул аңлатпадағы  $k$  шамасын серпимлилік коэффициенті деп атайды хәм оның дйна/sm, N/m бирликлеринде өлшенетуғынлығы көринип тур. 1-б сүүретте жүк илдирилген пружинаның тең салмақлық халы сәулендирилген.  $x_0 = \frac{P}{k}$  арқалы жүк илдирилген пружинаның тең салмақлық халына сәйкес келиуши координата белгиленген.



1-сүүрет.

Жүк илдирилген пружинаны тербеліске келтиремиз. Оның ушын жүкті  $x$  шамасына төменге тартамыз хәм еркіне қоямыз. Егер төменге қарай ауысуыды  $x$  арқалы аңлатсақ, онда жоқарыға қарай көтерілиуді -

$x$  арқалы белгилеу керек. Усыған байланысly пружинаны тең салмақлық халынан жоқары қарай көтеретуғын күштиң белгиси терис, ал төменге қарай жылыстыратуғын күштиң белгисин оң деп есаплаймыз. Жүк тең салмақлық халынан  $+x$  аралығына төменге қарай жылысқанда оған

$$F_1 = -k[(l - l_0) + x] = -k(x_0 - x) = -kx_0 - kx$$

шамасына тең деформация күши тәсир етеди. Жүк болса пружинаны  $P = F = kx_0$  күши менен төменге қарай тартады. Жүкке тәсир етиуши күшлердиң қосындысы

$$F = F_1 + P = -kx \text{ ямаса } F = -kx \quad (2)$$

шамаларына тең болады. Физикалық мәниси бойынша бул күш массасы  $m$  шамасына тең жүкти тең салмақлылық халына қайтарыуға бағытланған квазисерпимлик күши болып табылады. Бундай квазисерпимлик күштиң тәсиринде массасы  $m$  шамасына тең жүк пенен пружинадан ибарат еркинлик дәрежеси бирге тең болған система  $x$  көшери бағытында тербеледи. Бул жағдайда жүктиң қозғалыс теңлемеси

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx \text{ ямаса } \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x \quad (3)$$

түриндеги екінши тәртипли сызықлы дифференциал теңлеме болып табылады. Сүйкелисти есапқа алмағанда тең салмақлық халы этирапындағы киши амплитудалы тербелислерди гармоникалық тербелислер деп есаплауға болады. Сонлықтан (3)-теңлемениң шешимин гармоникалық функция

$$x = A \sin(\omega t + \varphi) = A \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t + \varphi\right) \quad (4)$$

түринде жазыу мүмкин. Бул аңлатпада  $x$  арқалы аўысыу, ал  $A$  арқалы тербелис амплитудасы, қаўсырмалардағы  $\omega t + \varphi = \sqrt{\frac{k}{m}}t + \varphi$  арқалы тербелистің фазасы, ал  $\varphi$  арқалы дәслепки фазаның мәниси белгиленген. Гармоникалық тербелистің циклик жийилиги  $\omega = 2\pi\nu$  шамасына тең ( $\nu$  арқалы тербелислер жийилиги белгиленген).

(1)-формуланың жәрдемінде пружинаның серпимлилик коэффициенти  $k$  шамасының мәнисин табыуға болады. Ал  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$  формуласы бойынша тербелис дәуириниң мәниси есапланады. Тербелис амплитудасы  $A$  менен дәслепки фаза  $\varphi$  турақлы шамалар болып, олардың сан мәнислери еки ўақыт моментиндеги аўысыу  $x$  пенен  $v = \frac{dx}{dt}$  тезликтің мәнислеринен пайдаланып табылады.

Жүкти тынышлықтағы тең салмақлылық халынан шығарып жибергеннен кейинги бақланатуғын тербелислер пружиналы маятниктиң меншикли ямаса еркин тербелислери деп аталады. (1)- хәм (2)-формулардан меншикли тербелислердиң циклик жийилиги

менен тербеліс дәуірінің пружинаның материалына хәм жүктің массасына байланысly болатуғынлығы көринип тур.

Енди пружиналы маятникти ишине суйықлық қуйылған ыдысқа түсірейік (2-сүүрет). Бундай жағдайда маятниктиң суйықлықтың ишиндеги тербеліслери жаўадағы тербеліслерге салыстырғанда тезирек сөнеди. Суйықлықтың ишинде тербеліп атырған маятникке тәсир ететуғын сүйкеліс күшинің мәніси жаўадағы сүйкеліс күшинің мәнісинен әдеўир үлкен болады.

Сүйкеліс күшинің мәніси

$$F = rv = r \frac{dx}{dt}$$

формуласының жәрдемінде есапланады хәм бул аңлатпада оның шамасының тезлікке туўры пропорционал екенлиги есапқа алынған. Бул формулада  $r$  арқалы сүйкеліс коэффициенти белгиленген. Енди пружиналы маятниктиң қозғалыс теңлемеси

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - r \frac{dx}{dt} \text{ ямаса } \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x - \frac{r}{m} \frac{dx}{dt}$$

түрінде жазылады хәм бундай теңлемелердиң шешими

$$x = A_0 e^{-\delta t} \cos(\omega_1 t + \varphi) \quad (6)$$

функциясы болып табылады. Бул аңлатпадағы

$$\delta = \frac{r}{2m} \quad (7)$$

шамасы сөниў коэффициенти деп аталады. Ал цикллық жийилик

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{r^2}{4m}} \quad (8)$$

шамасына тең.

Егер тербеліс амплитудасының мәніси  $t$  ўақыт моментінде  $A_t$  шамасына, ал  $t + T$  ўақыт моментінде  $A_{t+T}$  шамасына тең болатуғын болса, онда (6)-формулаға тийкарланып олардың қатнасы ушын төмендеги аңлатпаны аламыз:

$$\frac{A_t}{A_{(t+T)}} = \frac{A_0 e^{-\delta t}}{A_0 e^{-\delta(t+T)}} = e^{\delta T}. \quad (9)$$

Мейли  $T_1 = \tau$  ўақыты ишинде тербеліс амплитудаси  $e$  есе кемейетуғын болсын. Онда (9)-аңлатпадан

$$\frac{A_t}{A_{(t+T)}} = e^{\delta T_1} = e^{\delta \tau} = e$$

ямаса

$$\delta \tau = 1 \quad (10)$$

теңлигине ийе боламыз. Бул аңлатпадағы  $\tau = 1/\delta$  шамасы релаксация ўақыты деп аталады. Релаксация ўақыты тербеліс амплитудасының  $e$  есе кемейетуғын ўақытқа тең. Демек сөниў коэффициенти  $\delta = 1/\tau$  релаксация ўақтына кері шама болып табылады екен. Оның мәніси қанша үлкен болса сөниў соншама тезирек болады.

Әдетте көпшилик әмелий мәселелерди шешиўде  $\delta$  сөниў коэффициентиниң орнына пайдаланыў ушын қолайлырақ болған сөниўдиң логарифмлик декременти деп аталатуғын ҳәм  $\theta$  арқалы белгиленетуғын параметр пайдаланылады. Сөниўдиң логарифмлик декрементиниң мәнисин (9)-аңлатпаны логарифмлеў жолы менен анықлайды:

$$\theta = \ln \frac{A_t}{A_{T+t}} = \delta T. \quad (11)$$

Егер тербелис амплитудасының мәнисиниң е есе кемейиўи барысында тербелис  $N$  рет қайталанатуғын болса, онда (10)- ҳәм (11)-аңлатпалардан  $\theta = \frac{T}{\tau}$  теңлиги ямаса

$$\theta = \frac{2}{\tau/T} = \frac{1}{N} \quad (12)$$

аңлатпасы келип шығады.

Сөниўдиң логарифмлик декременти амплитуданың е есе кемейиўи барысында неше рет толық тербелистиниң жүзеге келетуғынлығын характерлейди.

(7)- ҳәм (11)-теңликлерден сүйкелиў коэффициентини ушын

$$r = \frac{2\theta m}{T} \quad (13)$$

есаплаў формуласы алынады.

**Керекли әсбап ҳәм материаллар:** 1) пружиналар ҳәм жүклер жыйнағы, 2) жабысқақ суйықлық қуйылған ыдыс, 3) секундомер.

Мәселе ең әпиўайы меншикли тербелислер менен танысыўдан ибарат. Пружиналы маятниктиң тербелислери изертленеди ҳәм бундай тербелислерди ҳаўада сөнбейди деп есаплаймыз.

Әлбетте, пружиналы маятниктиң тербелисин сөнбейтуғын тербелислер деп қараў мүмкин емес. Бирақ бул жумыста пружиналы маятниктиң ҳаўадағы тербелисин суйықлық ишиндеги тербелиске салыстырғанда сөнбейтуғын тербелис деп жуўық түрде есаплаймыз.

**Әсбаптың характеристикасы.** Әсбап штативтен ибарат (2-сүўрет). Оған ҳәр қыйлы пружиналарға ҳәр қыйлы салмақларға ийе жүклер избеиз илдириледи. Штативке шкала бекитилген. Шийше ыдысқа жабысқақ суйықлық қуйылған.

## 1-шынығыў.

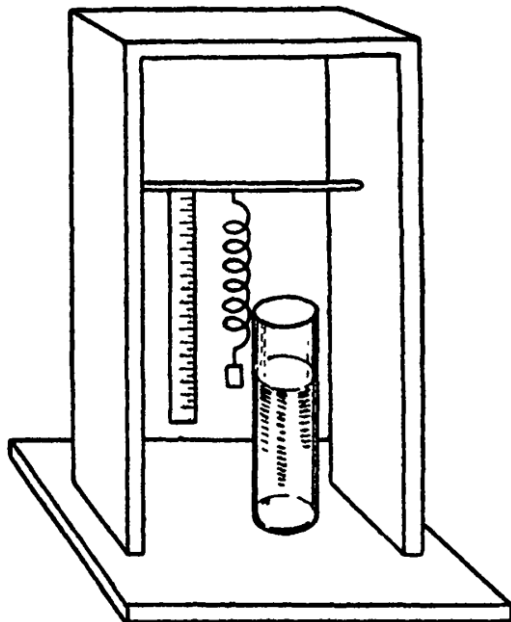
### Пружинаның қаттылық коэффициентин статикалық усыл менен анықлаў

Статикалық усылдың жәрдемінде пружинаның  $k$  серпимлилик коэффициентин анықлаў ушын оған салмағы  $P$  шамасына тең болған жүк

илдирилгенде пружинаның узынлығының өсими  $l$  өлшенеди. Буннан кейин

$$k = \frac{P}{l}$$

формуласы бойынша пружинаның серпимлилик коэффиценти  $k$  анықланады.



2-сүүрет.

**Жумысты орынлаудың ізбе-излиги:**

1. Белгили номерли пружина 1 штативке илдириледі. Пружинаның төменги ушының турған орны шкаладан белгиленеди.
2. Пружинаға салмағы  $P_1$  болған жүк илдириледі. Пружинаның жүктің салмағы тәсиріндеги  $\Delta l$  созылыуы шкаладан жазып алынады.
3. (1)-формуладан пайдаланып, пружинаның қаттылық коэффиценти  $k$  ның мәніси есапланады.
4. Салмақлары  $P_1$  хәм  $P_2$  болған жүклер илдирилип пружинаның созылыуының мәніслери анықланады.
5. 1–4 пунктлерде баян етилген усылдың жәрдеминде пружинаның серпимлилик коэффиценти анықланады. Тәжирийбелер басқа да 2-3 пружина ушын қайталанады.
6. Алынған нәтийжелер хәм есаплаулардың жуумақлары 1–кестеге жазылады.

1 – кесте

Пружина	№	$P$ , Н	$\Delta l$ , м	$k = \frac{P}{\Delta l}$ , Н/м	$k$ , Н/м	$\Delta k$ , Н/м	$\frac{\Delta k}{k} \cdot 100\%$
I	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
Орт.							

II	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
Орт.							
III	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
Орт.							

## 2 - шынығыў

### Пружиналы маятниктиң меншикли тербелислери дәўириниң ҳәм цикллық жийилигиниң жүктиң массасына ғәрезлигин үйрениў

Серпимлилик коэффициентини  $k$  болған пружиналы маятниктиң пружиналарының бири ушын меншикли тербелис дәўири  $T$  өлшенеди ҳәм пружинаға илдирилген жүктиң массасы  $m$  менен  $T^2$  арасындағы ғәрезлиликтиң графиги дүзиледи.

Тербелис дәўири болған  $T$  шамасын анықлаў ушын жүкти тең салмақлық ҳалынан 30-50 мм шамасына созады ҳәм секундомердиң жәрдемінде маятниктиң  $n$  рет тербелетуғын ўақыт  $t$  өлшенеди. Тербелислер саны  $n$  ниң мәниси 40 ямаса 50 ден кем болмаўы керек.

Тербелис дәўири болған  $T$  шамасының мәниси  $T = t/n$  формуласының жәрдемінде анықланады. Жоқары дәлликке жетиў ушын өлшеўлер бир неше рет қайталанады ҳәм алынған мәнислердиң орташа арифметикалық мәниси алынады.

#### Жумысты орынлаўдың избе-излиги.

1. Белгили номерли пружина штативке илдириледи.
2. Пружинаға массасы  $m_1$  болған жүк илдириледи.
3. Жүк тең салмақлылық ҳалынан төменге (жоқарыға) 30–50 мм шамасына жылыстырылады ҳәм босатылады. Нәтийжеде маятник тербеле баслайды.
4. Маятниктиң  $n$  тербелиси ушын кеткен ( $n = 40-50$ ) ўақыт  $t$  секундомердиң жәрдемінде өлшенеди.
5. Тербелис дәўирин  $T = t/n$  формуласының жәрдемінде есаплайды.
6. Маятниктиң меншикли тербелислериниң цикллик жийилиги  $\omega = 2\pi/T$  ҳәм  $\omega = \sqrt{k/m}$  формулаларының жәрдемінде есаплайды ҳәм

алынған нәтижелер бир бири менен салыстырылады.  $k$  ның мәніси биринши шынығыўдың нәтижелеринен алынады.

7. 2-6 пунктте орынланған жумыслар ҳәр қыйлы болған бир неше жүклер ушын қайталанады.

8.  $T^2$  ҳәм  $\omega^2$  шамалары есапланады.

9. Алынған нәтижелер 2-санлы кестеге түсириледі.

10.  $T^2$  ҳәм  $\omega^2$  шамаларының жүктің массасы  $m$  ге ғәрезлигиғиниң графиклери сызылады.

2-кесте

Пружина	$m$ , кг	$\nu$ , Гц	$t_{ort}$ , с	$T = \frac{t_{ort}}{n}$ , с	$T^2$ , с <sup>2</sup>	$\omega = \sqrt{\omega/m}$ , с <sup>-1</sup>	$\omega^2$ , с <sup>-2</sup>
1							
2							
3							
4							
5							

### 3 – шынығыў.

#### Пружиналы маятниктиң меншикли тербелислериниң пружинаның серпимлилик коэффицентине ғәрезлигиғин үйрениў

Бирдей жүк илинген жағдай ушын барлық пружиналардың меншикли тербелис дәўири  $T$  анықланады. Массасы 30-50 г болған жүк қолланылады. Буннан кейин  $T^2$  шамасының серпимлилик коэффиценти  $k$  дан ғәрезлиги анықланады.

Системаның тербелис дәўири менен жүктің салмағын билип пружинаның серпимлилик коэффиценти  $k = 4\pi^2 m/T^2$  формуласының жәрдемінде есапланады ҳәм бул шама жоқарыда келтирилген статикалық усылдың жәрдемінде алынған шама менен салыстырылады.

#### Жумысты орындаўдың избе-излиги.

1. Массасы  $m = 30-50$  г шамасындағы жүк таңлап алынады.

2. Штативке номери белгиленип алынған пружина илдирилип, оған таңлап алынған жүк илдириледі.

3. 2-шынығыўдың 3-5 пунктлеринде баянланған усыл жәрдемінде маятниктиң тербелис дәўири  $T$  анықланады.

4. Тербелис дәўириниң мәніси бойынша пружинаның серпимлилик коэффиценти  $k$  ның мәніси есапланады.

5. Серпимлилик коэффицентиниң есапланған мәніси менен 1-шынығыўда анықланған мәнис салыстырылады.

6. Және бир неше пружина ушын таңлап алынған  $m$  массалы жүк пенен 2–5 пунктлерде көрсетилген тәжирийбелер қайталанады.

7. Алынған нәтийжелер 3–кестеге жазылады.

8.  $T^2$  шамасының  $k$  шамасына ғәрезлигиниң графиги сызылады.

3 – кесте

Пру- жин а	$m$ , кг	$N$	$t_{ort}$ , с	$T = \frac{t_{ort}}{n}$ , с	$T^2$ , с <sup>2</sup>	$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$ , Н/м	$k_1$ (1- шынығыў бойынша)	$\Delta k = k - k_1$ , Н/м
1								
2								
3								
4								
5								

#### 4 – шынығыў

### Пружиналы маятниктиң тербелиси ушын сөниўдиң логарифмлик декрементин ҳәм сүйкелис коэффицентин анықлаў

Пружиналы маятниктиң тербелиси ушын сөниўдиң логарифмлик декременти  $\theta$  шамасын анықлаў ушын массасы  $m$  болған жүкти суйықлық қуйылған ыдысқа салады ҳәм тербелис дәўири  $T$  менен тербелис амплитудасының дәслепки амплитуданың 10 % шамасына (яғный  $A_t = 0,1A_0$  теңлиги орынланатуғын) кемейетуғын ўақыт өлшенеди.

Өлшеўлерди дәслепки амплитудалардың бир неше мәнислеринде (70, 50, 30 мм) өткерий керек болады. Амплитуданың ҳәр бир мәнисинде кеминде 5 рет өлшеў усынылады.

Өлшеўлерде алынған нәтийжелер бойынша

$$\theta = \frac{T}{t} \ln \frac{A_0}{A_t}$$

формуласының жәрдемінде сөниўдиң логарифмлик декременти есапланады.  $\theta$  шамасын билиў арқалы  $\theta = rt/2m$  формуласының жәрдемінде сүйкелис күшиниң коэффицентини  $r$  анықланады.

#### Жумысты орынлаўдың избе-излиги.

1. Ҳәр қыйлы пружиналар ҳәм массасы  $m$  шамасына тең болған жүк таңлап алынады. Пружиналар номерленеди, оның бир ушы штативке бекитиледи ҳәм екинши ушына жүк илдириледи

2. Маятник ыдыстағы суйықлыққа түсириледи.

3. 2–шынығыўдың 3–5 пунктлеринде баянланған усыл менен маятниктиң тербелис дәўири  $T_1$  анықланады.



4. Басланғыш амплитуданы  $A_0 = 30$  мм шамасына тең етип алып маятникти жаздырамыз (тербеліуі үшін мүмкіншілік пайда етемиз) хәм усының менен бир ұақытта секундомерди иске қосамыз.

5. Бақлауды даўам етип, тербеліс амплитудасы басланғыш амплитуданың 0,1 бөліміне тең шамаға кемеігенше ямаса  $A_t = 0,1A_0$  ( $A_t = 3$  мм) теңлігі орынланғанша сарыпланған  $t$  ұақытты секундомердиң жәрдемінде өлшейміз.

6. (12)- қатнастан  $\theta$  логарифмлік декремент есапланады. (11)-, (12)- хәм (8)- формулалардан пайдаланып,  $\delta$  сөніуі коэффициентінің,  $r$  сүйкеіуі коэффициентінің хәм меншікли тербелістің циклик жийілігі  $\omega_1$  ның мәніслері есапланады.

Алынған нәтижелер 4-кестеге жазылады.

4 - кесте

№	$m$ , кг	$A_0$ , м	$A_1$ , м	$n$	$t_1$ , с	$T_1 = \frac{t_1}{n}$ , с	$t_{ort}$ , с	$\delta$	$\tau$	$\theta$	$r$ , кг/с	$\omega_1$ , с <sup>-1</sup>
1												
2												
3												
4												
5												
Орт.												

### Сораўлар

1. Жумыста физиканың қандай фундаменталлық нызамлары изертленіледі?
2. Пружинаға горизонт бағытта бекитілген хәм вертикал бағытта илдирилген жүклердиң қозғалыс теңлемелерін жазыңыз.
3. Қандай себеплерге байланысly бундай маятниклердиң тербеліс дәуірлері бирдей мәніске ийе?
4. Неликтен пружиналы маятниктиң тербеліс жийілігі амплитудан ғәрезсіз?
5. Тербеліс дәуірлерін анықлау үшін маятниктиң тербеліслерінің санын қалайынша сайлап алады?

## 5 – лабораториялық жұмыс. Байланысқан механикалық системалардың тербеліслерін үйреніу

**Жұмыстың мақсети:** Пружинаға илдирилген жүктің тең салмақлық шәртинен пайдаланып, ізбе-із хәм параллель жалғанған пружиналардың серпимлилик коэффициентлерін анықлау. Теориялық нәтийжелер менен тәжірийбе нәтийжелерін салыстыруу хәм таллау.

**Қурылманың дүзилісі.** Қурылма бир текли ағаштан соғылған болып, ағаштың вертикал бағыттағы бөлімі  $A$  шкаласы етип алынған. Жоқарғы ушына пружинаны илдириу ушын  $B$  илдиригіш соғылған.

**Керекли әсбап хәм үскенелер:** Қаттылық коэффициентлери анықланыуы керек болған пружиналар, массалары белгили тәрези таслары (бул жұмысты орындау ушын еки ямаса үш пружина керек).

**Керекли қураллар:** 1) дүзіліс, 2) секундомер.

**Қысқаша теория.** Бир бири менен қандай да бир жоллар менен байланыстырылған еки ямаса онан да көп маятниклердің жыйнағын байланысқан система деп атаймыз. Мысал ретінде 1-сүуретте көрсетілген системаны қараймыз. Бул система бирдей болған еки 1 хәм 2 пружиналы маятниклерден турады. Олардың хәр қайсысы бир вертикалдың бойында илдирилген қаттылығы  $k$  шамасына тең 3 хәм 4 пружиналарға илдирилген массасы  $m$  шамасына тең болған жүк болып табылады.

Дәслепки халда 5 арқалы белгиленген пружина болмайды. Сонлықтан бул жағдайда бирдей болған еки маятникке ийе боламыз.

Егер бул маятниклерди қаттылығы  $k_{12}$  болған үшінши пружина менен байланыстырсақ (бул пружина 5 арқалы белгиленген), онда еки еркинлик дәрежесине ийе болған байланысқан системаны аламыз.

Еки жүктің тең салмақлық халында хәр бир жүкке тәсир ететуғын күшлердің қосындысы (атап айтқанда салмақ күши менен серпимли күшлердің қосындысы) нолге тең. Егер бир жүкті тең салмақлық халдан  $x_1$  шамасына, ал екинши жүкті  $x_2$  шамасына жылыстырсақ, онда системаны тең салмақлық халына алып келиуіге "тырысатуғын" күшлер пайда болады. Бундай жағдайда биринши жүкке тәсир ететуғын күшлердің қосындысы

$$f_1 = -kx_1 - k_{12}(x_1 - x_2),$$

ал екинши жүкке тәсир ететуғын күшлердің қосындысы

$$f_2 = -kx_2 - k_{12}(x_2 - x_1)$$

шамасына тең болады. Хәр бир жүктің қозғалыс теңлемесін былайынша жазамыз:

$$kx_1 + k_{12}(x_1 - x_2) + m\ddot{x}_1 = 0,$$

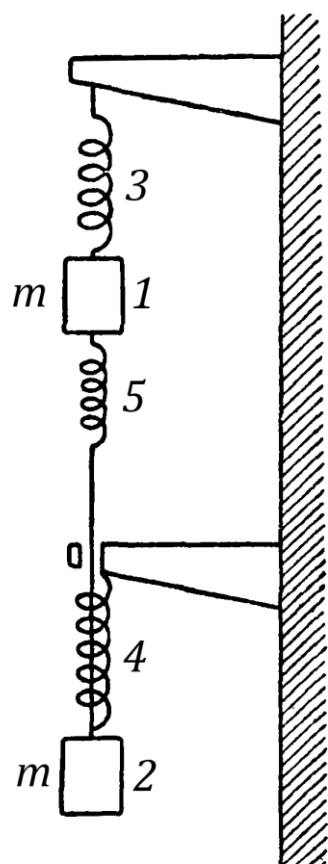
$$kx_2 + k_{12}(x_2 - x_1) + m\ddot{x}_2 = 0.$$

Бул теңлемелерди қосып хәм бир теңлемени екіншисинен алсақ бир биринен гәрезсиз болған еки теңлемени аламыз:

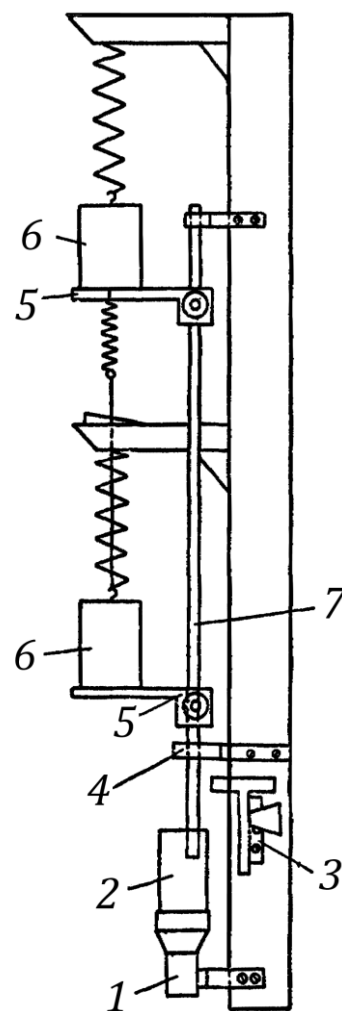
$$kX + m\ddot{X} = 0,$$

$$(k + 2k_{12})Y + m\ddot{Y} = 0.$$

Бул теңлемелерде  $X = x_1 + x_2$  хәм  $Y = x_1 - x_2$ .



1-сүүрет.



2-сүүрет.

Бул теңлемелердиң шешимлери бәршеге де жақсы белгили:

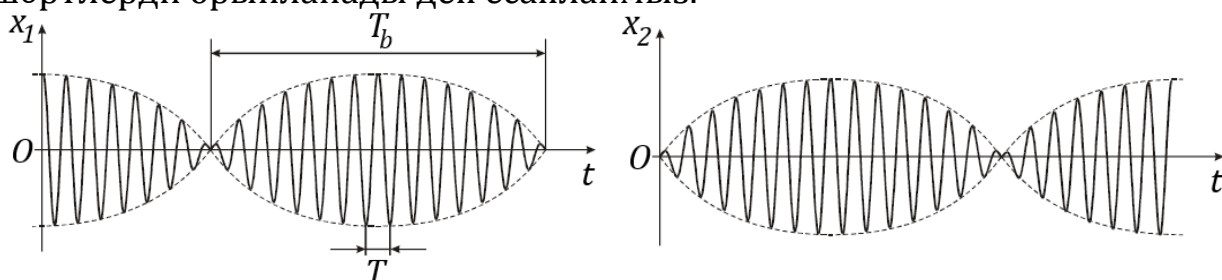
$$X = A \cos(\omega_1 t + \varphi),$$

$$Y = A \cos(\omega_2 t + \psi).$$

Бул аңлатпаларда  $\omega_1 = \sqrt{k/m} = \omega_0$  (еки жүк бир бири менен байланыстырылмаған жағдайда усындай жийилик пенен тербелген болар еди) хәм  $\omega_2 = \sqrt{(k + 2k_{12})/m}$ .

$\omega_1$  менен  $\omega_2$  жийиликлерин нормал жийиликлер деп аталады.  $A, B, \varphi$  хәм  $\psi$  шамалары төрт басланғыш шәртлердиң жәрдемінде анықланады. Биз қарап атырған жағдайда бундай төрт дәслепки шәрт басланғыш ўақыт моментиндеги еки жүктиң еки координатасы менен тезликлери болып табылады. Мысалы еки тезлик те басланғыш ўақыт моментинде нолге тең болса, яғный  $\dot{x}_1(0) = \dot{x}_2(0) = 0$  теңликлери орынланса, онда анықлама бойынша  $\dot{X}(0) = \dot{Y}(0) = 0$  шәртлери де келип шығады. Бул

жағдай өз гезегінде  $\varphi$  менен  $\psi$  шамаларының нолге тең екенлигин билдиреди. Буннан былай биз барлық ұақытта да тап усындай дәслепки шәртлерди орынланады деп есаплаймыз.



3-сүүрет. Бул сүүретлерде  $T_b$  арқалы биениениң дәўири,  $T$  арқалы тербелис дәўири,  $t$  арқалы ұақыт белгиленген.

Анаў ямаса мынаў (биринши ямаса екнши) жүктиң қозғалысының характерин анық билиў ушын  $x_1$  хәм  $x_2$  шамаларының ұақыттың функциясы сыпатындағы аңлатпаларын және дәслепки аўысыўлар болған  $x_1(0) = x_{10}$  хәм  $x_2(0) = x_{20}$  шамаларының мәнислерин табамыз.  $x_1 = (X + Y)/2$  хәм  $x_2 = (X - Y)/2$  теңликлери орынланатуғын болғанлықтан

$$x_1(t) = \frac{A}{2} \cos \omega_1 t + \frac{B}{2} \cos \omega_2 t, \quad x_2(t) = \frac{A}{2} \cos \omega_1 t - \frac{B}{2} \cos \omega_2 t \quad (1)$$

аңлатпаларына ийе боламыз.

Ўақыттың басланғыш моментинде  $x_{10} = \frac{A}{2} + \frac{B}{2}$  хәм  $x_{20} = \frac{A}{2} - \frac{B}{2}$  теңликлери орынлы болатуғын болғанлықтан  $A = x_{10} + x_{20}$  хәм  $B = x_{10} - x_{20}$  теңликлерин аламыз.

$\dot{x}_1(0) = 0 = \dot{x}_2(0) = 0$  шәрти орынланғанда (1)-теңлемелер системасының улыўмалық шешими

$$x_1 = \frac{x_{10} + x_{20}}{2} \cos \omega_1 t + \frac{x_{10} - x_{20}}{2} \cos \omega_2 t,$$

$$x_2 = \frac{x_{10} + x_{20}}{2} \cos \omega_1 t - \frac{x_{10} - x_{20}}{2} \cos \omega_2 t$$

түрине ийе болады.

Бул аңлатпалардан хәр бир жүктиң қозғалысының нормал  $\omega_1$  хәм  $\omega_2$  жийиликлери менен тербелетуғын еки тербелестиң суперпозициясынан туратуғынлығы көринеди. Бундай жағдайда биениелер пайда болады (3-сүүретти қараңыз). Бирақ басланғыш аўысыўлардың шамасын арнаўлы түрде сайлап алыўдың нәтийжесинде бир жийиликтеги тербелестиң пүткиллей қозбаўына алып келиўге болады.

Бундай физикалық қубылысларды компьютерлердиң жәрдемінде әпиўайы программалардың жәрдемінде аңсат демонстрациялаўға болады.

Ҳақыйқатында да мейли  $x_{10} = x_{20}$  шәрти орынланатуғын болсын. Бул жағдайда маятниклердиң екеўи де тең салмақлық орнынан жоқарыға (ямаса төменге) қарай бирдей шамаға аўысқан болады. Бундай жағдайда еки жүк те  $\omega_1 = \omega_2$  жийилиги менен бирдей фазада тербеледи. Егер  $x_{10} = -x_{20}$  шәрти орынланатуғын болса, онда жүклер бирдей шамаға, бирақ хәр

қыйлы тәреплерге қарай аўысқан болады хәм қарама-қарсы фазаларда  $\omega_2$  жийилиги менен тербеледи.

Егер ең дәслеп жүклердиң биреўи тең салмақлық орыннан аўыспаған болса биениелерди бақлаў аңсат болады. Мейли  $x_{20} = 0$  болсын. Бундай жағдайда

$$x_1 = \frac{x_{10}}{2} \cos \omega_1 t + \frac{x_{10}}{2} \cos \omega_2 t,$$

$$x_2 = \frac{x_{10}}{2} \cos \omega_1 t - \frac{x_{10}}{2} \cos \omega_2 t$$

аңлатпаларына ийе боламыз. Белгили тригонометриялық қатнастарды пайдаланып

$$x_1 = x_{10} \cos \left( \frac{\omega_2 - \omega_1}{2} t \right) \cos \left( \frac{\omega_2 + \omega_1}{2} t \right),$$

$$x_2 = x_{10} \sin \left( \frac{\omega_2 - \omega_1}{2} t \right) \sin \left( \frac{\omega_2 + \omega_1}{2} t \right)$$

формуларын аламыз. Мәселениң шәрти бойынша маятниклер арасындағы байланыс әззи болғанлықтан (яғный  $k_{12} \ll k$  теңсизлиги орынланатуғын болғанлықтан)  $\omega_2 - \omega_1 \ll \omega_1$  теңсизлигине ийе боламыз. Сонлықтан  $\cos \left( \frac{\omega_2 + \omega_1}{2} t \right)$  функциясына салыстырғанда  $\cos \left( \frac{\omega_2 - \omega_1}{2} t \right)$  функциясы әстерек өзгереді. Бул жағдай жүклердиң қозғалысын  $\omega = \frac{\omega_2 + \omega_1}{2}$  жийилигиндеги амплитудасы әстелик пенен өзгереуғын тербеліс деп қараўға мүмкиншилик береді.

Ўақыттың басланғыш моментинде екинши жүк тынышылықта турады (яғный оның тербеліс амплитудасы нолге тең). Базы бир ўақыттан кейин сезилерликтей тербеліс пайда болады хәм  $\frac{\tau}{2} = \frac{\pi}{\omega_2 - \omega_1}$  ўақыты өткеннен кейин тербеліс амплитудасы максималлық мәнисине шекем өседі хәм буннан кейин тербеліслердиң амплитудасы қайтадан киширейе баслайды хәм  $\tau = \frac{2\pi}{\omega_2 - \omega_1}$  ўақыт моментинде нолге тең болады.

Биениениң дәўири амплитуданың еки қоңсылас минималлық мәнислери арасындағы ўақыт сыпатында анықланады. Биз қарап атырған жағдайда биениениң дәўири жүклердиң бириниң амплитудасы нолден қайтадан нолге айланаман дегенше өткен ўақытқа тең. Бул ўақыт (дәўир)  $\tau = \frac{2\pi}{\omega_2 - \omega_1}$  шамасына тең. Буннан  $\omega_b$  биениениң жийилигиниң нормал жийиликлердиң айырмасына тең екенлиги келип шығады:

$$\omega_b = \omega_2 - \omega_1.$$

Бул қатнас ең улыўма жағдайда орынланады.

**Әсбаптың тәрийиплемеси.** Әсбап бирдей болған еки пружиналы маятниклерден турады. Олар бир бириниң үстине илдирилген хәм бир бири менен пружинаның жәрдемінде байланыстырылған (2-сүўрет).

Еки маятниктиң тербеліс жийиликлериниң бирдей болыўы ушын төменги маятниктиң тербелетуғын бөлиминиң узынлығын пружинаны

жоқары ямаса төменге қарай жылжытыу арқалы хәм оның жоқарғы бөлимин сәйкес орынға бекитиу менен әмелге асырылады.

Маятниклерди жоқарыға қарай бирдей шамаға ауыстырыу хәм олардың екеуин де бир уақытта жаздырыу ушын арнаулы дүзилис бар болады. Бул дүзилис еки платформаға ийе (5) вертикаллық штангадан (7) ибарат болады. Платформаларды штанганың бойы менен жылыстырыу хәм керекли орынға бекитиу мүмкин. Штанга жоқарыға хәм төменге қарай (4) бағытлаушы муфтаның ишинде еркин қозғалтыуға болады. Штанганың төменги ауҳалы стопоры ямаса (2) шаблону менен шекленеди. Шаблон стопор менен штанганың арасында орналастырылады. Жоқарғы ауҳалда штанга (3) иркиуши дүзилистиң жәрдемінде иркиледди.

**Өлшеулер.** Мәселеде маятниклерди бир бири менен байланыстырып турған хәр қыйлы пружиналар ушын меншикли тербелислердиң жийилигин, еки нормал жийиликти хәм биениениң жийилигин анықлау керек болады.

Ең дәслеп еки маятниктиң меншикли жийиликлериниң жеткиликли дәлликте бирдей екенлигине көз жеткериу керек болады. Буның ушын байланыстырыушы пружина болмаған жағдайда еки маятниктиң де бирдей фазада тербелетуғынлығын көрип алыу талап етиледди. 100-200 тербелистиң барысында фазаларында ауысыу бақланбаған жағдайда маятниклер дурыс жайластырылған деп есапланылады. Тербелислердиң фазаларының айырмасы бақланған жағдайда хәр бир пружинаның тербелетуғын участкаларының узынлықтарын өзгертиуге тууры келеди. Бирақ бундай операцияны оқытыушының қатнасыуысыз өткериуге руқсат етилмейди.

Маятниклердиң меншикли тербелислериниң жийиликлерин анықлау ушын кемінде 100 толық тербелис орын алатуғын уақыт өлшенеди. Қәтелерге жол қоймау ушын хәр пружина ушын бундай өлшеулерди кемінде 5 рет өткередди.

Киши нормаль жийиликли "таза" тербелислерди бақлау ушын (яғный маятниклер бир бири менен байланыстырылған жағдайдағы биениесиз синфазалық тербелислерди) еки жүкти де (6) бирдей бийикликке көтериу хәм бир уақытта жаздырыу керек. Буның ушын штанганың астына салынатуғын арнаулы (2) шаблону менен анықланатуғын шамаға (7) штанганы көтериу керек болады. Буннан кейин (5) платформаны (6) еки жүктиң астына алып келип оларды жүклерге тийетуғын, бирақ тең салмақлық халдан шығарып жибермейтуғындай етип қатырамыз. Усы операциядан соң штанга көтериледи хәм оны арнаулы (3) дүзилистиң жәрдемінде жоқарғы ауҳалда қатырады. Нәтийжеде еки жүк те жоқары қарай бирдей шамадағы ауысыу алады. Енди шаблонды жоқ етип хәм штанганы түсирсек еки жүк те нормаллық жийилиги  $\omega_1$  шамасына тең тербелиске келеди. Бундай жағдайда еки маятникти байланыстырып турған пружина деформацияланбайды. Ал

$\omega_1$  жийилигин өлшеу үшін жүклердің биринің кемінде 100 тербелиуі үшін кеткен ұақыт өлшенеди.

Жийилиги  $\omega_2$  болған нормал тербеліслерді қоздыруу үшін екі жүкті де бірдей шамаға, бірақ қарама-қарсы бағытларға ауыстыруу арқалы әмелге асырылады. Пружинаның иши арқалы өткерілген сабақтың жәрдемінде байланыстыруушы пружинаны бул пружина еле созылған қалда турғандай етип қысады. Усындай жоллар менен  $x_{10} = -x_{20}$  шәртинің орынланыуы жүзеге келеди. Жүклердің қозғалыуы толық тоқтағаннан кейин сабақты шырпы менен жағады хәм нәтийжеде екі жүк қарама-қарсы фазаларды  $\omega_2$  жийилиги менен тербеле баслайды. Бундай жағдайда хеш қандай биение бақланбайды.

$\omega_2$  жийилигинің мәнисин де кемінде 100 толық тербеліс үшін кеткен ұақытты өлшеу арқалы анықлайды.

Биение менен тербелісти қоздыруу үшін жүклердің бирин тең салмақлық қалдан базы бир қашықлыққа жылыстырып қояды. Жылыстыруудың шамасы байланыстыруушы пружина тербелістің барысында барлық ұақытта да созылған қалда болатуғындай етип алынады. Ауыстыруудың усундай усылында екинши жүктің басланғыш ауысыуы дәл нолге тең болмайды. Бірақ  $k_{12} \ll k$  шәрти орынланатуғын болғанлықтан ауысыуының шамасы киши болады.

Нормал жийиликлердің хәм биениелердің экспериментте алынған нәтийжелерин теориялық нәтийжелер менен салыстырып көриу керек.

Өлшеулерди хәр қыйлы болған 2-3 байланыстыруушы пружиналар үшін өткеріу керек. Өлшеулер нәтийжелери 1-кестеге жазылады.

1-кесте.

№	$T_1, c$	$\Delta T_1, c$	$T_2, c$	$\Delta T_2, c$	$\tau, c$	$\Delta \tau_{сл}, c$
1						
2						
3						
4						
5						
$\bar{x}$						
$\Delta x$		-		-		-
$\varepsilon_x$		-		-		-

### Қадағалау үшін сораулар

1. Қандай тербелиуіши системаны байланысқан система деп атаймыз? Мысаллар келтириңиз.

2. Бир бири менен байланысқан екі маятниклердің хәр қайсысының тербеліслери гармоникалық тербеліслер болып табылмайды. Неликтен?

3. Нормал тербеліслер және нормал жийіліктер дегеніміз не?
4. Қандай тербелісдерді синфазалық, ал қандай тербелісдерді антифазалық тербелісдер деп атаймыз?
5. Биениелер дегеніміз не? Нениң салдарынан биение құбылысы бақланады?
6. Маятниктер арасындағы қандай байланысты әзгі байланыс деп атайды? Әзгі байланыс жақынласуы үшін қандай шәрттер қойылады?
7. Қурамалы дәуірлі қозғалыстың гармоникалық анализі дегеніміз не?
8. Тербелістің спектрі және гармоникалары дегеніміз не?
9. Қандай жағдайларда биение құбылысын әмелде қолланады?

### 6-санлы лабораториялық жұмыс.

## Маятниктің жәрдемінде еркін түсіу тезленіуін табыу

**Теориялық бөлім.** Салмақ орайынан басқа нәқатқа асып қойылған қәлеген қатты дене тербеледі. Бундай денені физикалық маятник деп атайды. Физикалық маятниктің тербеліуі дәуірі жеткіліклі дәрежедегі үлкен дәлікте

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left( 1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right). \quad (1)$$

формуласының жәрдемінде анықланады. Бул аңлатпада  $g$  арқалы салмақ күшінің тезленіуі,  $\alpha$  арқалы маятниктің вертикаллық бағыттан бурылуы мүйеши, ал  $l$  арқалы физикалық маятниктің келтирилген узынлығы белгіленген. Физикалық маятниктің келтирилген узынлығы деп тербеліс дәуірі усы маятниктің тербеліс дәуіріне тең болған математикалық маятниктің узынлығына айтады. Бул шама (келтирилген узынлық)

$$l = \frac{J}{ma} \quad (2)$$

формуласының жәрдемінде анықланады. Бул аңлатпада  $J$  арқалы физикалық маятниктің тербеліуі көшеріне салыстырғандағы инерция моменти,  $m$  арқалы маятниктің массасы,  $a$  арқалы маятниктің тербеліуі көшері менен салмақ орайы арасындағы қашықлық белгіленген.

Егер физикалық маятниктің бурылуы мүйешінің шамасы үшін  $\alpha < 4^\circ$  теңсізлігі орынланатуғын болса, онда  $\frac{1}{4} \sin^2 \frac{\alpha}{2}$  шамасын (1)-формуладағы 1 ге салыстырғанда есапқа алмауға болады (яғный  $\frac{1}{4} \sin^2 \frac{\alpha}{2} \ll 1$  теңсізлігі орын алады). Бундай жағдайда еркін түсіу тезленіуі үшін

$$g = \pi^2 \frac{l}{T^2} \quad (3)$$



формуласына ийе боламыз.

Демек салмақ күшинің тезлениуи  $g$  шамасын анықлау үшін тербеліслер дәуіри  $T$  менен келтирилген ұзынлық  $l$  ның шамасын өлшеу керек екен. Маятниктің 10-20 тербеліси үшін кеткен уақытты секундомер менен өлшеп уақыттың мәнісін тербеліслер санына бөлсек тербеліу дәуіри болған  $T$  шамасын анықлау мүмкін. Бірақ маятник үшін келтирилген ұзынлықты табыу қыйынырақ. Оның мәнісін маятниктің геометриялық өлшемлери менен массасы бойынша есаплап табыу мүмкін. Соның менен бірге келтирилген ұзынлықты айланбалы маятник (оборотный маятник) деп аталатуғын маятниктің жәрдемінде анықлауға болады

Салмақ күшинің тезлениуінің мәнісін дәлірек анықлау үшін көп жағдайларды есапқа алыу керек болады. Бул жағдай есаплау жұмысларына көп санлы дүзетиулерди киргизеди. Бул дүзетиулер тербеліслер амплитудасының мәнісін, этираптағы атмосфераны, температураның өзгеріулерін, секундомердің дәллігін, штативтің тербеліслерін хәм басқа да себеплердің тәсирлерін есапқа алады. Төменде салмақ күши тезлениуінің дәл мәнісін сондай дүзетиулерди киргизбестен анықлаудың үш усылы баян етиледі.

## 1-тапсырма

### Салмақ күши тезлениуін айланбалы маятниктің жәрдемінде табыу (Бессель усылы)

**Терминологиялық ескертиу:** Рус тилиндеги "оборотный маятник" сөзін қарақалпақ тилине "айланбалы маятник" деп аударамыз. Бундай физикалық маятникти пайдаланғанда оны аударып қойыу ямаса айландырып қойыу (жоқары тәрәпин төменге, ал төменги тәрәпин жоқарыға) мүмкіншилигинен пайдаланылады. Сонлықтан "айландырып қойыуға болатуғын маятник" хәққында гәп етилип атырғанлықтан "айланбалы маятник" терминин дурыс термин сыпатында қабыл етемиз.

**Керекли эсбаплар:** 1) маятник, 2) секундомер.

**Жумыстың теориялық тийкары.** Айланбалы маятниктің ислеуи тербеліс орайы менен асып қойыу (илдиріп қойыу) ноқатларының бир бирине салыстырғанда түйинлеслигине тийкарланған. Түйинлеслик қәсийеттің мәніси мынадан ибарат: қәлеген физикалық маятикте қәлеген уақытта сондай еки ноқат табыу мүмкін, усы ноқатларға асып қойғанда маятниктің тербеліу дәуірлери бирдей болады. Ноқатлар арасындағы қашықлық усы маятниктің келтирилген ұзынлығына тең болады.

Маятниктиң тербелиў амплитудасының мәниси киши болған жағдайларда оның тербелиў дәўири төмендеги формула менен анықланады:

$$T = \sqrt{\frac{J}{mga}}. \quad (4)$$

Инерция моментлери ҳаққындағы теоремаға (Штейнер теоремасы) тийкарланып:

$$J = J_0 + ma^2 \quad (5)$$

аңлатпасын жаза аламыз. Бул аңлатпада  $J_0$  арқалы салмақ орайынан тербелиў көшерине параллель көшерге салыстырғандағы инерция моменти белгиленген.  $J$ ,  $m$  ҳәм  $a$  шамалары (2)-формулада қатнасады.

$$T_1 = \pi \sqrt{\frac{J_0 + ma_1^2}{mga_1}},$$

$$T_2 = \pi \sqrt{\frac{J_0 + ma_2^2}{mga_2}}$$

теңлемелерден

$$T_1^2 ga_1 - T_2^2 ga_2 = \pi^2(a_1^2 - a_2^2)$$

формуласын аламыз. Бул формуладан еркин түсий тезлениўи ушын аңлатпаны бир қанша түрлендириўлерден кейин Бессель тәрәпинен берилген теңлеме түринде табамыз

$$g = \frac{2\pi^2 l}{T_1^2 + T_2^2} \frac{1}{1 + \frac{(T_1^2 - T_2^2)l}{(T_1^2 + T_2^2)(a_1 - a_2)}}. \quad (6)$$

Бул аңлатпада  $l = a_1 + a_2$  арқалы келтирилген узынлық белгиленген.

Егер тербелис дәўирлери өз-ара тең болса (яғный  $T_1 = T_2 = T$  теңликлери орынланатуғын жағдайларда), онда бул теңлеме (3)-аңлатпадағы түрге енеди:

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

Тербелис дәўирлерин бир бирине толық теңлестириў аңсат емес. Тербелис дәўирлери шама менен тең болғанда Бессель формуласы тезлениўдиң мәнисин жеткиликли дәрежеде әпиўайы ҳәм ең киши дәлликте анықлаўға мүмкиншилик бередиди.

Мейли  $T_1$  ҳәм  $T_2$  шамалары бир-бирине жақын, ал  $a_1$  ҳәм  $a_2$  шамалары бир биринен үлкен айырмаға ийе болсын (маятниктиң бирейи геўек, екіншиси геўек емес). Бундай жағдайда  $a_1$  ҳәм  $a_2$  шамаларын жоқары

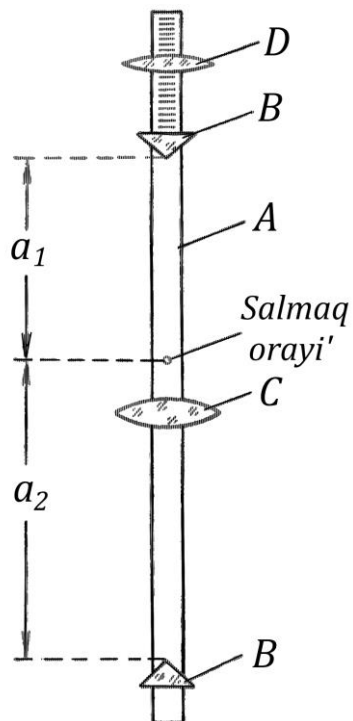
дәлликте табыўдың зәрүрлигиниң жоқ екенлиги ( $\pm 1$  мм ге шекемги дәлликтен жоқарырақ) формуладан айқын көринип тур.

**Әсбаптың дүзилиси.** Қойылатуғын талапларға байланыслы айланбалы маятниклер ҳәр түрли дүзилiske ийе болады. Олар әдетте узынлығы 1 м ден узынырақ металл стерженнен ибарат болып, бул стерженниң бетине миллиметрлик бөлимлер салынған. Аўыр ҳәм жеңил жүклер ҳәм таянып турыў ушын қолланылатуғын призмалар (оларды таяныш призмалары деп атаймыз) стержень бойлап жылжый алады. Оларды стерженниң бойындағы қәлеген орынға беккемлеп қойыў мүмкин. Жүклердиң ҳәр қыйлы комбинациялары ҳәм сүйениў ушын қолланылатуғын призмаларға ийе стержендеги олардың орынлары айланбалы маятниклердиң ҳәр қыйлы типлерин пайда етеди.

Бул жумыста 1-сүүретте көрсетилгендей айланбалы маятник қолланылады.

Металл стержень *A* арқалы белгиленген. Бул стерженге *B* таяныш призмалары жылжымайтуғын етип беккем қатырылған. Олар арасындағы *C* жүги де стерженге беккем етип бекитилген. Екинши *D* жүк стерженниң ушында (призмалардың сыртында) нониуслы шкала бойлап жылжый алады ҳәм керек болған орында қатырылыўы мүмкин.

Призмалар арасындағы қашықлық турақлы болып, оның мәниси стерженге ойып жазылған.



1-сүүрет.

**Өлшеўлер.** *D* жүгин шкаладағы ҳәр қыйлы орынларға қатырып маятниктиң тербелиў дәўирлери секундомер менен өлшейди. Жүкти шкаладағы 7-бөлимнен 12-бөлимге (сантиметрлерге шекем) шекем жылыстырып, ҳәр бир жағдай ушын тербелиў дәўирлерин өлшеў керек.

Бундай интервалда жүкти хәр сапары 5 мм ге жылыстырып, дәўирдиң кеминде 11 мәнисин алады. Тербелиў дәўирин анықлағанда әдетте 100 толық тербелиў ушын кеткен ўақыт өлшенеди. Бундай өлшеўди еки рет қайталаў хәм ақырғы нәтийже сыпатында алынған нәтийжелердиң арифметикалық орташа мәнисин алыў керек. Буннан кейин тербелислер дәўири менен жүктиң маятник стержениндеги орны арасындағы байланыстың графиги дүзиледи. Графикте абсцисса көшерине шкаланың жүктиң орнын көрсетиўши бөлимлери, ордината көшерине тербелислер дәўириниң мәнислери қойылады.

Буннан соң екинши таяныш призманы пайдаланып маятниктиң айланыў көшери өзгертиледи (маятникти айландырылып қойыў жолы менен). Тербелиў дәўирлери жоқарыда келтирилген избе-изликте өлшенеди. Алынған нәтийжелер пайдаланылған миллиметрли қағазда график түринде сүүретленеди. Бул тәжирийбеде иймек сызықлардың кесилисиў ноқаты тийкарғы әҳмийетке ийе. Усы ноқатқа сәйкес келиўши қозғалыўшы жүктиң орыны ушын тербелис дәўирлериниң мәнислери бир бирине жақын болады.

Жылжығыштың бул ҳалы ушын  $T_1$  хәм  $T_2$  дәўирлери (маятниктиң туўры хәм айландырылған жағдайлары ушын) жүдә пуқталық пенен анықланады. Маятниктиң 200 толық тербелиўи ушын кеткен ўақыт кеминде үш рет өлшенеди. Алынған нәтийжелер бойынша тербелислер дәўириниң мәниси есапланады. Екинши  $T_2$  дәўирин анықлаўда (маятник айландырылып қойылғаннан кейинги) өлшеў процедуралары толық қайталаанады.

$a_1$  хәм  $a_2$  шамаларын өлшеў ушын маятник консолынан алынып, оның стержени арнаўлы сүйир қапталға ийе ултанға қойылады. Бул ултанда маятникти тең салмақлықта турғызыў керек. Маятниктиң қапталдың төменинде жайласқан салмақ орайынан таяныш призмаларына шекемги қашықлықлар болған аралықлар  $a_1$  хәм  $a_2$  шамаларына тең. Бул қашықлықлардың мәниси масштаблы сызғыш пенен  $\pm 1$  мм дәллигинде өлшенеди.

Алынған мағлыўматлар бойынша Бессель формуласының жәрдемінде салмақ күшиниң тезлениўи (еркин түсиў тезлениўи) анықланады.

Жумысты орынлаў ушын айрықша дыққат пенен муқыятлық талап етиледи. Маятниктиң 4 градустан үлкен мүйешлерге аўысыўына жол қойыўға болмайтуғынлығын умытпаў керек.

Алынған нәтийжелер 1-кестеге жазылады.

$D =$  мм.

№	$T_1, c$	$T_2, c$	$a_1, мм$	$a_2, мм$	$l, мм$	$g, см/с^2$
Орт.						

## 2-тапсырма

### Салмақ күши тезлениўин маятник-стерженниң илдирилип қойылған ноқатының орны менен тербелислер дәўири арасындағы ғәрезлилик бойынша анықлаў

**Керекли әсбап хәм материаллар:** 1) маятник, 2) секундомер, 3) металл сызғыш.

**Теориясы.** Бул жумыста пайдаланылатуғын маятник узынлығы бир метрден асламырақ хәм диаметри 14 мм болған бир текли металл стерженнен турады. Стерженде шкала хәм оның бойындағы қәлеген орынға қатырып қойылатуғын жылжымалы таяныш призма болады.

Физикалық маятниктиң тербелислер дәўириниң

$$T = \pi \sqrt{\frac{J_0 + ma^2}{mga}} \quad (1)$$

формуласының жәрдемінде анықланатуғынлығы белгили. Бул аңлатпада  $J_0$

$$J_0 = ma_0^2 \quad (2)$$

салмақ орайы арқалы өтиўши көшерге салыстырғандағы маятниктиң инерция моменти болып табылады. Бул аңлатпада  $m$  арқалы денениң массасы, ал  $a_0$  арқалы маятниктиң инерция радиусы белгиленген.

(1)- хәм (2)-аңлатпалардан тербелис дәўири ушын

$$T = \pi \sqrt{\frac{a_0^2 + a^2}{ga}} \quad (3)$$

формуласын аламыз. Бул формуладан физикалық маятниктиң тербелислер дәўириниң  $a = 0$  хәм  $a = \infty$  болған еки ҳалда шексиз үлкен болатуғынлығы көринип турыпты. Сол еки шеклик мәнислер арасындағы  $T = \varphi(a)$  функциясының графиги өсиўши хәм кемейиўши еки шақадан турады (2-сүүрет).

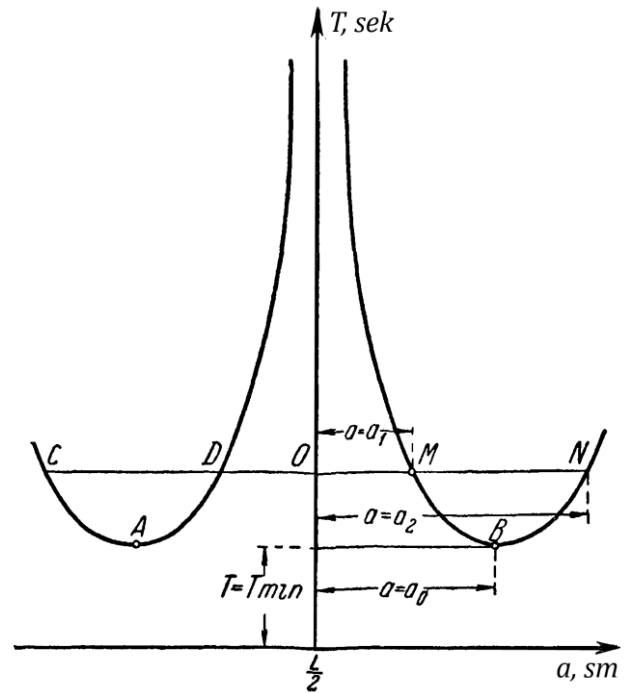
Стерженниң салмақ орайының бир тәрәпине өзиниң графиги, ал еки тәрәпке стерженниң ортасына салыстырғандағы симметриялы еки график сәйкес келеди.

$a = a_0$  теңлиги орынланғанда ( $A$  хәм  $B$  ноқатлары маятниктиң салмақ орайына салыстырғанда симметриялы жайласқанда) тербеліслер дәуіри ең киши мәниске ийе болады. Буның дурыслығына биз маятниктиң келтирилген узынлығы болған  $l = \frac{a_0^2 + a^2}{a}$  функциясының минималлық мәнисин табыў арқалы исениўге болады.

Бир текли стержень ушын  $J_0 = ma_0^2 = m \frac{1}{12} L^2$  теңлиги орынлы. Бул теңликте  $m$  арқалы стерженниң массасы,  $L$  арқалы узынлығы, ал  $a_0 = \frac{1}{\sqrt{12}} L$  арқалы инерция радиусы белгиленген.

Бул қатнастардан пайдаланып тербеліслер дәуіри ең киши болатуғын ноқатлардың стерженниң салмақ орайынан  $a_0 = 0,29L$  шамасына тең қашықтықта жайласатуғынлығын көриўге болады.  $a$  шамасының еки мәнисинде тербеліслер дәуірлери бир бирине тең болады:  $a_1 < a_0$  (кемейиўши областындағы  $M, D$  ноқатлары),  $a_2 > a_0$  (өсиў областындағы  $C, N$  ноқатлары).

2-сүүрет.



Бул ноқатлар ушын

$$T = \pi \sqrt{\frac{a_0^2 + a_1^2}{a_1 g}} = \pi \sqrt{\frac{a_0^2 + a_2^2}{a_2 g}}.$$

Бул аңлатпадан  $a_1 a_2 = a_0^2$  теңлиги келип шығады. Усы қатнастан пайдаланып маятниктиң келтирилген узынлығының мәниси ушын

$$l = \frac{a_0^2 + a_1^2}{a_1} = a_1 + a_2$$

аңлатпасын аламыз.

Маятникте тербеліс дәуірлери бир бирине тең болатуғын оғада көп санлы ноқатлар жупларын табыў мүмкин.

2-сүүреттеги  $C$ ,  $D$ ,  $M$ ,  $N$  ноқатлары тербеліс дәуірлері бірдей  $T$  шамасына тең болатуғын ноқатлар болып табылады.

Тербеліслер дәуірі бұндай  $T$  шамасына тең болғанда маятниктің келтирилген ұзындығы  $CM$  және  $DN$  туұрыларының ұзындықтары болып табылады.

Абсцисса көшеріне параллел болған қалеген басқа туұры сызық екі иймеклик пенен кесісіп жуп ноқатларды береді. Хәр бір туұры сызыққа тербеліслер дәуірінің басқа мәнісі және маятниктің келтирилген ұзындығының басқа мәнісі сәйкес келеді.

Демек, график бойынша тербеліслер дәуірі менен маятниктің келтирилген ұзындығын да анықлау мүмкін екен (яғнай  $T$  және  $l$  шамаларын да анықлау мүмкін). Усындай графиктен пайдаланып  $g = \frac{\pi^2 l}{T^2}$  формуласының жәрдемінде салмақ күшінің тезленіуін де анықлауға болады.

**Өлшеулер.** Таяныш призмасы маятниктің ушына, шкаланың ең шеткі сызығының тусында беккемлениди. Маятник таяныш призмасының қабырғасы менен тиреуіге орнатылады және тербеліске келтириледі.

Тербеліслер амплитудасының мәнісі 4 градустан артпауы лазым.

Маятниктің он рет тербеліуі ушын сарыпланатуғын уақыттың шамасы секундомер менен анықланып, буннан тербеліслер дәуірінің мәнісі есапланады. Тиреу призмасын хәр бір рет үш сантиметрге жылыстырып, сәйкес тербеліс дәуірінің мәніслері жоқарыда айтылып өтилген тәртіп бойынша анықланады. Тиреу призмасын кемінде 15 рет жылыстырып қойу керек және усыған сәйкес тербеліс дәуірлері ушын кемінде 15 мәніс алынады.

Алынған мағлыұматлар бойынша график дүзиледи. Графиклерде абсцисса көшеріне таяныш (тиреу) призмасының қабырғасының стерженнің ушынан сантиметрлердегі қашықлығы, ордината көшеріне секундардағы тербеліс дәуірлерінің мәніслері қойылады.

Маятниктің келтирилген ұзындығының мәнісін анықлау ушын маятникті айландырып қойудың, тербеліс дәуірлерін қайтадан өлшеудің және екинші графикті қурудың зәрүрлігі жоқ. Дүзилген графикте стерженнің ортасы белгиленеди (оның ұзындығын масштаблы сызғыш пенен өлшениу керек) және бул белгі арқалы ордината көшеріне (дәуірлер көшеріне) параллел туұры сызық жүргизиледи.

Симметрия көз-қарасларынан тербеліслердің қалеген дәуірі ушын маятниктің келтирилген ұзындығы жүргизилген туұрыдан иймекликтің бойында жайласқан екі ноқат арасындағы қашықлықтардың қосындысына тең болуы керек ( $l = OM + ON = OD + OC$ ) екенлігі келип шығады.

Тезлениудің мәнісі  $g = \frac{\pi^2 l}{T^2}$  формуласының жәрдеминде келтирилген ұзынлық пенен дәуірдің кемінде үш мәнісі бойынша анықланады. Ұақықый мәніс сыпатында табылған мәніслердің орташа арифметикалық мәнісі алынады. Аланған нәтийжелер 2-кестеге жазылады.

2-кесте.

$l, \text{мм}$							
$g, \text{см/с}^2$							$g_{\text{орт.}}$

## 7-санлы лабораториялық жұмыс Сүйкеліс коэффициентін трибометр жәрдеминде анықлау

**Жұмыстың мақсети.** Сүйкеліс түрлері, сүйкеліу күшлері ұаққында алынған билимлерди беккемлеу ұәм құрғақ сүйкеліс коэффициентін тәжірийбеде анықлау.

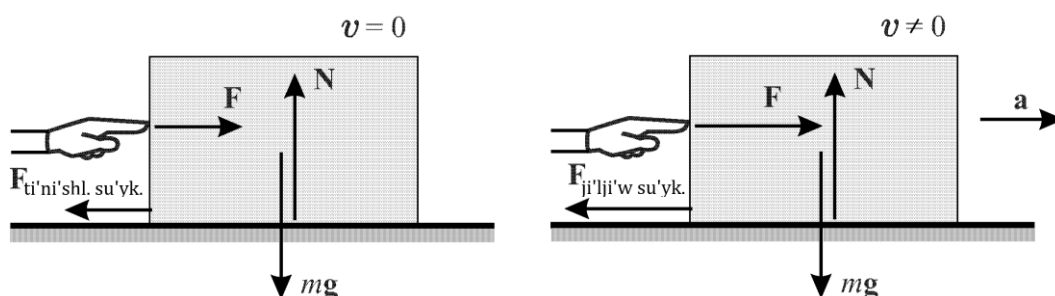
**Теориялық бөлім.** Биз денелердің қозғалысын бақлаудың барысында бир жағдайға айқын түрде итибар береміз: денелер сыртқы күшлердің тәсирінде қозғалысқа келеди, күшлердің тәсири тоқтатылғанда дененің қозғалыс тезлиги кемейеди ұәм көп узамай тоқтайды. Бул құбылыс Жер бетіндеги дерлик барлық механикалық қозғалыслар ушын тән. Жүрип баратырған трақтырдың (трактордың) моторы өшип қалса инерциясы менен қанша аралыққа шекем қозғалатуғынлығын көз алдымызға келтире аламыз. Тегис муздың үстинде жудырықтай музды сырғанатып жиберіу мүмкин. Муз бенен муздың арасындағы сүйкеліс күшлеринің шамалары қанша киши болса да, сырғанатып жиберилген муз бир қанша ұақыттан кейин тоқтайды.

Биз бақлап жүрген қозғалыушы денелердің белгили бир аралықларды өткеннен кейин тоқтауы орталықтың денелердің қозғалысларына қарсылық көрсетиуи менен байланыслы. Қарсылық күшлеринің тәсирінде қозғалыс ақыр-аяғында тоқтайды. Қарсылық күшлерин әдетте сүйкеліс күшлері деп атайды. Бундай күшлердің тәсирінде денелердің механикалық энергиясы энергияның басқа да түрлерине – көпшилик жағдайларда жыллылық энергиясына айланады. Соның менен бирге денелер сүйкеліскенде олардың бетлеринің бир бирине тийип турған бөлімлеринің үлкен өзгерислерге ушырайтуғынлығын (тегисленетуғынлығын, тозатуғынлығын) да көреміз. Бундай өзгерислердің жүзеге келиуи ушын көпшилик жағдайларда механикалық энергияның әдеуір бөліми жұмсалады.

Сүйкеліслерди **ишки** ұәм **сыртқы** сүйкеліслер деп екиге бөледі. Ишки сүйкеліслер әдетте суйықлықлар менен газлерде орын алады. Сыртқы сүйкеліс бир бирине тийип турған қатты денелер бир бирине



салыстырғанда қозғалғанда олардың бетлери арасында пайда болады. Денелердің бір бирине тийіп тұрған бетлерінің тегіс емеслігінің себебінен сүйкеліс күштері пайда болады. Қатты дене қанша муқиятлық пенен тегісленген болса да, оның бетінде микроскопиялық гедир-будырлықтарды табыуға болады. Бул гедир-будырлықтар дененің қозғалыуына тосқынлық қылыушы хәм дененің тезлігінің бағытына қарама-қарсы бағытланған сүйкеліс күштерінің пайда болыуын тәмийинлейди.



1-сүүрет.

Сыртқы сүйкелісти әдетте үш түрлі болған **тынышлықтағы сүйкеліс, жылжыу сүйкеліси** хәм **думаланыу сүйкеліслерине** бөледі.

Тынышлықтағы сүйкеліслерге мысал ретінде 1-сүүретте көрсетілген стол үстине қойылған қутыны алыуға болады.

Егер биз қутыға қандай да бир  $F$  күши менен тәсир етип, оны тыныш халдан қозғалтатуғын болсақ, онда стол менен ящиктің бир бирине тийіп тұрған бетлери арасында  $F$  күшине қарама-қарсы бағытланған  $F_{su'ykel.}$  күши пайда болады. Бул күшти тынышлықтағы сүйкеліс күши деп атайды. Сондай-ақ, стол үстиндеги қутыға  $F$  хәм  $F_{su'ykel.}$  күшлери менен бир қатарда бир бирине тең хәм бағытлары қарама-қарсы болған  $N_R$  реакция хәм  $N$  нормаль басымы күшлери де тәсир етеди. Бул күшлердің алгебралық қосындысы нолге тең болған жағдайда қуты (дене) тынышлықта турады. Қуты тынышлықта тұрғанда  $F_{su'ykel.}$  күшинің шамасы денеге тәсир етиуши күштиң үлкейиуи менен үлкейеди хәм күштиң мәниси базы бир  $F_0$  шегаралық мәнисине шекем үлкейгенде дене жылжый баслайды. Тынышлықтағы сүйкеліс күши  $F_0$  менен  $N$  нормаль басым күши арасындағы байланысты Г.Амонтон (1699-ж.) менен Ш.Кулон (1785-ж.) өз тәжирийбелерінде ашты. Бул нызам бойынша тынышлықтағы сүйкеліс күшинің шегаралық мәниси  $F_0$  сүйкеліуши денелерди бир-бирине қысып турыушы  $N$  нормаль басым күшине тууры пропорциональ, яғнай

$$F_0 = k_0 N. \quad (1)$$

Бул аңлатпадағы  $k_0$  шамасын тынышлықтағы сүйкеліс коэффициенті деп атайды. Тәжирийбелер  $k_0$  коэффициентінің мәнисінің сүйкеліуши денелердің материалына хәм олардың бир

бирине тийип турған бетлердің тегислигине хәм басқа да характеристикаларына байланыслы болады.

Егер  $\alpha$  мүйеши киши хәм  $F < F_0$  теңsizлиги орынланатуғын болса, онда дене қозғалысқа келмейди. Сүүретте  $\alpha$  мүйешиниң үлкейиуи менен  $F$  күшиниң де үлкейетуғынлығы көринип тур. Сонлықтан  $\alpha$  мүйешиниң белгили бир  $\alpha_0$  мәнисинде  $F$  күши  $F_0$  күши менен теңлеседи.  $\alpha_0$  мүйешин сүйкелис мүйеши деп атайды.  $\alpha < \alpha_0$  теңsizлиги орынланса қуты қыя тегислик бойлап сырғанай баслайды. Бундай жағдайда

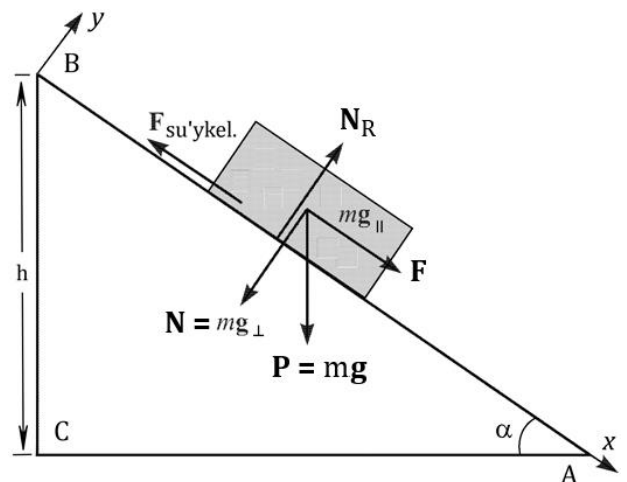
$$P \sin \alpha_0 = F_0 = k_0 N = k_0 P \cos \alpha_0 \quad (4)$$

теңsizлигин жазыу мүмкин. Бул аңлатпадан тынышлық сүйкелиси коэффициентин  $k_0$  менен сүйкелис мүйеши  $\alpha_0$  арасындағы байланысты келтирип шығарамыз:

$$k_0 = \frac{P \sin \alpha_0}{P \cos \alpha_0} = \operatorname{tg} \alpha_0. \quad (5)$$

Демек биз жоқарыда көрип өткен сүйкелистиниң еки түринде де тынышлықтағы сүйкелис коэффициентин анықлау үшін мәнисин  $F_0$  шамасына тең болған қутыны қозғалысқа келтиретуғын күшти хәм  $N$  нормаль басым күшин анықлауымыз керек болады екен. Әдетте  $k_0$  сүйкелис коэффициентиниң мәнисин қутының тезлигине де байланыслы болады. Бирақ киши тезликлерде тәжирийбелерде анықланған сүйкелис коэффициентиниң мәнисин  $k$  үшін  $k \approx k_0$  теңлиги орынланады деп есаплауға болады.

2-сүүрет.



Жылжыу сүйкелиси нызамларын тереңирек үйрениу үшін қандайда бир қыя тегисликтеги денениң қозғалысын бақлайық. Бул денеге қандай күшлердің тәсир ететуғынлығы 2-сүүретте көрсетилген. Сызылмадан көринип турғанындай:

$$N = P \cos \alpha, \quad (2)$$

$$F = P \cdot \sin \alpha. \quad (3)$$

Қыя тегислик пенен оның бети бойынша сырғанаушы қутының бир бирине тийип турған бетлерине май жағылса сүйкелис күшлериниң мәнисиниң кескин түрде кемейетуғынлығын көриуге болады.

Жоқарыда айтылып өтилгениндей сүйкелістің және бір түри думаланыў сүйкеліси болып, бундай сүйкеліс думаланыўшы денениң (цилиндр, шар сыяқлы денелердиң) тегіс тегіслик бойлап қозғалысында көринеди.

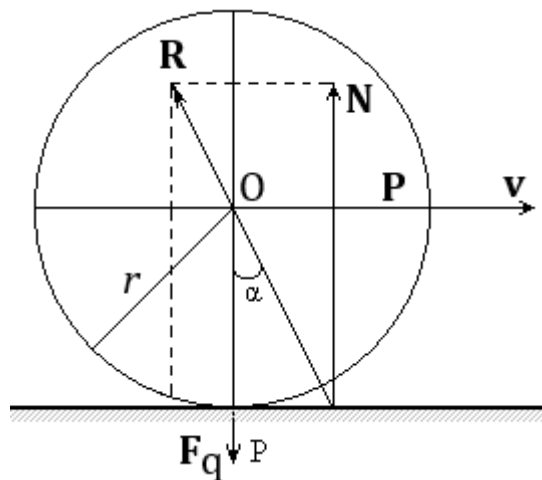
Ш.Кулон  $F_{dum}$  думалаў сүйкеліс күшиниң шамасының думалаўшы денени қысыўшы  $P$  күшине туўры пропорциональ хәм думаланыўшы денениң радиусы  $r$  шамасына кері пропорциональ екенлигин анықлаған (3-сүүретте көрсетілген). Демек

$$F_{dum} = k_{dum} \frac{P}{r} \quad (6)$$

нызамы орын алады деген сөз.

**Керекли әсбап хәм материаллар:** 1) трибометр (4-сүүрет), 2) ағаш хәм темир стерженлер, 3) ағаш хәм темир пластинкалар; 4) тәрези хәм тәрези таслары, 5) секундомер, 6) шайтан.

**Әсбаптың характеристикасы.** Трибометрдиң ултаны болып табылатуғын  $A$  столы үстиндеги  $MM$  шегелерине ағаш ямаса  $S$  стержень орнатылады.  $P$  ағаш ямаса темир пластинка  $B$  блок арқалы өтиўши жиңишке  $b$  жип ушына байланған  $O$  пәлле менен тутастырылады. Трибометр  $VV$  винтлер жәрдеминде горизонталь орнатылады (4-сүүретке қараңыз).

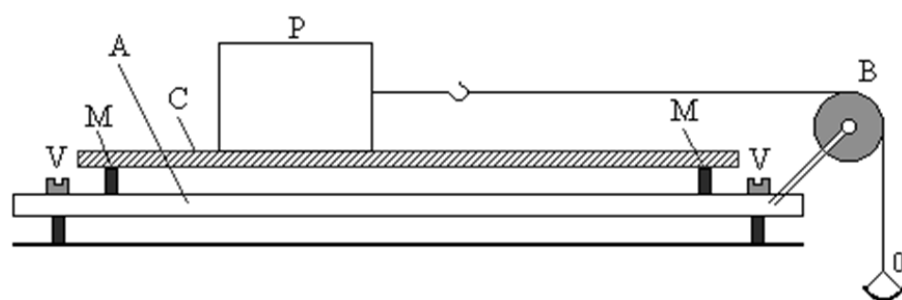


3-сүүрет.

### Жумыстың орынланыў тәртиби

1.  $VV$  винтлери жәрдеминде трибометрди горизонталь ҳалда орнатылады хәм трибометрдиң горизонт бағытында турған екенлиги  $MM$  шегелери арасына шайтан қойып тексерип көриледі.

2. Сүйкелиўши бетлерди қурғақ гезлемениң жәрдеминде жақсылап тазалап, буннан соң  $MM$  шегелерине  $S$  стержени орнатылады.



4-сүүрет.

3. Р пластинканың (қутысының) салмағы тәрезиде бир неше рет өлшенеди хәм оның орташа мәниси анықланады.

4. Салмағы өлшенген пластинканы (қутыны) С стержени үстине қойып, оның илмегине жиптиң бир ушы байланады.

5. О пәллесиниң салмағы да өлшенеди хәм оның салмағын  $F$  арқалы белгилейди. Р пластинкасы байланған жиптиң екинши ушына О пәллесин байлап, оны В блогы арқалы өткизеди.

6. Буннан кейин О пәллесине тәрези тасларынан пуқталық пенен избе-из қойылады. Тәрези тасларының салмағы пластинканы әстелик пенен түрткенде қозғалысқа келетуғындай болуы керек.

7. Енди денениң стержениң бети бойлап турақлы тезлик пенен қозғалуыын тәмийинлеу керек. Оның ушын С стержениниң узынлығын теңдей аралықларға бөлип, усы аралықларды денениң теңдей ўақыт ишинде өтететуғынлығына көз жеткерий зәрүрлиги пайда болады. Буның ушын дәслепки  $l_1 = \frac{l}{2}$  шамасына тең аралықты  $t_1$  секунд ишинде, ал буннан кейинги  $l_2 = \frac{l}{2}$  аралықты  $t_2$  ўақыты ишинде өткен болса, онда  $t_1 = t_2$  теңлиги орынланатуғын болуы керек. Соның менен бирге  $l$  шамасына тең аралық  $t$  ўақыты ишинде өтилген хәм  $t = t_1 + t_2$  теңлиги орын алатуғын болған жағдайда денениң тең өлшеули қозғалатуғынлығы ҳаққында айта аламыз.

Тең өлшеули қозғалыста денеге тәсир етететуғын күшлердиң қосындысы нолге тең болады. Сонлықтан  $F_{su'yk.} = -F_{tart}$  теңлиги орынланады. Бул аңлатпада  $F_{tart}$  арқалы денени тартуы күши белгиленген хәм оның шамасы пәллениң хәм оған салынған тәрези тасларының салмақларының қосындысына тең.

8. Қозғалыстың тең өлшеули екенлигинине исеним пайда болғаннан кейин Р денесин тең өлшеули қозғалысқа келтириуши  $F_{tart}$  күшиниң шамасын пәллениң хәм оның ишиндеги тәрези тасларының салмағы бойынша өлшейди. Бундай жағдайда  $F_{tart} = F + F'$  шамасына тең болып, бул қосындыда  $F$  арқалы пәллениң салмағы, ал  $F'$  арқалы пәлледеги тәрези тасларының салмағы белгиленген.

9. Жоқарыда келтирилген формулаларға өлшеп табылған мәнислерди қойып сүйкелис коэффициентлериниң мәнислери анықланады.

10. Өлшеу хәм есаплау нәтийжелери 1-кестеге жазылады.

№	$l_1 = \frac{l}{2}$ м	$t_1$ , с	$l_2 = \frac{l}{2}$ м	$t_2$ , с	$l$ , м	$t$ , с	$N$ , Н	$F$ , Н	$k_0$	$\Delta k_0$	$\frac{\Delta k_0}{k_0} 100\%$
1											
2											
3											
4											
5											
Орт.											

### Қарадағалау үшін сораулар

1. Сүйкелістің қандай түрлерінің бар екенлігін айтып бериңіз.
2. Сүйкеліс күшлерінің физикалық тәбияты нелерден ибарат?
3. Трибометрдің іслеу принципін түсіндирип бериңіз.
4. Техника менен күнделікли турмыста сүйкеліслердің бір қанша орынларда пайда келтиретуғынлығын, ал айрым орынларды зыянлы екенлігін айтып бериңіз.

## 8-санлы лабораториялық жұмыс Импульстің сақланыуы нызамын үйрениуі

### 1-усыл

#### Шарлардың серпимли хәм серпимли емес соқлығысыуларын изертлеуі жолы менен импульстің сақланыуы нызамын үйрениуі

**Жұмыстың мақсети:** шарлардың серпимли хәм серпимли емес соқлығысыуларындағы импульстің сақланыуы нызамын үйрениуі.

**Теориялық бөлім.** Ньютонның екінші нызамы бойынша денеге тәсир ететуғын  $F$  күші ушын

$$F = ma = m \frac{dv}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

теңліклерін жаза аламыз. Бул теңлеме тийкарында

$$F = m \frac{dv}{dt} = m \frac{d(mv)}{dt} = m \frac{dp}{dt} \quad (1)$$

аңлатпасына ийе боламыз. Бул аңлатпада  $p = mv$  шамасын массасы  $m$  хәм тезлиги  $v$  болған дененің импульси (ямаса қозғалыс муғдары) деп атайды.

Ньютонның екінші нызамы бойынша денеге тәсир ететуғын күштің бағыты менен дененің тезленіуінің бағыты бір бирине параллель. Ал (1)-формуладан күштің бағыты менен импульстің өзгеріуі тезлигінің

бағыттарының параллель екенлігін көреміз. Егер денеге тәсір ететұғын сыртқы күшлердің мәнісі өзгермейтұғын болса, онда (1)-аңлатпадан импульстің шеклі және шексіз киші өзгерістері үшін

$$m_2 v_2 - m_1 v_1 = p_2 - p_1 = \Delta p = F \Delta t, \quad (2)$$

$$m_2 v_2 - m_1 v_1 = p_2 - p_1 = \Delta p = F \int_{t_1}^{t_2} dt$$

теңліктерін аламыз. Бул теңліктегі  $F \Delta t$  шамасын күш импульсі деп атайды. Егер шексіз киші өсімлерге өтетұғын болсақ (2)-теңліктің орнына

$$mdv = dp = F \int_{t_1}^{t_2} dt$$

аңлатпасын жазамыз.

Демек дененің импульс векторының өсимінің денеге тәсір ететұғын күштің импульсіне тең екенлігін көреміз.

Мейли  $A$  және  $B$  денелері бір бири менен тәсірлесетұғын болсын. Бундай жағдайда  $A$  денесі  $B$  денесіне  $F_{AB}$  күші менен, ал  $B$  денесі болса  $A$  денесіне  $F_{BA}$  күші менен тәсір етеді. Бул күшлердің тәсірінде денелер сәйкес  $a_A$  және  $a_B$  тезленіулерін алады:

$$a_A = \frac{F_{AB}}{m_A} \text{ және } a_B = \frac{F_{BA}}{m_B}. \quad (3)$$

Соқлығысұшы денелер үшін Ньютонның үшінші нызамын былайынша жазамыз:

$$m_A a_A = -m_B a_B. \quad (4)$$

Бул аңлатпаны былайынша өзгертип жазамыз:

$$m_A a_A + m_B a_B = 0. \quad (5)$$

Тезленіу

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (6)$$

формуласы бойынша анықланатұғын болғанлықтан (5)- және (6)-аңлатпалардан

$$\frac{d}{dt} (m_A v_A + m_B v_B) = 0 \quad (7)$$

теңлемесі алынады. Егер биз қарап атырған екі дене жабық системаны пайда ететұғын болса, онда олардың бір бири менен тәсірлесіуінің салдарынан импульс мұғдарларының қосындысының тұрақлы шама болып қалатұғынлығын көреміз. Демек бір қарап атырған жабық

система үшін  $p_A + p_B = p = const$  теңлигинің орынланатуғынлығы келип шығады.

Бундай жағдай жабық системалар үшін импульстің сақланыуы нызамы атамасы менен белгили.

Импульстің сақланыуы нызамын биз шарлардың серпимли хәм серпимли емес соқлығысыуларын бақлау жолы менен тексерип көремиз.

Соқлығысыулардың серпимли ямаса серпимли емес екенлигин соқлығысыу коэффициенті деп аталатуғын коэффициенттің мәнисине қарап айыруы мүмкин. Коэффициенти  $\varepsilon = 0$  болған соқлығысыулар абсолют **серпимли емес соқлығысыу**, ал коэффициенті  $\varepsilon = 1$  шамасына тең болған соқлығысыуларды абсолют **серпимли соқлығысыу** деп атайды. Бир неше бөлекшелерден туратуғын системаның **соқлығысыу коэффициенті** деп бөлекшелер соқлығысқаннан кейинги олардың кинетикалық энергияларының қосындысы  $E_2$  шамасының бөлекшелердің соқлығысқаннан кейинги кинетикалық энергияларының қосындысы болған  $E_1$  шамасына қатнасына айтады:

$$\varepsilon = \frac{E_2}{E_1}.$$

Абсолют серпимли емес соқлығысыуларда  $\varepsilon = \frac{0}{E_1} = 0$  болғанлықтан ( $E_2 = 0$ ) соқлығысқаннан кейинги бөлекшелердің кинетикалық энергиясы нолге тең болады. Демек абсолют серпимли емес соқлығысыудың нәтижесінде бөлекшелердің кинетикалық энергиялары толығы менен энергияның басқа түрлерине айланады екен. Ал абсолют серпимли соқлығысыуларда  $E_1 = E_2$  теңлиги орынланады хәм соқлығысыудың нәтижесінде кинетикалық энергиялардың қосындысы өзгериске ушырамайды. Басқа сөз бенен айтқанда абсолют серпимли соқлығысыуда кинетикалық энергия энергияның басқа түрлерине өтпейди.

Соқлығысыу ноқатынан өтетуғын хәм соқлығысыу бетине перпендикуляр бағытланған тууры сызықты **урылыу сызығы** деп атайды. Егер урылыу сызығы еки дененің массалар орайынан өтетуғын болса, онда соқлығысыуды орайлық соқлығысыу деп атайды. Егер дене екинши дене менен соқлығысқанға шекем урылыу сызығы бойлап қозғалған жағдайдағы жүзеге келетуғын урылыуды тууры урылыу деп атаймыз. Басқа жағдайлардағы урылыулар қыя урылыулар болып табылады. Егер  $m_1$  хәм  $m_2$  массалы шарлардың урылыуына шекемги тезликлери  $v_1$  хәм  $v_2$  болса ( $v_1 \neq v_2$ ), онда олардың тууры, орайлық абсолют серпимли соқлығысыуынан кейинги тезликлери сәйкес рәуиште  $v'_1$  хәм  $v'_2$  шамаларына тең болады хәм импульс муғдарының сақланыуы нызамына сәйкес

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \quad (8)$$

аңлатпасы пайда болады. Егер екинши шар тынышлықта турған болса (яғный  $v_2 = 0$  болса) (8)-формула төмендегидей түрге енеди:

$$m_1 v_1 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2. \quad (9)$$

Еки шардың массалары бир бирине тең болған жағдайда соқлығысыўдан соң қозғалыстағы шар толық тоқтап тынышлықта турған шар болса урылыўшы шардың тезлиги менен қозғалады.

Абсолют серпимли емес соқлығысыўдың нәтийжесинде шарлар соқлығысыўдан соң бир пүтин денедей болып бирдей тезлик пенен қозғалады. Бундай жағдайда

$$v'_1 = v'_2 = u$$

теңлигиниң орынлы болатуғынлығын есапқа алып (8)-формуладан

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) u \quad (10)$$

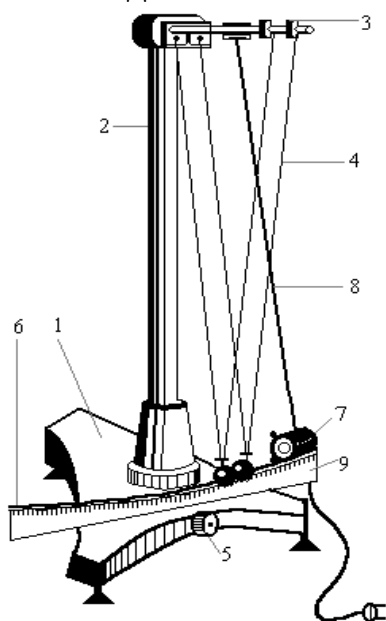
ямаса

$$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad (11)$$

теңлигин алыў мүмкин.

**Керекли эсбап хәм материаллар:** 1) шарлардың серпимли хәм серпимли емес урылыўын үйрениў ушын арналған эсбап, 2) хәр қыйлы шарлардың жыйнағы, 3) пластилин, 4) 6 вольтлик өзгермели кернеўди туўрылағыш.

**Эсбаптың характеристикасы.** Эсбап тийкарғы дүзилистиң горизонталлығын тәмийинлеўши винтли үш аяқтан хәм бағытлаўшыны (3) ушлап турыўшы (2) трубадан ибарат (1-сүүрет). Бифиляр аспа (4) хәм шарды бағытлаўшы (3) өз-ара орайлар арасындағы қашықлықты өзгертириўге мүмкиншилик береди. Бағытлаўшының көшиўи тутқа (5) жәрдемінде әмелге асыралады. Орайлар арасындағы қашықлықты өзгерткенде шеп тәрәптеги (6) шкаланы жылжытыў керек. Шарды ушлап турыўшы (7) электромагнит (8) стерженге бекитилген хәм ол (9) шкала бойлап көше алады.



1-сүүрет



## Жумысты орынлау тәртіби

1. Әсбап винтлерге орнатылған үш аяқлы дүзиліс жәрдемінде горизонталлық қалға алып келинеди.

2. Бифиляр аспа бағытлаушыға асылады хәм оған шарлар жыйнағынан керекли болған шарлар алып илдириледі.

3. Шеп хәм оң сызғышлардың “нол” ноқатлары шарлардың стрелкаларға туұрыланады.

4. Аспаның беккемленген ноқатынан шарлардың орайына шекем болған қашықлық ямаса аспаның узынлығы метрли сызғыштың жәрдемінде өлшенеди.

5. Электромагнит 5 вольтлик электр тармағына жалғанады. Буның ушын әсбаптағы тумблер "Вкл" қалына алып келинеди. Бундай жағдайда шарлардың бири (оң тәрәптеги шар) электромагнитке тартылады хәм сол қалға туұры келиуши мүйештиң мәнисин (9) шкаладан жазып алынады.

6. Тумблерди "Выкл" қалына қойғанда электромагнит пенен шар арасындағы тартысуы жоғалады хәм усының салдарынан шар еркин қалға келип екинши шар менен соқлығысады. Шеп тәрәптеги шардың қандай мүйешке ауысқанлығын (6) шкаладан жазып алынады.

7. Аналитикалық тәрәзи жәрдемінде шарлардың массалары анықланады.

8. Шарлардың тезлиги

$$v = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha}{2}$$

формуласы бойынша есапланады.

9. Жоқарыдағы пунктлер хәр қыйлы шарлар ушын қайталаанады хәм өлшеу нәтийжелери 1-кестеге жазылады.

10. Шарлардың массасы хәм тезлигиниң мәнислерин (8)-формулаға қойып импульс муғдарының сақланыу нызамының орынланатуғынлығы тексериледи.

11. Прессформа жәрдемінде пластилиннен шарлар таярлады. Бул жағдайда серпимли емес соқлығысулар бақланады. Алынған өлшеу нәтийжелери 1-кестеге түсириледи. Бул жағдайда импульстиң сақланыу нызамының дурыс нәтийжелерди беретугынлығы

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) u$$

формуласының жәрдемінде тексерилип көриледі. Усының нәтийжесинде (8)- хәм (10)-формулардың дурыс екенлигине исеним пайда етиледі.

№	$l$ , м	$\alpha$ , град	$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$v_1$ , м/с	$v_2$ , м/с	$v'_1$ , м/с	$v'_2$ , м/с	$u$ , м/с	$m_1v_1 + m_2v_2$ $= m_1v'_1 + m_2v'_2$
Серпимли соқлығысыўлар										
1										
2										
3										
4										
5										
Серпимли емес соқлығысыўлар										
1										
2										
3										
4										
5										

### Екинши усыл

**Керекли қураллар:** штатив, диаметри шама менен 25 мм болған 3 дана доға тәризли наўа (лоток), диаметри 25 мм болған 3 дана шар, миллиметрлерге бөлінген сызғыш, ақ хәм копиялаў қағазы (қара қағаз), тәрези, тәрези таслары.

**Жумыстың мазмуны хәм оны орынлаў тәртиби:** Импульстиң сақланыў нызамы бойынша қәлеген тәсирлесийде тәсирлесийге шекемги импульслердиң векторлық қосындысы тәсирлесийден кейинги импульслердиң векторлық қосындысына тең. Бул нызамның дурыслығына 2-сүүретте келтирилген дүзилистиң жәрдеминде шарлардың соқлығысыўы бойынша өткерилген тәжирийбелерде исениўге болады. Шарға горизонт бағытында белгили бир импульс бериў ушын горизонт бағытында участкасы бар қыя наўадан пайдаланады. Наўа бойынша түскен шар столдың бетине урылғанға шекем парабола бойынша қозғалады. Еркин түсийдиң барысында шардың горизонт бағытына түсирилген тезлиги менен импульсиниң проекциясы өзгермейди. Себеби шарға горизонт бағытында тәсир ететуғын күшлер жоқ. Бир шардың импульсин анықлағаннан кейин тәжирийбени еки шар менен орынлайды. Наўаның төменги ушына екинши шарды жайластырып, биринши шарды биринши тәжирийбедегидей етип наўаның жоқарысынан жылыстырып жибереди. Соқлығысқаннан кейин еки шар да наўадан төменге түседи. Импульстиң сақланыў нызамы бойынша соқлығысқанға шекем биринши шардың импульси  $p_{01}$  менен екинши шардың импульси  $p_{02}$  ниң қосындысы соқлығысқаннан кейинги шарлардың импульслериниң қосындысына тең болады:

$$\mathbf{p}_{01} + \mathbf{p}_{02} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2. \quad (1)$$

Егер соқлығысыўды туўры орайлық соққы берилген болса, онда шарлардың екеўи де соқлығысқаннан кейин бир туўрының бойы менен урылыўшы шар дәслеп қайсы бағытта қозғалған болса, соқлығысыўдан кейин еки шар да сол бағытта қозғалады. Бундай жағдайда импульстиң сақланыў нызамының векторлық жазылыўынан алгебралық (скаляр) формаға өтиўге болады:

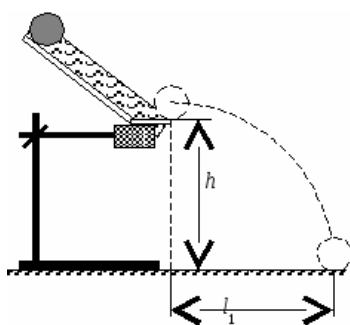
$$p_{01} + p_{02} = p_1 + p_2 \text{ ямаса } m_1 v_{01} + m_2 v_{02} = m_1 v_1 + m_2 v_2. \quad (2)$$

Соқлығысыўға шекем екинши шардың тезлиги  $v_{02}$  нолге тең болғанлықтан (2)-аңлатпа әпиўайыласады:

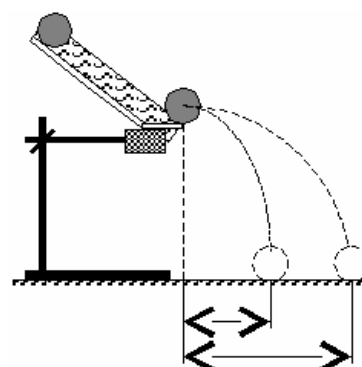
$$m_1 v_{01} = m_1 v_1 + m_2 v_2. \quad (3)$$

(3)-теңликтің дурыслығын тексерип көриў ушын шарлардың массасын,  $v_{01}$ ,  $v_1$  ҳәм  $v_2$  тезликлерин өлшеў керек. Шар парабола тәризли траектория бойынша қозғалғанда оның тезлигиниң горизонт бағытына түсирилген проекциясының мәниси өзгермейди. Сонлықтан оның мәнисин шардың горизонт бағытында ушыў қашықлығының ҳәм еркин түсиў уақыты  $t$  шамалары бойынша анықлаўға болады:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad v = \frac{l}{t} = l \sqrt{\frac{g}{2h}}. \quad (4)$$



2-сүүрет.



3-сүүрет.

### Жумысты орынлаў тәртиби

1. Шарлардың массаларын ( $m_1$  ҳәм  $m_2$  шамаларын) тәрезиниң жәрдемінде өлшеңиз.

2. Наўаны штативтиң қысқышына бекитемиз. Наўаның төменги горизонт бағытындағы бөлими столдың бетинен 20 см бийикликте жайласқан болыўы керек (2-сүүрет). Столдың үстине штативтиң бағанасының алдына ақ қағаз қойылады, ал ақ қағаздың үстине копиялаў қағазын қояды.

3. Үлкен массаға ийе шарды алып, оны наўаның қыя бөлиминиң ең жоқарғы бөлимине алып барып наўа бойлап төменге қарай жиберіў керек. Ақ қағаздың бетинде пайда болған из бойынша шардың горизонт бағытындағы ушыўының узақлығын анықлайды. Тәжирийбе кемінде 3 рет қайталанады ҳәм ушыў узақлығының орташа мәниси  $l$  анықланады.

Көрсетпе: Наұа бойынша қозғалғанда шардың айланбауы үшін оның астына металл шайба қойыу керек болады

4. Наұаның төменгі шетинің стол үстiнен бийиклигiн билип шардың қулап түсiу ұақыты  $t$  ны анықлап, буннан кейiн  $v_{01}$  хэм  $p_{01}$  проекцияларын, горизонт бағытындағы шардың тезлиги менен импульсин есаплау керек.

Алынған нәтийжелер 2-кестеге түсирiледi.

2-кесте

№	$l, \text{см}$	$t, \text{с}$	$v_{01}, \text{см/с}$	$p_{01}, \text{г}\cdot\text{см/с}$
1				
2				
3				
Орт.				

5. Наұаның горизонт бағытындағы шетине екiнши шарды орналастырып, бiрiнши шарды наұаның қыя бөлiмiнiң жоқарғы шетiнен түсiрiп жиберiу керек (бiрiнши тәжирийбедегидей сыяқлы). Қағаздағы излер бойынша шарлар соқлығысқаннан кейiнги горизонт бағытындағы ушыу узақлықтары табылады. Тәжирийбе 3 рет қайталанады хэм бiрiнши шардың ушыу узықлығы  $l_1^1$  менен екiнши шардың ушыу узақлығы  $l_2^1$  анықланады (3-сүуретте көрсетилген).

6. Соқлығысыулардың кейiнги ушыулардың узақлықларының мәнислери бойынша шарлардың соқлығысқаннан кейiнги тезликлери  $v_1$  менен  $v_2$  хэм олардың импульслери  $p_1$  менен  $p_2$  лер анықланады. Бiрiнши шардың дәслепки импульси  $p_{01}$  менен  $p_1 + p_2$  қосындысын салыстырып, жуумақлар шығарыу керек.

Алынған нәтийжелер 3-кестеге түсирiледi.

3-кесте

№	$l_1^1, \text{см}$	$l_2^1, \text{см}$	$v_1, \text{см/с}$	$v_2, \text{см/с}$	$p_1, \text{г}\cdot\text{см/с}$	$p_2, \text{г}\cdot\text{см/с}$	$p_1 + p_2, \text{г}\cdot\text{см/с}$

### Қадағалау сораулары

1. Денениң импульси деп қандай физикалық шамаға айтамыз?
2. Қандай шараятларда импульстиң сақланыу нызамы орынланады?
3. Импульстиң сақланыу нызамы кеңислик-ұақыттың қандай симметриясы менен байланысly?
4. Қандай соқлығысыуларды билесиз хэм олардың импульстиң сақланыу нызамына қандай қатнасы бар?

## 9-санлы лабораториялық жұмыс

### Денелердің еркін түсіуі нызамларын Атвуд машинасының жәрдемине үйреніуі

**Эксперименттің идеясы:** Тең өлшеулі қозғалыс нызамларын үйреніуі денелер системасының қозғалысының кинематикалық характеристикаларын таллау тийкарында әмелге асырылады. Бундай таллау ушын хәр қыйлы, бирақ еркін түсіуі тезлениуіне салыстырғанда үлкен емес тезлениуіди алыуға мүмкиншилик беретуғын Атвуд машинасы пайдаланылады.

**Керекли әсбап хәм материаллар:** 1) Атвуд машинасы, 2) секундомер, 3) гилт.

**Атвуд машинасы** турақлы тезлениуіге ийе илгерилемели қозғалысты үйреніуі ушын арналған лабораториялық дүзиліс болып табылады (1-сүурет, 2-сүуретте әпиуайыластырылған схемасы берілген). Бул машинаны 1784-жылы Англиялы физик хәм математик Джордж Атвуд (инглиз тилинде George Atwood, 1745-1807) ойлап тапты.

Идеал түрдеги Атвуд машинасы төмендегидей конструкцияға ийе: базы бир бийикликте бекитілген блок арқалы ушларына массалары  $m_1$  хәм  $m_2$  болған денелер илдирилген жип (сабақ) өткерілген. Денелердің массалары тең болғанда ( $m_1 = m_2$ ) жүклердің (денелердің) массаларынан ғәрезсіз система тең салмақлық халда турады. Жүклер бир бирине тең болмаған жағдайларда ( $m_1 \neq m_2$ ) денелер системасы қозғалысқа келеди.

1-сүуретте Атвуд машинасының дийуалға вертикал бағытта беккем етип бекитілген А металл стерженнен туратуғынлығы көринип тур. Бул стерженге сантиметрлерге бөлінген шкала жабыстырылған. Стерженнің жоқарғы бөлиmine алюминийден соғылған жеңил айланатуғын В блок бекитілген. Блок арқалы ушларына бирдей  $m$  массаға ийе еки С хәм С' жүклері байланған жип (сабақ) өткерілген. С' жүгинің ишинде темир пластинка бар хәм соның ушын оны М электромагнит услап тура алады. С хәм С' жүклерінің үстине қосымша D хәм E жүклерди қойыу арқалы олардың массаларын өзгертиуі мүмкин. Егер С жүгинің үстине массасы  $m_1$  болған қосымша жүкти жайластырсақ система тууры сызықлы тең өлшеулі тезлениуіши қозғалысқа келеди.

**Тезлениуіди есаплау ушын формуланы** келтирип шығарамыз. Бундай жағдайда Ньютонның екинши нызамын улыуа түрде былайынша жазамыз:

$$\sum_{i=1}^n F_i = ma.$$

Биз қарап атырған мәселе ушын шеп хәм оң тәрептеги денелер ушын қозғалыс теңлемеси  $y$  көшерине түсирилген проекциялары ушын еки теңleme түрінде жазылады:

$$\begin{cases} -m_1 a_1 = -m_1 g + T_1, \\ m_2 a_2 = -m_2 g + T_2. \end{cases}$$

Биз жипти идеал жип деп есаплаймыз (идеал жип деп салмағы жоқ хәм созылмайтуғын жипке айтамыз). Бул жағдайда  $T_1 = T_2 = T$  хәм  $a_1 = a_2 = a$  шәртлери орынланады. Сонлықтан

$$a = g \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$$

формуласына ийе боламыз.

Енди **еркин түсиў тезлениўи ушын формуланы** келтирип шығарамыз.

Жүклердиң белгили бир қашықлықты өтиў уақытын өлшеў арқалы олардың тезлениўин есаплаў мүмкин. Жоқарыдағы  $a = g \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$  формуласынан

$$g = a \frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2}$$

формуласына ийе боламыз.

**Жипти керий күшиниң шамасын табыў ушын арналған формула.** Жоқарыда келтирилген теңлемелердиң қәлеген бирине тезлениў ушын алынған аңлатпаны қоямыз. Мысалы системадағы биринши теңлемеге тезлениўдиң мәнисин қойсақ

$$T = \frac{2gm_1m_2}{m_1 + m_2}$$

аңлатпасын аламыз.

Биз жоқарыда келтирген формулаларда бир қатар әхмийетли факторлар есапқа алынбады. Бундай факторлар сыпатында блоктың салмағын, инерция моментин, басқа да жағдайларды көрсетиўге болады. Соның менен бирге жиптиң узынлығы өзгермейди деп есапланды. Сонлықтан жоқарыда жазылған формулалар блоктың айланыўын есапқа алатуғын моментлер теңлемеси менен толықтырылыўы керек. Бундай жағдайда бурынғыдай жиптиң узынлығы өзгермейди деп есапласақ, онда төмендегидей теңлемелер системасын алыў мүмкин:

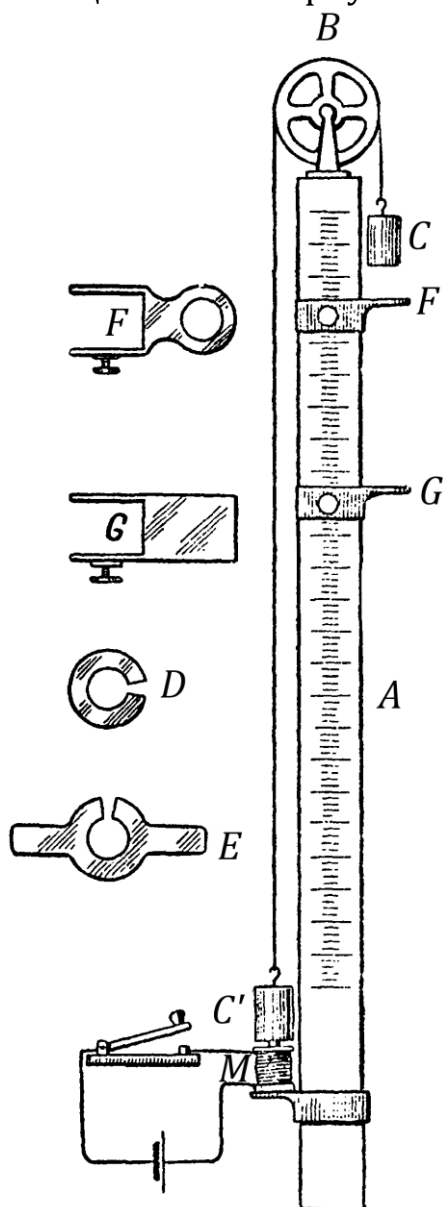
$$\begin{aligned} (m + m_1)a_1 &= (m + m_1)g - T_2, \\ -ma + mg - T_1, \\ J\varepsilon &= \alpha m_0 r^2 \varepsilon = (T_2 - T_1)r. \end{aligned}$$

Бул аңлатпалардағы  $J$  арқалы мәниси  $\alpha m_0 r^2$  шамасына тең блоктың инерция моменти,  $m_0$  арқалы блоктың массасы,  $r$  арқалы блоктың радиусы,  $\varepsilon$  арқалы мүйешлик тезлениў,  $\alpha$  арқалы блоктың массасының бөлистирилиўине байланыслы болған коэффициент белгиленген. Егер блок бойынша жип сырғанамайтуғын болса, онда мүйешлик тезлениў менен сызықлы тезлениў арасындағы байланысы  $a_1 = \varepsilon r$  түринде жазамыз.

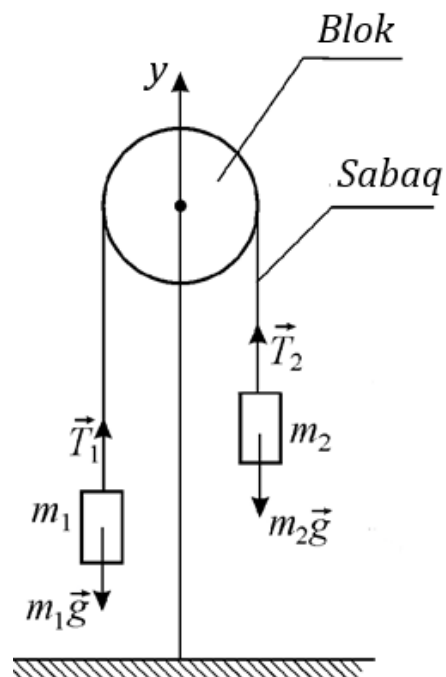
Жоқарыда келтирилген теңлемелер системасын шешсек

$$a_1 = \frac{m_1}{2m + m_1 + m_0}$$

шамасын хәм жипти керіуши  $T_1$  хәм  $T_2$  күшлериниң мәнислерин табамыз.



1-сүүрет.



2-сүүрет.

Сүйкелис күши тезлениўдиң мәнисин және де кемейтеди.

Жоқарыда келтирилген формулалардан системаның тезлениўиниң еркин түсиў тезлениўинен кем болатуғынлығы көринип тур.  $m_1$  қосымша жүктиң салмағын үлкейтип тезлениўдиң мәнисин де үлкейтиў мүмкин. Егер қозғалыстың барысында  $m_1$  қосымша жүкти системадан алсақ, онда система буннан кейин турақлы тезлик пенен қозғалады. Тезликтің мәниси жүкти алған ўақыт моментиндеги тезликке тең болады. А стерженде (1-сүүрет)  $G$  арқалы белгиленген тутас платформа хәм  $F$  арқалы белгиленген сақыйна тәризли платформа ( $E$  жүкти илип қалыў ушын арналған) бар хәм оларды қысып қоятуғын винтлердиң





4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												

2.  $v=at$  тезлик нызамын тексеріу. Бул қатнастарды тексеріу үшін  $C$  жүгинің үстине қосымша  $E$  жүк қойылады хәм система толығы менен тынышлық халында электромагниттің жәрдемінде услап турылады. Асылып турған жүктен бир қанша төменде сақыйна тәризли платформаны, ал оннан да төмениректе тутас платформаны орналастырады. Электромагниттің шынжырын ажыратыу менен бир ўақытта секундомер иске қосылады. Қозғалыс басланғаннан кейин қосымша жүкти сақыйналы платформа илип қалғанға шекемги өткен  $t_1$  ўақыт өлшенеди. Буннан кейин сақыйналы платформа қосымша жүкти илип қалғаннан кейин жүктің тутас платформаға барып урылғанға шекемги өткен  $t'_1$  ўақыт өлшенеди. Платформалар арасындағы қашықтықты хәм  $C$  жүгинің бийиклигин билген халда жүктің туўры сызықты тең өлшеули қозғалысының тезлиги  $v_1$  анықланылады.  $t_1$  ўақыт аралығын кемінде үш рет өлшеп, алынған нәтийжелердің орташа арифметикалық мәнисин алыу керек.

Асылған жүк пенен сақыйна тәризли платформа арасындағы қашықтықтың өсиуи менен тең өлшеули қозғалыстың тезлиги де артады. Жүктің үстине қойылған қосымша жүклер бирдей болғанда системаның тезлениуи бирдей мәниске ийе болады. Сонлықтан бул жағдайда

$$a = \frac{v_1}{t_1} = \frac{v_2}{t_2} = \dots = \frac{v_n}{t_n}$$

теңликлерин жазыу мүкиншилигине ийе боламыз.

3. Ньютонның екинши нызамы болған  $F = ma$  қатнасын тексеріу. Егер қосымша қойылған жүклерди бир тәрептен екинши тәрепке алып қойсақ пүткил системаның массасы өзгермейди. Бирақ системаға тәсир ететуғын сыртқы күшлердің қосындысы өзгериске ушырайды хәм сонлықтан системаның қозғалысының тезлениуи де өзгередиди. Хәр қыйлы болған еки жағдай ушын төмендегидей аңлатпаларға ийе боламыз:

$$\begin{aligned} F_1 &= Ma_1, & F_2 &= Ma_2, \\ S_1 &= \frac{1}{2}a_1t_1^2, & S_2 &= \frac{1}{2}a_2t_2^2, \end{aligned}$$

Бул аңлатпаларды бөлиу арқалы

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_1}{a_2}, \quad \frac{S_1}{S_2} = \frac{a_1 t_2^2}{a_2 t_1^2}$$

аңлатпаларына ийе боламыз. Егер екінші аңлатпадан  $\frac{a_1}{a_2}$  қатнасының мәнісін анықлайтуғын болсақ, онда

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1 t_2^2}{S_2 t_1^2}$$

қатнасына ийе боламыз. Бул шынығыуда усы аңлатпаны 1-шынығыуда орынланған өлшеулердің жәрдемінде тексерип көриу керек болады.

Тәжірийбени өткериу бойынша мысаллар келтиремиз. Дәслеп  $C$  жүгиниң үстине массасы 1 г болған, ал  $C$  жүгиниң үстине массасы 3 г болған жүк саламыз. Бул  $F_1 = 2$  Г шамасына тең күшти береді. Жүклердің бундай жайласуларында  $S_1$  хәм  $t_1$  шамаларының бир неше мәніслери анықланады (тутас платформаның бир неше орынлары ушын). Буннан кейин барлық 4 г  $C$  жүгиниң үстине қойылады, ал бул жағдайда  $F_2 = 4$  Г алынады (бундай жағдайда барлық системаның массасы өзгериссиз қалады) хәм және де  $S_1$  хәм  $t_1$  шамаларының бир неше мәніслери анықланады.  $\frac{S_1 t_2^2}{S_2 t_1^2}$  типіндеги барлық аңлатпалар бир бирине шама менен тең болуы хәм биз жоқарыда қарап өткен дара жағдайда  $\frac{1}{2}$  шамасына тең болуы керек. Бул Ньютонның екінши нызамының тексерилиуи болып табылады.

Өлшеулер нәтийжелери 2-кестеге жазылады.

2-кесте.

№ п/п	$\Sigma M$ , кг	S, м	$t_1$ , с	$t_2$ , с	$t_3$ , с	$t_{ort}$ , с	$a = \frac{2S}{t_{ort}^2}$ , м/с <sup>2</sup>	$a_1/a_2$ ,	$F_1/F_2$ ,
1									
2									

### Студентлердің билимин қадағалау үшін сораулар

1. Тезликтің, орташа тезликтің хәм бир заматлық тезликтің анықламаларын бериңиз.
2. Қандай қозғалысты тең өлшеули тезлениуи қозғалыс деп атайды?
3. Тезлениу дегенимиз не (анықламасы, тийкарғы формуласы)?
4. Еркин түсиу дегенимиз не?
5. Тең өлшеули қозғалыста өтилген жолдың шамасы (формуласын келтириңиз).
6. Тең өлшеули тезлениуи қозғалысты өтилген жолдың шамасы (формуласын келтириңиз).

7. Күш дегеніміз не (анықтамасы, формуласы)? Күш пенен Ньютонның екінші нызамы арасында қандай байланыс бар?

8. Масса инертлік өлшемі болып табылады. Усы анықтаманың мәнісін түсіндіріңіз.

9. Жүклердің тең өлшеулі тезленіуіші хәм тең өлшеулі қозғалысларындағы жипке тәсір етіуіші керіу күшін есаплаңыз.

10. Жер бетіндегі тартылыс ушын тезленіудің формуласын келтіріп шығарыңыз.

11. Сүйкеліс күшін есапқа алған халда тезленіуі ушын формуланы келтіріп шығарыңыз.

12. Атвуд машинасында жүклердің тең өлшеулі қозғалысы қалайынша жүзеге келтіріледі?

13. Атвуд машинасында дене тәрелінен өтілген кіші қашықлықлардағы еркін түсіуі тезленіуі  $g$  өлшенеді. Неліктен?

## 10-санлы лабораториялық жұмыс

### Серпимлілік модулін стерженді созыу хәм ийіу арқалы анықлау

Бул жұмыста үйренілетуғын деформациялардың хәр қайсысын өз алдына қарап өтеміз.

**1. Созылыу.** Узынлығы  $L$  хәм кесе-кесімінің майданы  $S$  болған сым ямаса стержень  $P$  жүгі түскенде  $\Delta L$  шамасына созылады (ямаса қысқарады). Гук нызамына сәйкес

$$\Delta L = \alpha \frac{PL}{S} \quad (1)$$

аңлатпасын жаза аламыз. Бул аңлатпада  $\alpha$  арқалы созылыудағы (қысылыудағы) серпимлілік коэффициенті ямаса узайуі (қысқаруі) коэффициенті белгіленген. Созылыудағы серпимлілік модулі ямаса Юнг модулі:

$$E = \frac{1}{\alpha} = \frac{PL}{S\Delta L} \quad (2)$$

формуласы бойынша есапланады.

Физикалық мәнісі бойынша Юнг модулі қатты дененің узынлығын екі есе арттыруі ушын керек болатуғын кернеуге тең. Хәқыйқатында да биз салыстырмалы узайуі деформациясы ушын

$$\frac{\Delta l}{l} = k\sigma$$

түріндегі аңлатпаны жаза аламыз. Бул аңлатпада  $\frac{\Delta l}{l}$  арқалы салыстырмалы деформация,  $k$  арқалы пропорционаллық коэффициент, ал  $\sigma$  арқалы кернеу белгіленген. Анықлама бойынша  $k = \frac{1}{E}$ , ал  $E$  Юнг модулі болып табылады. Биз  $\frac{\Delta l}{l} = 1$  теңлігі орынланғада (яғнай

ақырғы ұзынлық дәслепки ұзынлықтан 2 есе артық болатуғын жағдайда)  $\sigma = E$  теңлигин аламыз.

Бизге белгили болған қатты денелердің дерлик ҳеш қайсысының ұзынлығын серпимлилик областында 2 есе арттырыу мүмкин емес. Сонлықтан қатты денелер үшін Юнг модулинің мәнисин анықлаудың басқа көп санлы усыллары бар. Бул лабораториялық жумыста сол усыллардың бири менен танысамыз.

Серпимлилик модули  $E$  кГ/мм<sup>2</sup> бирликлеринде аңлатылады.

**2. Ийилиу.** Стерженнің бир ушын қатты дийуалға қозғалмайтуғын етип бекитемиз. Оның екнши еркин ушының үстине шамасы  $P$  ға тең жүк қоямыз. Бундай жағдайда стержень ийиледи. Нәтийжеде стерженнің үстинги қатламлары созылады, ал астынғы қатламлары қысылады. **Нейтрал қатлам** деп аталатуғын стерженнің ортасындағы қандайда бир қатламның ұзынлығы өзгермей қалады. Бул қатлам тек аз ғана ийиледи.

Стерженнің еркин ушының жүктің тәсириндеги жылжыуын  $\lambda$  арқалы белгилеймиз хәм оны ийилиу стреласы деп атаймыз. Жүк қанша үлкен болса ийилиу стреласы да соншама үлкен болады. Соның менен бирге ийилиу стреласының шамасы стерженнің формасы менен өлшемлерине хәм оның серпимлилик модулине байланыслы. Ұзынлығы  $L$ , ени  $a$  хәм бийиклиги  $b$  болған стерженнің ийилиу стрелкасы

$$\lambda = \frac{4PL^3}{Eab^3} \quad (3)$$

формуласының жәрдемінде есапланады. Бул формулада  $E$  арқалы стержень материалы үшін Юнг модули,  $P$  арқалы стерженнің беккемленбеген ушына қойылған жүктің салмағы белгиленген.

Егер стерженнің еки ушы қозғалмайтуғын таянышлар үстине, ал  $P$  жүги стерженнің ортасына қойылған болған жағдайда да ийилиу стрелкасының шамасы (3)-формуланың жәрдемінде табылады (2-сүүретке қараңыз). Бирақ бул жағдайда  $P$  шамасының орнына  $\frac{P}{2}$  шамасын,  $L$  шамасының орнына болса  $\frac{L}{2}$  шамасын қойыу керек болады. Хәқыйқатында да, бул жағдайда таянышлардың хәр бири стерженге  $\frac{P}{2}$  ге тең күш пенен керн бағытта тәсир етсе де стерженнің орта бөлими горизонтал бағытында қала бередн. Демек еки ушының үстинде жатырған стерженнің ийилиуи ортасы қозғалмайтуғындай етип беккемленген хәм усы ортадан  $\frac{L}{2}$  қашықтықта жайласқан хәр еки ушына жоқарыға бағдарланған  $\frac{P}{2}$  шамасындағы күш тәсир етип атырған стерженнің ийилиуиндей болады екен. Бул жағдайда ийилиу стрелкасының шамасы

$$\lambda = \frac{4PL^3}{4Eab^3}$$

формуласының жәрдемінде анықланады. Буннан

$$E = \frac{PL^3}{4ab^3\lambda} \quad (4)$$

аңлатпасын аламыз.

### 1-шынығыў Серпимлилик модулин созылыўдан табыў

**Керекли эсбап хэм материаллар:** 1) эсбап, 2) сызғыш, 3) көриў трубасы, 4) микрометр.

**Эсбаптың характеристикасы.** Бул эсбап бириниң үстінде бири жайласқан еки А хэм В кронштейнлеринен ибарат болып, бул кронштейнлер изертленилип атырған материалдан соғылған сымды қысып турады (1-сүүрет).  $PP$  жүк тәсиринде сым узаяды хэм  $d$  цилиндрге терилип турған  $r$  стержень  $O$  көшери этирапында бурылады, бул стерженге  $M$  айна бириктирилген.

Сым  $\Delta l$  шамасына шекем узайғанда айна  $\alpha$  мүйешке бурылады хэм

$$tg\alpha = \frac{\Delta l}{b}$$

теңлиги орынлы болады. Бул аңлатпада  $b$  арқалы  $r$  стержениниң узынлығы белгиленген. Айнаның бағытының өзгерийи  $S$  шкаласының жәрдемінде есапқа алынады. Бул шкаланың сүүретин  $R$  оптикалық трубасының жәрдемінде көреді. Ал усы оптикалық трубаның окулярында бир бирине атанақ түрде тартылған сабақ ямаса тек горизонт бағытындағы сабақ бар болады. Егер  $\Delta n$  арқалы айнаны  $\alpha$  мүйешке бурғандағы шкала бөлимлериниң айырмасы белгиленген, ал  $D$  арқалы шкала менен айна арасындағы қашықлық белгиленген болса, онда

$$tg\alpha = \frac{\Delta n}{2D}$$

формуласын жазыў мүмкин.  $\Delta l$  қашықлығының шамасы жүдә киши болғанлықтан  $\alpha$  мүйешиниң мәнисі де жүдә киши болады. Усыған байланыслы  $tg2\alpha = 2tg\alpha$  теңлигин жаза аламыз. Бул формулаларды салыстырсақ

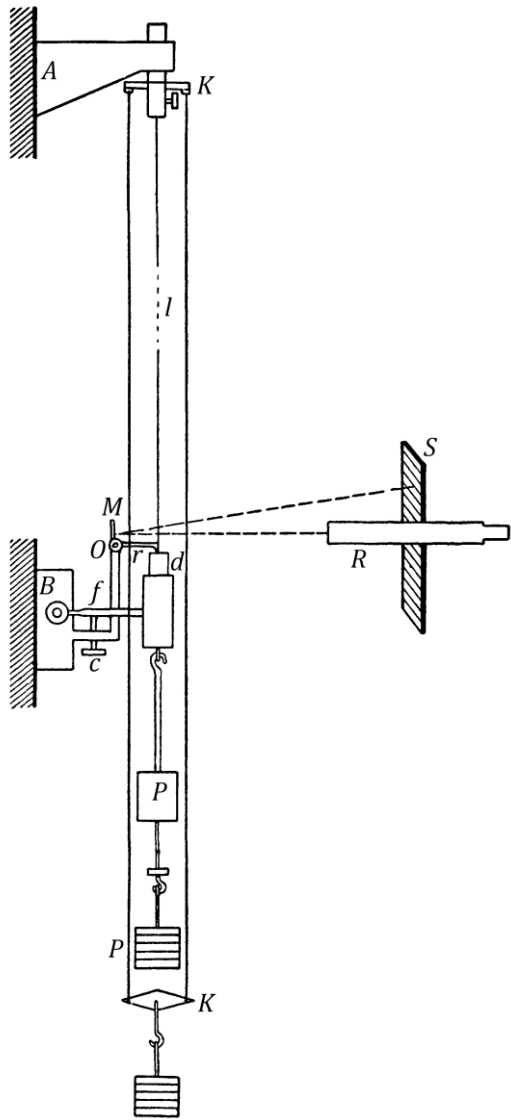
$$\Delta l = \frac{\Delta n}{2D} b \quad (5)$$

аңлатпасын аламыз.

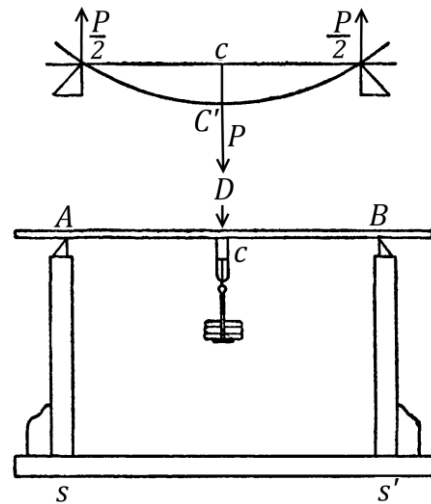
Төменги  $B$  кронштейнде  $f$  арқалы белгиленген арретир бар. Бул арретирди пайдаланып  $s$  винтти бурап сымды жүктен босатып алыў мүмкин. Сымды созыў ушын керек болатуғын жүклерди жоқарғы кронштейнге бекитилген арнаўлы илдириштен алынады. Сымнан алынған жүклерди де қайтадан сол илдиришке илдирип қойыў керек. Усындай жоллар менен жоқарғы кронштейнге тәсир ететуғын жүктің шамасы өзгермей қалады хэм сонлықтан жоқарғы кронштейн барлық

ұақытта да бірдей шамаға ийилип тұрады. Сымға жүкті илдіргенде де, жүкті сымнан алғанда да арретирди көтеріп қойылған болыуы керек.

**Өлшеулер.** Сымның  $l$  ұзындығы арретир түсіп тұрған жағдайда сызғыш пенен өлшенеді. Оның кесе-кесиминің майданы  $S$  ти табыу үшін керек болатуғын диаметр микрометрдің жәрдеминде өлшенеді. Диаметрди сымның бойы бойынша хәр қыйлы орынларда өлшеп, табылған шамалардың арифметикалық орташа мәнісін алыу керек.



1-сүүрет.



2-сүүрет.

Ең дәслеп сымға бар жүктің ярымы илдириледі. Трубадан шкаланың сүүрети табылады, трубаны фокуслайды, ал шкаланы оның ортасы көринетуғындай етип орнатады. Буннан соң айна менен шкала арасындағы  $D$  қашықлық сызғыш пенен өлшенеді (буннан соң шкала да, труба да қозғалтылмайды). Буннан кейін арретирди көтеріп сымдағы барлық жүк алып тасланады хәм арретир қайта түсирилип, шкаладағы ноллик ноқат белгиленип алынады.

Сымға жүклерди биринен соң бирин қойып (жүктің хәр биринде салмағы жазылған) трубаның жәрдемінде бақланатуғын шкаланың сүүретиниң неше бөлімге жылжығанлығы саналады. Бундай операциялар жоқарыда илдирилип қойылған барлық жүклер ушын орынланады хәм усыған сәйкес хәр жағдайда шкаланың сүүретиниң неше бөлімге жылжығанлығы жазып алынады.

Егер ноллик ноқат дәслепки ноллик ноқатқа сәйкес келмесе сол еки көрсеткиштиң (дәслепки ноллик ноқат пенен кейинги ноллик ноқат) орташа мәниси алынады. Бирдей жүклер менен алынған көрсеткишлердиң де орташа мәнисин алыу керек болады.

Жүктің өзгеріуи менен сымның узынлығының өзгеріуиниң графигин дүзиу зәрүр. Усындай жоллар менен Гук нызамының орынланатуғынлығына көз жеткеріуе болады.

Орынланған өлшеу жұмыслары сымның (5)-формулаға сәйкес узайуын анықлауға мүмкиншилик береді ( $b$  шамасы әсбаптың турақлысы сыпатында бериледи). Буннан кейин хәр бир жүк ушын (2)-формуланың жәрдемінде серпимлилик модулиниң мәниси  $E$  анықланады. Усы  $E$  шамасының хақықый мәниси алынған шамалардың орташа мәниси сыпатында алынады.

Алынған нәтижелер 1-кестеге түсириледи.

1-кесте.

Стерженниң узынлығы  $L =$  , ени  $a =$  хәм бийиклиги  $b =$  ,  
 $n_0 =$  .

№	P	n'	n''	$\lambda$	E	$\frac{\Delta \bar{E}}{\bar{E}} 100\%$
1						
2						
3						
4						
5						
Орт.	×	×	×	×		

Ескертиу:  $n'$ ,  $n''$  арқалы шкаладағы сабақтың орны белгиленген.

## 2-шынығыу

### Иймейиу бойынша серпимлилик модулин анықлау

**Керекли қураллар хәм материаллар:** 1) иймейиу бойынша серпимлилик модулин анықлау ушын арналған әсбап, 2) тууры мүйешли кесе-кесимге ийе стерженлер жыйнағы, 3) вертикал бағыттағы қашықлықтарды өлшеу ушын арналған микроскоп ямаса КМ-6 типіндеги катетометр, 4) штангенциркуль, 5) шкаласы бар сызғыш.

**Әсбаптың тәрийпи.** Иймейиў бойынша серпимлилик модулин анықлайтуғын әсбап ушларында еки тиреўге ийе салмақлы  $ss'$  платформадан (2-сүүрет) турады. Тиреўлердиң үстине полаттан соғылған призмалар қабырғалары өз-ара параллель етип бекитилген.

Вертикал бағыттағы қашықлықларды әдеттеги катетометрдиң жәрдемінде өлшеўге болады. Катетометр деп физикалық тәжирийбелердеги ноқатлар арасындағы вертикаллық қашықлықларды дәл өлшеў ушын арналған әсбап болып табылады. Сол ноқатлардың бир вертикаллық сызық бойынша жатыўы шәрт емес. Бундай әсбап француз физиклери Пьер Дюлонг хәм Алексис Пти тәрепинен 1816-жылы қатнас ыдысларындағы сынап бағаналарының бийикликлериниң айырмасын өлшеў ушын ойлап табылды.

КМ-6 типіндеги катетометр объективинен 700-900 мм қашықлықта жайласқан объектлер арасындағы вертикаллық қашықлықты  $\pm 0,0015$  мм дәлликте өлшеўге мүмкиншилик береді. Вертикал бойынша өлшеў шеклери 0 – 200 мм.

**Өлшеўлер.** Әсбаптың призмаларының үстине изертленетуғын материалдан соғылған стерженди 2-сүүретте көрсетилгендей етип жайластырады. Бундай жағдайда оның ортасы болған  $C$  ноқаты  $A$  хәм  $B$  ноқатларының дәл ортасында турыўы керек.  $C$  ноқатында стерженге жүклерди салыўға мүмкиншилик беретуғын зәңги илдириледи.

Зәңгиге бекитилген ушы шығарылған вертикаллық штифтиң ушына катетометрдиң көриў трубасын бағдарлаймыз. Буның ушын катетометрди алдын-ала вертикаллық жағдайға муқиятлы түрде қойып алыў зәрүр. Окулярлық микрометрдиң бир бөлиминиң бақасы анықланады. Бундай жағдайда өлшеўдиң алдында микрометрдиң ноллик бөлимин штифтиң шети менен сәйкес етип қойып алады хәм катетометрдиң стойкасындағы көрсеткишти жазып алады. Микрометрдиң бир бөлиминиң бақасы катетометрдиң паспорттында жазылған болады.

Буннан кейин зәңгиге салмақлары 1, 2 хәм 3 кГ болған жүклерди орналастырады хәм стерженниң қанша бөлимге иймейетуғынлығы жазып алынады. Буннан кейин усындай операцияны кери бағытта орынлайды. Жүклерди зәңгиден алғанда стерженниң қаншаға иймейгенлиги жазып алынады. Стерженниң  $ss'$  ортасының жылысыўы (иймейиўи) оның ийилиў стреласы болып табылады. Катетометрдиң бөлимлериниң белгили болған бақасының жәрдемінде иймейиў стреласының шамасын миллиметрлерде аңлатыў мүмкин.

Өткерилген өлшеўлердиң нәтийжелери бойынша жүктиң өзгериўи менен иймейиў стрелкасының өзгериўиниң графигин дүзип сызықлы байланыстың (Гук нызамының) орын алатуғынлығына исеним пайда етиў мүмкин.

Буннан кейин стерженниң узынлығы  $L$  (бул қашықлық стержен сүйенип турған призмалардың қабырғалары арасындағы қашықлыққа



тең) хәм стерженниң туўры мүйешли кесиминиң қапталлары болған  $a$  менен  $b$  шамалары өлшенеди. Стерженниң узынлығын масштаблы сызғыштың жәрдемінде  $\pm 1$  мм дәлликке шекемги дәлликте өлшеў керек. Ал стерженниң ени менен бийиклигин микрометрдиң жәрдемінде  $\pm 0,01$  мм ге шекемги дәлликте өлшеў талап етиледі (1-санлы лабораториялық жумысты қараңыз). Алынған мағлыұматлар тийкарында серпимлилик модулин (4)-формуланың жәрдемінде есаплайды. Ең ақырғы нәтийжени  $\text{кГ/мм}^2$  бирликлеринде де,  $\text{дин/см}^2$  бирликлеринде де есаплаў керек.

Иймеклик стреласы бойынша серпимлилик модулин хәр қыйлы өлшемлерге ийе хәм хәр қыйлы материаллардан соғылған үш стержен ушын анықлайды. Хәр бир стержен ушын өлшеўлер кемінде 5 рет қайталанады.

Алынған нәтийжелерди 2-кестеге жазады.

2-кесте.

№	$a$	$b$	$L$	$P$	$\lambda$	$E$
1-стержень ушын						
1						
2						
3						
4						
5						
Орт.						
2-стержень ушын						
1						
2						
3						
4						
5						
Орт.						
1-стержень ушын						
1						
2						
3						
4						
5						
Орт.						

### Қадағалаў ушын сораўлар

1. Механикалық кернеў, салыстырмалы хәм абсолют деформация дегенимиз не? Олар арасында қандай байланыслар бар?
2. Юнг модулиниң физикалық мәниси неден ибарат?
3. Гук нызамының мәниси неден ибарат? Пуассон коэффиценти

дегенимиз не? Қандай жағдайларда Гук нызамы орынланады хәм қандай жағдайларда орынланбайды?

4. Неликтен Юнг модулинің шамасын ийилиў деформациясын бақлаў жолы менен анықлай аламыз?

## 11-санлы лабораториялық жұмыс Қатты денелердің айланбалы қозғалыстарын үйрениў

**Эксперименттиң тийкарғы идеясы:** Экспериментте көшерге бекитилген хәм инерция моменти өзгеретуғын денелер системасының айланбалы қозғалысы изертленiledi. Сыртқы күшлердің хәр қыйлы моментлери шкивке оралған жиптиң ушына илдирилген жүклердің салмақ күшлериниң тәсиринде пайда болады.

**Керекли әсбап хәм материаллар:** 1) Обербек маятниги, 2) секундомер, 3) тәрези таслары, 4) штангенциркуль, 5) миллиметрли сызғыш.

**Әсбаптың дүзилиси хәм теориясы.** Жұмыстың мақсети айланбалы қозғалыстың тийкарғы теңлемеси болған

$$J\varepsilon = \sum M \quad (1)$$

моментлер теңлемесин экспериментте тексерип көриўден ибарат. Бул аңлатпада жерде  $J$  арқалы денениң инерция моменти,  $\varepsilon$  арқалы мүйешлик тезлениў, ал  $\sum M$  арқалы денеге түсирилген күшлер моментиниң (векторлық) суммасы белгиленген.

Жұмыста қолланылатуғын әсбап (Обербек маятниги) 1-сүүретте схема түринде көрсетилген. Ол бир горизонт бағытындағы бир көшерге бекитилген төрт стерженнен хәм хәр қыйлы радиусқа ийе еки шкивтен ибарат. Стерженлер бойлап массалары бирдей болған төрт жүк орынларын өзгерте алады хәм керекли болған орынларда қатырылады. Хәр бир стерженде бир жүк болады. Еки шкивтиң бирине оралған жиптиң ушына хәр қыйлы массаларға ийе жүклер илдирилгенде маятник қозғалысқа келеди. Сүйкелис күшлерин есапқа алмасақ маятниктиң айланбалы қозғалысының теңлемесин былайынша жазамыз:

$$J\varepsilon = M = RT. \quad (2)$$

Жипке байланған жүктің илгерилемели қозғалысының теңлемеси

$$ma = mg - T, \quad (3)$$

ал, қозғалыстардың тезлениўлерин бир-бирине байланыстырыўшы теңлеме

$$a = \varepsilon R \quad (4)$$

түринде жазылады. Бул аңлатпаларда  $R$  арқалы шкивтиң радиусы,  $T$  арқалы жипке тәсир етиўши керий күши,  $a$  арқалы жипке илдирилген

жүктің тезленіуі,  $g$  арқалы салмақ күшінің тезленіуі,  $t$  арқалы жүктің массасы белгіленген.

Бұл теңлемелер тезленіудің уақытқа байланысly болмаған турақлы  $a = \frac{mR^2}{J+mR^2}$  мәнісін береді. Бұл аңлатпаны

$$a = \frac{2h}{t^2} \quad (5)$$

формуласын пайдаланып келтиріп шығарыуға болады. Бұл аңлатпада  $h$  арқалы жүктің  $t$  уақыты ишінде өткен жолының ұзынлығы белгіленген. Биз қарап атырған мәселеде  $h$  турақлы шама болып табылады.

Биз айланбалы қозғалыстың тийкарғы теңлемесін тексеріу жұмыстарын өткеріу үшін 2 түрлі жағдайды қарап өтеміз.

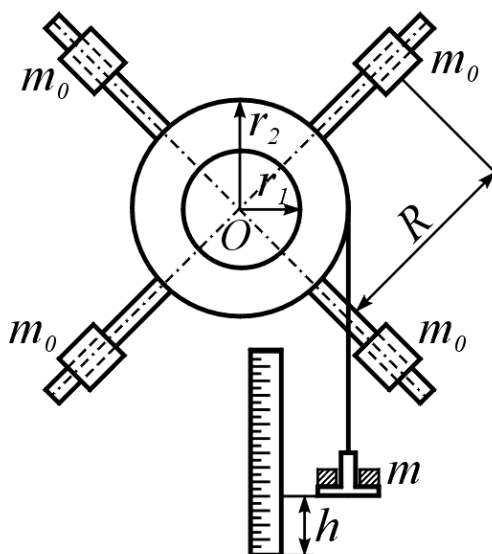
**1-жағдай.** Инерция моменті турақлы, ал күшлердің моменттері хәр қыйлы болған жағдай. (1)-теңлемеден

$$M_1/\varepsilon_1 = M_2/\varepsilon_2 = J \quad (6)$$

теңліклеріне ийе боламыз. Ал (2)-(6) теңлемелер

$$m_1 R_1^2 (gt_1^2 - 2h) = m_2 R_2^2 (gt_2^2 - 2h) \quad (7)$$

теңлігін береді. Бұл (7)-теңлемеге экспериментте анықланатуғын шамалар кіреді.



1-сүүрет

**2-жағдай.** Инерция моменттері хәр қыйлы, жүктің массасы менен шкивтің радиусы турақлы.

Инерция моменттерінің көшерлерін параллель көширіу қаққындағы теоремаға тийкарланған қалда

$$J_1 = J_0 + m'L^2 \quad (8)$$

формуласына ийе боламыз. Бұл формулада  $J_0$  арқалы массасы  $m'$  болған дененің массасы орайы арқалы өткен көшерге салыстырғандағы инерция моменті, ал  $J_1$  арқалы усы дененің дәслепкі көшерден  $L$  қашықтықта оған параллель өтетуғын көшерге салыстырғандағы инерция моменті белгіленген.

Массасы  $4m'$  болған барлық төрт жүктің массаларының орайынан өтпейші көшерге салыстырғандағы инерция моменти  $J'_0$  арқалы аңлатылған болсын деп есаплайық. Олардың орайлары дәлелік көшерден  $l_1$  аралыққа узақласқанда пайда болатуғын инерция моменти  $J_1$  диң шамасы

$$J_1 = J'_0 + 4m'l_1^2$$

формуласының жәрдемінде анықланады. Егер маятниктың жүклер болмағандағы инерция моменти  $J_0$  шамасына тең болса, онда маятниктің толық инерция моменти

$$J'_1 = J_0 + J'_0 + 4m'l_1^2.$$

шамасына тең болады. Жүклердің массалар орайлары  $l_2$  қашықтыққа узақласқанда сәйкес

$$J'_2 = J_0 + J'_0 + 4m'l_2^2$$

шамасына ийе боламыз. Егер  $l_1 > l_2$  теңсізлігі орынлы болса, онда

$$J'_1 - J'_2 = 4m'(l_1^2 - l_2^2) \quad (9)$$

теңлігі алынады.

(1)- хәм (9)-теңлемелерден:

$$\frac{M_1}{\varepsilon_1} - \frac{M_2}{\varepsilon_2} = 4m'(l_1^2 - l_2^2) \quad (10)$$

теңлігін береді. Ал (2)-(5) хәм (10)-аңлатпалардан

$$t_1^2 - t_2^2 = 8h \frac{m'}{m} \cdot \frac{l_1^2 - l_2^2}{R^2 g} \quad (11)$$

формуласына ийе боламыз.

Бул теңлемеге экспериментте анықланатуғын шамалар киреди. (7)- хәм (11)-теңлемелер маятниктің көшеріндегі сүйкеліс күшін хәм қауаның қарсылығын (яғный қауа менен болған сүйкеліс күшін) итибарға алмаған жағдай ушын келтирип шығарылған.

Жипке байланған жүк илгерилемели қозғалған жағдайда сүйкеліс күшін есапқа алмауға болады. Маятниктің айланбалы қозғалысында маятниктің көшерінде пайда болатуғын сүйкеліс күшінің моменти ең үлкен орынды ийелейди (қауа менен сүйкелістің нәтийжесінде пайда болатуғын күш моментінің шамасы үлкен емес). Мүйешлік тезліктің шамасы үлкен болмаған жағдайларда көшердегі сүйкеліс күшінің моменти турақлы шама болып табылады хәм оның мәнісі тынышлықтағы сүйкеліс күшінің моментіне тең. Бул жағдай сүйкеліс күшінің моментінің шамасын бақалауға мүмкиншілік береді. Жиптің керилиу күшінің моментінің шамасына салыстырғанда бул күш моментінің мәнісі қаншама киши болса басқа барлық жағдайларда да (7)- хәм (11)-теңлемелер дәлірек орынланады.

**Өлшеулер.** Ең алды менен төмендегі шамаларды өлшеу керек:

1. Жиптегі жүктің төмен түсіу бийіклігі  $h$  ты (1 см дәллікте метрлік сызғыш пенен өлшенеди).

2. Шкивтің  $R_1$  хәм  $R_2$  радиуслары (штангенциркульдің жәрдемінде өлшенеди).

Буннан кейин маятник стерженлердеги жүклерди маятник көшерине ең жақын болған  $l_2$  қашықтықта бекитеди. Хәр бир жүктің ортасынан маятниктің айланыу көшерине шекемги қашықтықлар миллиметрли сызғыш пенен өлшенеди.  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $l_2$  шамаларының хәр бирин кемінде үш рет өлшеу керек. Алынған шамалардың орташа арифметикалық мәнісі хәқыйқый мәніс сыпатында қабыл етиледі.  $l_2$  шамасын анықлағанда дәслеп стержендеги хәр бир жүк ушын бул шаманың орташа арифметикалық мәнісі табылады, ал буннан кейин сол төрт мәністің орташа арифметикалық мәнісі есапланады.

(7)- хәм (11)-теңлемелерди тексеріуде шкивке оралған жиптің ушларына массасы 200 г хәм 300 г болған жүклер гезек пенен илдириледі. 200 г массаға ийе ( $m_1$ ) жүктің  $h$  бийикликтен түсіуі ушын жумсалған  $t_1$  уақыт секундомердің жәрдемінде өлшенеди (жип радиусы  $R_1$  болған шкивке оралған). Жүктің түсіуі ушын кеткен уақыттың мәнісі кемінде үш рет өлшенип, олардың орташа арифметикалық мәнісі табылады.

Жип радиусы  $R_2$  болған екінши шкивтің үстине тасланады хәм оның ушына  $m_2 = 300$  г жүк асылады. Жүктің  $h$  бийикликтен түсіуі ушын кеткен уақыт  $t_2$  дәслепки жағдайдағыдай секундомердің жәрдемінде өлшенеди. Алынған мағлыұматлар бойынша өлшеулерде жиберилген қәтелер шеклерінде (7)-теңлемениң хәм соған сәйкес (1)- теңлемениң дурыс екенлигине исеним пайда болады.

Буннан кейин стерженлердеги барлық жүклерди маятник көшеринен узағырақ орынға алдынғыдай симметриялы етип беккемлейді. Алдын  $l_2$  шамасы қалай анықланған болса  $l_1$  шамасы да (стерженлердеги хәр бир жүктің дәл ортасынан маятниктің көшерине шекемги болған қашықтық) тап сондай усылдың жәрдемінде анықланады. Бундай маятник ушын да дәслепки маятник ушын орынланған өлшеулер тәкирарланады. (7)-теңлемениң дурыс екенлигине және де исеним пайда болады.

Алынған эксперименталлық материаллардан пайдаланып өлшеулерде жиберилген қәтелер шеклерінде (11)-теңлемениң дурыс екенлигине хәм соған сәйкес (9)-теңлемениң де дурыс екенлигине исеним пайда болады.

Маятник көшерінде пайда болатуғын сүйкеліс күшинің моментинің мәнісін бақалау ушын төмендегідей операциялар исленеди:

Еки шкивтың бирине оралған жиптің ушына жүк илдириледі хәм бул жүктің шамасын маятник айлана басланған моментке шекем көбейтеді. Маятникти қозғалысқа келтиретуғын жүктің салмағының ең киши мәнісі кемінде үш рет табылады хәм олардың орташа арифметикалық мәнісі хәқыйқый мәніс сыпатында қабыл етиледі. Бул мәніс пенен

шківтиң радиусының көбеймеси маятник көшеринде пайда болатуғын сүйкеліс күшинің моментинің шамасын анықлауға мүмкіншілік береді.

Сүйкеліс күшин итибарға алмаған халда жиберилетуғын салыстырмалы қәтеликти процентлерде анықлау зәрүр. Буның ушын сүйкеліс күшлери моментинің жиптиң керіу күшинің ең киши моментине қатнасын табыу керек.

Маятник стерженлердеги бир жүктің  $m'$  массасы белгили шама болып табылады.

Алынған нәтижелер 2-кестеге жазылады.

2-кесте.

Жүклердің массасы, г			$m_1 =$	$m_2 =$	$m_3 =$	$m_4 =$
№		Дисктиң радиусы R, см	$t_1, c$	$t_2, c$	$t_3, c$	$t_4, c$
$l_1$	1	$R_1$				
	2					
	3					
	4					
	5					
Орташа						
$l_2$	1	$R_2$				
	2					
	3					
	4					
	5					
Орташа						

### Сораулар

1. Айланбалы қозғалыстың тийкарғы нызамын келтирип шығарыңыз.
2. Инерция моменти, күш моменти, импульс моменти шамаларының физикалық мәніслери нелерден ибарат?
3. Материаллық ноқаттың инерция моменти ушын аңлатпаны жазыңыз. Масса орайы арқалы өтетуғын көшерге салыстырғандағы қатты денениң инерция моментин қалайынша анықлауға болады?
4. Гюйгенс-Штейнер теоремасының мәніси неден ибарат? Теореманы дәлиллеңіз.
5. Тәжірийбе өткеріу ушын арналған дүзилісте айланыу көшеринің бағыты қандай хәм айланыу моментин қандай күш пайда етеді?
6. Обербек маятникіндеги күшлердің моментин хәм инерция моментин өзгертіу ушын қандай усылды усына аласыз?

7. Обербек маятнигиниң инерция моментин экспериментте анықлағанда сүйкеліс күшиниң тәсірін қалайынша есапқа алыўға болады?

8. Маятниктиң инерция моментин өлшегенде жиберилетуғын қәтениң шамасын қалайынша анықлаўға болады?

## **12-санлы лабораториялық жұмыс**

### **Эпиўайы формаға ийе болған денелердиң инерция моментлерин анықлаў хәм Гюйгенс-Штейнер теоремасын буралыў тербеліслери усылында тексеріў**

**Жұмыстың мақсети:** Эпиўайы формаға ийе болған денелердиң инерция моментлерин анықлаў хәм Гюйгенс-Штейнер теоремасын экспериментте тексеріў.

Эксперименттиң идеясы: Экспериментте бурылыўшы маятниктиң тербеліс дәўири менен оның инерция моменти арасындағы байланыс изертленіледі. Маятник сыпатында салмақ майданындағы үш узын жипке илдирилген дөңгелек платформа хызмет етеді. Оны әдетте трифилярлық маятник деп те атайды. Платформа вертикал көшердиң дөгерегинде буралып тербеле алады. Платформаның үстине хәр қыйлы формадағы денелерди қояды, маятниктиң тербеліс жийиликлери өлшенеді хәм усы денелердиң инерция моментлериниң мәніслери анықланады. Гюйгенс-Штейнер теоремасы денелердиң инерция моментлериниң платформаның орайына шекемги қашықлықлардан ғәрезлиги бойынша алынған эксперименталлық нәтийжелер менен теориялық жуўмақлардың бир бирине сәйкес келиўи бойынша тексеріледі.

**Жұмыстың теориясы. Гюйгенс-Штейнер теоремасы.** Егер масса орайы арқалы өтетуғын көшерге салыстырғандағы денениң инерция моментиниң шамасы  $J_0$  шамасына тең болатуғын болса, онда усы көшерге параллель хәм усы көшерден  $a$  қашықлығындағы көшерге салыстырғандағы инерция моменти

$$J = J_0 + ma^2 \quad (1)$$

формуласының жәрдемінде анықланады. Бул формулада  $m$  арқалы денениң массасы белгиленген.

Гюйгенс-Штейнер теоремасын тексерип көриў ушын бул жұмыста трифиляр маятниктиң үстине жайластырылған қатты денелердиң буралыўшы тербеліслери изертленіледі.

Трифиллярлық маятник бир бирине салыстырғанда симметриялы жайласқан бирдей узынлыққа ийе үш жипке илдирилген радиусы  $R$  болған дөңгелек платформадан ибарат (1-сүўрет). Бул жиплер жоқарыда радиусы бир қанша киши хәм  $r$  шамасына тең болған дискке жалғанған.

Платформа оның тегислигине перпендикуляр болған вертикал  $OO'$  көшерінің дөгерігінде бурылмалы тербеле алады. Платформаның усындай қозғалысы оның салмақ орайының орнының өзгеріуіне алып келеді.

Егер массасы  $m$  шамасына ең платформа бір тәрепке қарай бурылғанда  $h$  бийиклігіне көтерілетуғын болса, онда оның потенциал энергиясының өсими

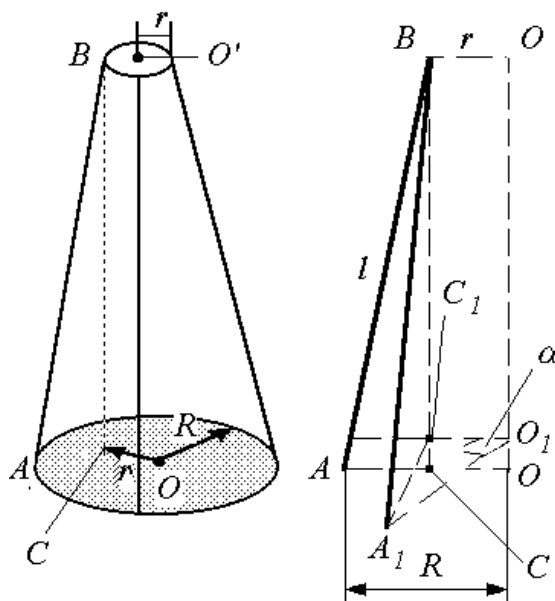
$$E_1 = mgh \quad (2)$$

шамасына тең болады. Бул аңлатпада  $g$  арқалы салмақ күшінің тезленіуі белгіленген. Екинши тәрепке қарай буралғанда платформа кинетикалық энергиясы

$$E_1 = \frac{1}{2}J\omega_0^2 \quad (3)$$

шамасына тең тең салмақлық қалына келеді (бул қалда  $h = 0$ ). Бул аңлатпада  $J$  арқалы платформаның инерция моменти, ал  $\omega_0$  арқалы платформа тең салмақлық қалы арқалы өткен моменттеги айланыу тезлігі белгіленген.

1-сүүрет



Сүйкеліс күшлерінің жұмысын есапқа алмасақ механикалық энергияның сақланыу нызамы тийкарында

$$mgh = \frac{1}{2}J\omega_0^2 \quad (4)$$

аңлатпасын аламыз.

Платформа гармоникалық буралыушы тербеледі деп есаплап платформаның мүйешлік ауысыуы  $\alpha$  ның уақыт  $t$  дан

$$\alpha = \alpha_0 \sin \frac{2\pi}{T} t \quad (5)$$

ғәрезлігіне ийе боламыз. Бул аңлатпада  $\alpha_0$  арқалы бурылыудың максималлық мәнісі белгіленген. Бул мәністи мүйешлік ауысыудың амплитудасы деп атаймыз.  $T$  арқалы тербеліс дәуірі белгіленген.



Аўысыўдың шамасынан ўақыт бойынша алынған биринши тәртипли туўынды мүйешлик тезлик  $\omega$  болып табылады. Бундай тезлик ушын

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt} = \frac{2\pi\alpha_0}{T} \cos \frac{2\pi}{T} t \quad (6)$$

аңлатпасын жаза аламыз.

Платформа тең салмақлықта туратуғын орыннан өтиў моментинде ( $t = 0; 0,5T; \dots$ )  $\omega(t)$  шамасы максималлық мәниске ийе болады хәм модули бойынша

$$\omega_0 = \frac{2\pi\alpha_0}{T} \quad (7)$$

шамасына тең.

(4)- хәм (7)-аңлатпалардан

$$mgh = \frac{1}{2}J \left( \frac{2\pi\alpha_0}{T} \right)^2 \quad (8)$$

екенлиги келип шығады.

Егер  $l$  арқалы жиплердің узынлығы  $R$  арқалы платформаның орайынан жиплерди бекитилген орынларға шекемги қашықлық, ал  $r$  арқалы жоқарғы дисктиң радиусы белгиленген болса (бул жағдай 1-сүўретте келтирилген), онда

$$h = OO_1 = BC - BC_1 = \frac{(BC)^2 - (BC_1)^2}{BC + BC_1} \quad (9)$$

теңликлериниң орынлы болатуғынлығына көз жеткерийўге болады.

$$(BC)^2 = (AB)^2 - (AC)^2 = l^2 - (R - r)^2 \quad (10)$$

теңлигиниң орынланатуғынлығына, ал платформа тең салмақлық ҳалына сәйкес болған орнынан максималлық шамаға аўысқанда

$$(BC_1)^2 = (A_1B)^2 - (A_1C_1)^2 = l^2 - (R^2 + r^2 - 2Rr \cos\alpha_0) \quad (11)$$

теңликлериниң орынланатуғынлығын итибарға алсақ

$$h = \frac{2Rr(1 - \cos\alpha_0)}{BC + BC_1} = \frac{4Rr \cdot \sin^2 \frac{\alpha_0}{2}}{BC + BC_1} \quad (12)$$

формуласын аламыз.

Аўысыў мүйеши болған  $\alpha_0$  шамасының мәниси киши болғанда бундай мүйештиң синусының мәнисин усы мүйештиң мәниси менен алмастырыўға болады. Усының менен бирге  $R \ll l$  шәрти орынланғанда бөлшектиң бөлимин  $2l$  ге тең деп есаплаўға болатуғынлығын есапқа алсақ

$$h = \frac{Rr \cdot \alpha_0^2}{2l} \quad (13)$$

аңлатпасына ийе боламыз. Бундай жағдайда энергияның сақланыў нызамы болған (8)-аңлатпа мынадай түрге енеди:

$$mg \frac{Rr \cdot \alpha_0^2}{2l} = \frac{1}{2}J \left( \frac{2\pi\alpha_0}{T} \right)^2 \quad (14)$$

Буннан

$$J = \frac{mgRr}{4\pi^2 l} T^2 \quad (15)$$

формуласына ийе боламыз.

(15)-аңлатпа бойынша экспериментте үстине хеш қандай дене қойылмаған платформаның да, үстине дене қойылған платформаның да инерция моментин анықлау мүмкін. Бул формуланың оң тәрәпиндеги барлық шамалар өлшенеди. Бул формуладағы  $m$  шамасының платформа менен оның үстине қойылған денениң массаларының қосындысы екенлигин естен шығармау керек.

Лабораториялық жумыста (15)-формула әпиуайы формаға ийе болған қатты денелердің инерция моментлерин анықлау хәм Гюйгенс-Штейнер теоремасының дурыс екенлигин тастыйықлау ушын қолланылады.

**Эксперименталлық дүзиліс.** Лабораториялық жумысты орынлау ушын қолланылатуғын дүзиліс схема түрінде 1-сүүретте көрсетілген. Платформаның радиусының жиптиң узынлығына қатнасы ушын  $\frac{R}{l} \leq 0,05$  теңсизлигинің орынланыуының керек екенлигине итибар береміз. Бул шәрт (15)-формуланы келтирип шығарғандағы жууықлауларға сәйкес келеди.

Платформаның үстине денелерди симметриялы түрде жайластырыу хәм платформаның жүктің салмағынан қыйсаймауына дыққат пенен итибар беріу керек. Жүктің орнын анықлау хәм дәл орналастырыу ушын платформаның бетине бир биринен белгили қашықлықларда (5 мм) жайласқан концентрлик шеңберлер жүргизилген болады.

Платформаның буралыушы тербеліслердің басланыуы ушын жоқарыдағы дискти оның көшеринің дөгерегинде бурыу керек. Бул операция жоқарғы дискке бекитилген рычаг пенен байланысқан шнурды тартыу менен әмелге асырылады. Тербеліслерди усундай жоллар менен қоздырғанда өлшеулерди құрамаластыратуғын тербеліслердің басқа да типлери пайда болмайды. Өлшеулерде  $10^0$  тан үлкен болған тербеліслердің амплитудаларын пайдаланыу күтилген нәтийжелерди бермейди.

Тербеліслердің дәуирин анықлау ушын әдеттеги секундомер пайдаланылады. Әдетте 30-40 тербеліс ушын кеткен уақыт  $t$  өлшенеди. Бундай жағдайда тербеліс дәуири  $T = \frac{t}{n}$  формуласының жәрдемінде есапланады. Бул формулада  $n$  арқалы толық тербеліслердің саны белгиленген.

### 1-шынығыу.

#### Гюйгенс-Штейнер теоремасын тексеріу

**Өлшеулер.** Гюйгенс-Штейнер теоремасының дурыслығын тексерип көріу ушын бирдей еки дене пайдаланылады (бул жумыста денелер

цилиндр формасына ийе болады). Хәр бир өлшеу алдында платформаны тоқтатыу керек.

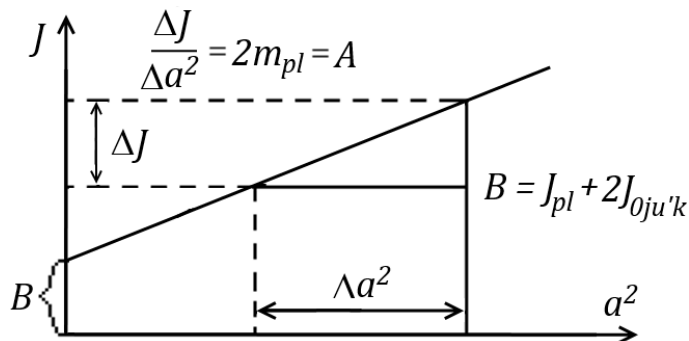
1. Жүклердің массалары өлшенеди.

2. Жүклер платформаның үстине қойылады. Бир жүкти екіншісіннің үстине қойыу керек. Платформаның бурылыу тербеліслерін қоздырады.  $n$  тербеліс ( $n = 30 - 40$ ) үшін сарыпланған уақыт  $t_n$  өлшенеди. Алынған мағлыұматлар 1-кестеге жазылады.

3. Жүклерди платформаның үстине симметриялы етип жайластырады. Жүклердің 5-7 аұхалы үшін тербеліс уақыты  $t_n$  өлшенеди. Хәр өлшеулер барысында жүклерди платформаның шетине әсте-ақырын жылыстырып қояды. Хәр сапары жүкти 1 см ге жылыстырып қойыу усынылады. 1-кестеге хәр бир денениң масса орайының платформаның орайынан қашықлығы  $a$ , тербеліслери саны  $n$  хәм тербеліслер үшін сарыпланған уақыттың шамасы  $t_n$  жазылады.

1-кесте.

№	$a$	$a^2$	$n$	$t_n$	$T_i = \frac{t_n}{n}$	$J_i$



2-сүүрет.  
 $J$  шамасының  $a^2$  шамасынан фәрезлигиниң схема түріндегі көриниси.

Тәжірийбе нәтийжелери қайта іслеу.

1. Жүктің хәр бир орны үшін тербеліс дәуіри  $T_i$  анықланады.

2. Кестеге  $a^2$  шамасын жазылады.

3. Платформаның үстіндегі жүктің хәр бир жағдайы үшін (15)-формулаға сәйкес үстине жүк қойылған платформаның инерция моменти  $J_i$  анықланады.  $l$ ,  $R$ ,  $r$  хәм платформаның массасы эксперименталлық дүзилістің турақлылары сыпатында бериледи.

4.  $J_i$  шамасының алынған мәнісін денелер системасының инерция моментиниң хәр бир жүктің массасының орайының айланыу көшерине шекемги қашықлығының квадратынан фәрезлигиниң графиги дүзиледи (яғный  $J(a^2)$  фәрезлигиниң функциясы дүзиледи). Бул фәрезлилик схема түрінде 2-сүүретте келтирилген. Гюйгенс-Штейнер теоремасы бойынша бул график мүйешлик коэффициентиниң санлық мәніси  $2m_{жүк}$  шамасына тең тууры сызықтан ибарат болыуы тийіс.

Себеби экспериментте ҳәр қайсысының массасы  $m_{жүк}$  шамасына тең болған еки жүк пайдаланылады.

## 2-шынығыў.

### Денениң инерция моментин тербелислер усылының жәрдеминде анықлаў

#### Өлшеўлер.

1. Үстине жүк қойылмаған платформаның инерция моментин болған  $J_{пл}$  шамасын (15)-формуланың жәрдеминде анықлайды. Усындай платформаның тербелис дәўирин ( $T_{пл}$  шамасын) анықлайды. Платформаға айланыў импульси бериледи ҳәм 15-20 толық тербелис ушын кеткен ўақыттың шамасы  $t_n$  секундомердиң жәрдеминде өлшенеди. Бундай өлшеўлерди 3-5 рет қайталаў керек. Алынған нәтийжелерди 2-кестеге жазады.

2. Платформаның үстине изертлениўши денелерди гезекпе-гезек орналастырады. Сол денелердиң массаларының орайларының платформаның айланыў көшери менен сәйкес келиўиниң керек екенлигине айрықша итибар берий керек (денедеги ҳәм платформадағы тесиклер бир бириниң үстине түсийи керек). Бул денелердиң массалары тәрезиниң жәрдеминде анықланады. Изертлениўши денелер сыпатында квадрат ямаса тең өлшеўли үш мүйешлик түриндеги пластинкалар алынады. Барлық системаның бир неше тербелийи ушын кеткен ўақыт секундомердиң жәрдеминде өлшенеди. Ҳәр бир дене ушын өлшеўлерди 3-5 рет қайталайды. Нәтийжелер 2-кестеге түсириледи.

2-кесте.

Дене	№	$n$	$t_n$	$T$	$\{T\}$	$S_T$	$J$	$S_J$
Платформаның үстінде дене жоқ	1							
	2							
	3							
Квадрат пластинкалы платформа	1							
	2							
	3							
Үш мүйешли пластинкалы платформа	1							
	2							
	3							
Стержень қойылған платформа	1							
	2							
	3							

**Экспериментлер нәтижелерин қайта іслеу.** Хәр бир тәжірийбе ушын бурылыу тербеліслерінің дәуірі

$$T_{ni} = \frac{t_{ni}}{n}$$

формуласының жәрдемінде анықланады.

1. Үстине жүк қойылмаған ( $T_{pl}$ ) хәм үстине жүк қойылған ( $T_2$  хәм  $T_3$ ) платформалардың тербеліс дәуірлерінің орташа арифметикалық мәнісін, орташа квадратлық аўысыўларын табыңыз.

2. (15)-формула бойынша  $T_{pl}$ , и  $T_2$  хәм  $T_3$  шамаларын анықлаңыз хәм бул шамалардың орташа квадратлық аўысыўын есаплаңыз.

3. Квадрат хәм үш мүйешли пластинкалардың инерция моментлерин

$$J_{kv} = J_2 - J_{pl}, \quad (16)$$

$$J_{u'sh.m.} = J_3 - J_{pl}$$

формулаларының жәрдемінде есаплаңыз.

4. Бул шамалардың орташа квадратлық аўысыўларын анықлаңыз.

5. Экспериментте алынған  $J_{kv}$  хәм  $J_{u'sh.m.}$  шамаларын квадрат

$$J_{kv} = \frac{1}{6} ma^2 \quad (17)$$

хәм үш мүйешлик

$$J_{u'sh.m.} = \frac{1}{12} ma^2 \quad (18)$$

ушын арналған формулалар бойынша алынған шамалар менен салыстырыңыз. Бул аңлатпаларда  $m$  арқалы пластинканың массасы, ал  $a$  арқалы оның тәрәпинің ұзынлығы белгиленген.

6.  $T_{pl}$  шамасын 1-тәжірийбеде алынған  $B$  шамасы менен салыстырыңыз. Усындай жоллар менен  $B = T_{pl} + 2 \frac{md^2}{2}$  аңлатпасы тексериледи ( $\frac{md^2}{2}$  арқалы 1-шынығыўда пайдаланылған дисклердің инерция моменти белгиленген).

### **Жумыстың тийкарғы жуўмақлары**

Жумыс орынланғанда Гюйгенс-Штейнер теоремасының экспериментте тексерилиўи керек. Соның менен бирге берілген формадағы денениң экспериментте алынған инерция моментлерінің шамасы менен теориялық жоллар менен есапланып табылған инерция моментлерінің шамалары салыстырыў әмелге асырылады.

### **Қадағалау ушын сораўлар**

1. Инерцияның бас көшерлері деп қандай көшерлерге айтамыз? Олайлық көшерлер дегенимиз не? Мысаллар келтириңіз.

2. Бекитилген көшерге салыстырғандағы дененің инерциясы дегеніміз не?

3. Мынадай денелердің инерция моментлери неге тең: жиңишке сым, жуқа диск, жуқа туұры мүйешли хәм үш мүйешли пластинка, цилиндр, шар, параллелепипед? Усындай денелердің инерция моментлеринің шамаларын қандай жоллар менен алыўға болады?

4. Гюйгенс-Штейнер теоремасын дәлиллеңиз.

### **13-санлы лабораториялық жумыс**

#### **Балластикалық маятник жәрдемінде снарядтың ушыў тезлигин анықлаў**

**Керекли эсбаплар:** Жипке илдирилген денеден ибарат балластикалық маятник, пружиналы пистолет, есаплаў ушын шкала (сызғыш), массалары хәр қыйлы болған снарядлар.

**Жумыстың мақсети:** серпимли емес соққыны әмелде пайдаланыўының мысалларының бири сыпатында балластикалық маятник жәрдемінде снарядтың ушыў тезликлерин анықлаў болып табылады

**Теориялық бөлим.** Балластикалық маятник узын жеңил жиплерге илдирилип қойылған массасы  $M$  болған дене болып табылады. Бул жумыста балластикалық маятник сыпатында пластилин менен ярымына шекем толтырылған цилиндр формасына ийе дене қолланылады (1-сүўрет). Маятникти горизонт бағытында массасы  $m$  хәм тезлиги  $v$  болған снаряд пенен атады. Снаряд пластилинге киреди хәм системаның улыўмалық массасы  $M + m$  ге  $v'$  тезлигин береді. Маятник қозғалысқа келеді, аўысады хәм базы бир  $h$  бийиклигине көтериледи. Тәжирийбеде маятниктиң көтерилиў бийиклиги  $h$  өлшенеди.

Егер снарядтың маятникке урылыў ўақыты  $\tau$  маятниктиң тербелиў дәўири  $T$  дан киши болса, онда соқлығысыў ўақытында маятник сезилерликтей аралыққа аўыса алмайды. Бул жағдай снаряд маятникке келип урылған ўақытта маятникти дәслепки халға алып келиўге бағытланған күшлердің пайда болмайтуғынлығын билдиреди. Сонлықтан "снаряд + маятник" системасын туйық система деп қараўға хәм бул система ушын қозғалыс муғдарының (импульстиң) сақланыў ызамамы менен қозғалыс муғдарының моментинің (импульс моментинің) сақланыў ызамаларын қолланыўға болады.

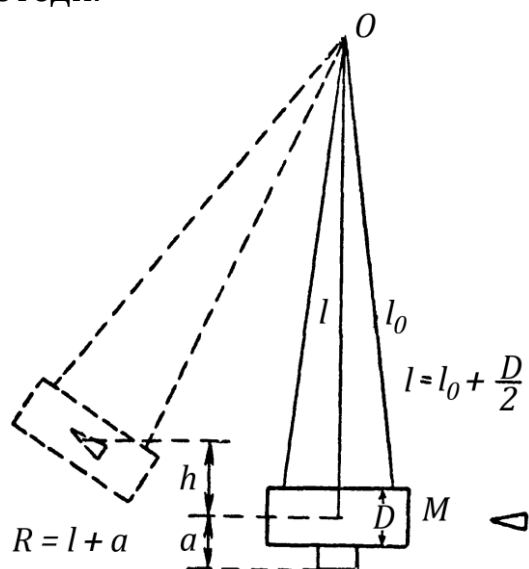
Бизиң мәселемиз шәртлеринде  $\tau \ll T$ . Демек

$$mv = (M + m)v' \quad (1)$$

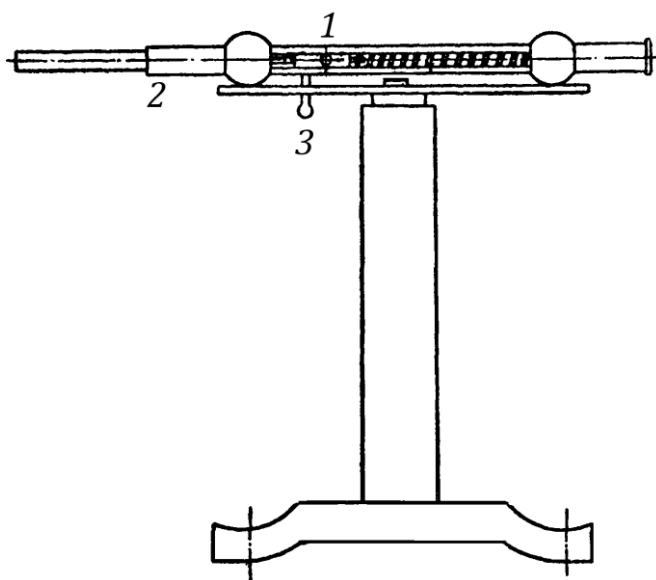
теңлигин жаза аламыз. Бул теңликте  $mv$  арқалы соқлығысыўға шекемги снарядтың импульси, ал  $(M + m)v'$  арқалы соқлығысқаннан кейинги "маятник+снаряд" системасының импульси белгиленген.

Снарядтың маятникке соқлығысыуына "Снаряд-маятник" системасындағы қозғалыс муғдарының сақланыуы нызамын қолланыу берилген мәселени шешиу үшін толық пайдаланыу мүмкин болған усыл болып табылады. Бирақ бул усыл қозғалмайтуғын айланыу көшерине ийе бир қатты дене менен екінши қатты денениң соқлығысыуын үйрениу үшін пайдаланылатуғын универсаллық усыллардың қатарына кирмейди.

Биз қарап атырған жағдайда қозғалыс муғдарының сақланыуы нызамын пайдаланыудың мүмкиншилиги маятниктиң сызықлы өлшемлериниң жиптиң сызықлы өлшемлерине салыстырғанда әдеуир киши екенлиги менен байланысly. Сонлықтан бул жағдайда маятникти математикалық маятник сыпатында қарауға болады хәм қозғалыс муғдарының моментиниң сақланыуы нызамының математикалық аңлатпасы қозғалыс муғдарының сақланыуы нызамының аңлатпасына өтеди.



1-сүүрет.



2-сүүрет.

Хақыйқатында да снаряд-маятник системасы үшін қозғалыс муғдарының моментиниң сақланыуы нызамы

$$mvl = J\omega \quad (2)$$

түринде жазылады. Бул аңлатпада  $mvl$  арқалы снарядтың маятникке урылыуға шекемги қозғалыс муғдарының моменти,  $J$  арқалы снаряд келип урылған маятниктиң  $O$  арқалы айланыу көшерине салыстырғандағы инерция моменти,  $\omega = v'/l$  арқалы мүйешлик тезлик белгиленген ( $l$  арқалы "маятник-снаряд" системасының салмақ орайынан жиптиң жоқарыға илиниу ноқатына шекемги қашықлық белгиленген).

Анықламасы бойынша

$$J = (M + m)l^2.$$

$J$  шамасының мәнісі (2)-формулаға қойсақ

$$mvl = (M + m)l^2 \frac{v'}{l} \text{ ямаса } mv = (M + m)v'$$

аңлатпаларына ийе боламыз. Бул аңлатпалар қозғалыс муғдарының сақланыу нызамын аңлатады.

Улыўма жағдайда снаряд ықтыярлы конфигурацияларға ийе маятникке урылғанда мәселени шешиў ушын қозғалыс муғдары моментинен пайдаланыў керек болады. Бирақ қәлеген маятник ушын "соққы орайы" деп аталатуғын орай бар. Бул орай маятниктиң тербелиў орайы менен сәйкес келеди. Соққы берилгенде маятник пенен оның көшери арасында ҳеш қандай тәсир етисиў орын алмайды. Снаряд тербелиў орайына келип урылғанда қозғалыс муғдарының моментиниң сақланыў нызамын (2)-аңлатпа түринде жазыў мүмкин. Бундай жағдайда  $l$  шамасы  $O$  ноқаты менен маятниктиң тербелиў орайы арасындағы қашықлық болып табылады.

Егер  $M$  хәм  $m$  массалары менен  $v'$  тезлиги тәжирийбеде анықланатуғын болса, онда  $v$  тезлигин (1)-аңлатпа бойынша есаплаўға болады.  $M$  хәм  $m$  массаларын тәрезиниң жәрдемінде анықланатуғынлығы өз-өзинен түсиникли. Ал  $v'$  тезлигин төмендегидей көз-қараслардың жәрдемінде анықлаймыз.

Соққыдан кейин маятник горизонт бағытындағы көшердиң дөгерегинде бурылады хәм оның салмақ орайы  $h$  бийиклигине көтериледи. Соққыдан кейинги аўхал ушын механикалық энергияның сақланыў нызамы былайынша жазылады:

$$\frac{(M + m)v'^2}{2} = (M + m)gh.$$

Буннан

$$v' = \sqrt{2gh} \quad (3)$$

аңлатпасын аламыз.

$h$  шамасын маятниктиң тең салмақлық ҳалына сәйкес келиўши орыннан аўысыўы бойынша анықлаў мүмкин (1-сүүрет). Маятник илдирилген жиптиң узынлығы болған  $l_0$  шамасын берилген шама деп есаплаймыз.

Маятниктиң салмақ орайы менен илдириў ноқаты арасындағы қашықлықты және де  $l$  арқалы белгилеймиз. Бундай жағдайда

$$h = l - l \cos \alpha = 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (4)$$

аңлатпасына ийе боламыз. Бул аңлатпада  $\alpha$  арқалы маятниктиң тең салмақлық ҳалынан аўысыў мүйеши белгиленген. Өз гезегинде  $\alpha$  ниң мәнісі

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{R} \quad (5)$$

формуласының жәрдемінде де анықланыўы мүмкин. Бул формалада  $S$  арқалы есаплаў ушын арналған рамканың жибиниң аўысыўы, ал  $R$



арқалы усы рамканың илдириуі (асыу) ноқатына шекемги қашықлығы белгиленген.  $R = l + a$  теңлигинің орынлы екенлигине итибар беремиз.

(1)-, (3)- хәм (4)-формуларды есапқа алып снарядтың ушыу тезлиги ушын ең ақырғы аңлатпаны аламыз

$$v = \frac{M + m}{m} 2 \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \sqrt{gL}. \quad (6)$$

**Өлшеулер.** Дәслеп снарядлар менен маятниктиң цилиндр тәризли денесинің массаларын өлшейди. Массаны  $\pm 0,1$  г дәлликте өлшеу талап етиледі. Буннан кейин маятникти жипке илдиреди. Жиплердиң узынлығын цилиндрдиң көшери горизонт бағытында туратуғындай хәм еки илдирилиу ноқатларын тутастыратуғын перпендикуляр болатуғындай етип дурыслайды. Жиплердиң буралмағанлығына дыққат аудару керек. Маятниктиң ауысыуын өлшеу ушын арналған шкала маятниктиң рамкасынан 5-6 мм қашықлықта орнатылады. Мылтықты атыу ушын таярлайды. Оның ушын 2-сүүреттеги рычагты оң тәрептеги ең шетки ауқалға ысырып қояды. Атылған снарядтың тек маятникке барып урылатуғынлығына көз жеткергеннен кейин мылтық атылады. Оның ушын 3 куроғы тартылады. Маятниктиң ауысыуы шкаладан белгиленип алынады.

Хәр бир снаряд кемінде 5 рет атылады хәм усыған сәйкес ауытқыудың 5 мәниси жазып алынады.

Алынған нәтижелер бойынша ауысыудың орташа мәниси  $S$  анықланады. (5) формула бойынша  $\alpha$  шамасының мәниси анықланады. Бул мүйештиң мәниси кишкене болғанлықтан  $tg\alpha \approx \sin\alpha \approx \alpha$  жууықлауынан пайдаланыуға болады. Бул мәнисти снарядтың тезлигин анықлайтуғын (6)-формулаға қояды.

Тәжирийбелерди кемінде массалары хәр қыйлы болған 3 снаряд пенен орынлайды.

Алынған нәтижелер 1-кестеге жазылады.

1-кесте.

$M =$  ;  $a =$  ;  $l =$  ;  $R = l + a =$  ;

№	$S, \text{ см}$	$tg\alpha$	$\alpha, \text{ град}$	$v, \text{ см/с}$	$\Delta v, \text{ см/с}$	$\frac{\Delta v}{v} \cdot 100\%$
1						
2						
3						
4						
5						
Орт.						

## 14-санлы лабораториялық жұмыс

### Айланыушы балластикалық маятниктің жәрдемінде снарядтың ушыу тезлигин анықлау

**Керекли материаллар:** 1) эксперимент өткерилетуғын дүзилис, 2) секундомер, 3) сантиметрлик сызғыш.

**Теориясы.** Жұмыстың мақсети айланыушы балластикалық маятниктің жәрдемінде снарядтың тезлигин анықлау.

Снаряд келип тийгеннен кейин маятник өзинің вертикаллық көшери дөгерегінде тербеле баслайды. Егер қозғалыушы дене ушын пайда болатуғын сүйкеліс күшинің моментин есапқа алмайтуғын болсақ, онда еки сақланыу нызамынан пайдаланыуға болады.

Соққыны толық серпимли емес деп есаплайтуғын болсақ моментлердің сақланыу нызамы тийкарында

$$mvl = (J_1 + ml^2)\omega \quad (1)$$

аңлатпасын жазыу мүмкин. Бул аңлатпада  $m$  арқалы снарядтың массасы,  $v$  арқалы тезлиги,  $l$  арқалы маятниктің айланыу көшеринен снаряд келип тийген ноқатқа шекемги қашықлық,  $J_1$  арқалы маятниктің инерция моменти, ал  $\omega$  арқалы оның мүйешлик тезлиги белгиленген.

Соққыдан кейинги жағдай ушын энергияның сақланыу нызамы

$$\frac{1}{2}(J_1 + ml^2)\omega^2 = \frac{1}{2}D\varphi^2 \quad (2)$$

аңлатпасын береді. Бул аңлатпада  $\varphi$  арқалы маятниктің ең үлкен бурылыу мүйеши, ал  $D$  арқалы серпимли күшлердің турақлысы белгиленген.

Бул теңлемелерден

$$v^2 = \frac{D\varphi^2}{m^2l^2}(J_1 + ml^2) \quad (3)$$

формуласын аламыз.

Снарядтың инерция моменти болған  $ml^2$  шамасы  $J_1$  ден көп есе киши болғанлықтан (3)-теңлемени былайынша көширип жазамыз:

$$v^2 = \frac{D\varphi^2 J_1}{m^2l^2}. \quad (4)$$

Төмендегидей болжауларды қабыл етемиз:

Снарядтың маятникке тәсир етиу уақыты маятниктің тербеліс дәуиринен көп есе киши (яғный  $\tau \ll T$  теңсизлиги орынланады деп есаплаймыз,

Маятниктің ауысыу мүйеши киши хәм 5-6<sup>0</sup> шамасында (яғный  $\sin\alpha \approx \alpha$ ).

Бундай шараятларда балластикалық маятниктің қозғалыс теңлемеси

$$J_1\ddot{\alpha} = -D\alpha$$

түрине ийе болады. Бул аңлатпада  $\alpha$  арқалы маятниктің ауысыу мүйеши, ал  $\ddot{\alpha}$  арқалы оның мүйешлик тезлениуи белгиленген. Бул теңлемени

шешиў тербелис дәўири  $T_1$  ушын аңлатпаның алыныўына мүмкиншилик береді:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{J_1}{D}}. \quad (5)$$

$D$  шамасын жоқ етиў ушын бир қатар илажларды ислеймиз. Жүклер арасындағы қашықтықты өзгертиў жолы менен маятниктиң инерция моментин өзгертеміз:

$$\begin{cases} T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{J_1}{D}}, \\ T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{J_2}{D}}. \end{cases} \quad (6)$$

$$J_1 - J_2 = \Delta J. \quad (7)$$

Бул аңлатпада  $T_2$  арқалы маятниктиң инерция моментин  $J_2$  шамасына тең болған жағдайдағы тербелис дәўири,  $\Delta J$  арқалы инерция моментлериниң айырмасы белгиленген.

(6)-теңлеме

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{T_1^2}{T_2^2} \quad (8)$$

қатнасын береді. Ал (7)- хәм (8)-теңлемелер

$$J_1 = \frac{T_1^2}{T_1^2 - T_2^2} \Delta J \quad (9)$$

аңлатпасын береді.

(4)-, (5)- хәм (9)-теңлемелер болса

$$v_1 = \frac{2\pi\varphi}{ml} \frac{T_1}{T_1^2 - T_2^2} \Delta J \quad (10)$$

формуласын береді.

$\Delta J$  шамасын Гюйгенс-Штейнер теоремасын пайдаланып анықлаўға болады. Бул теоремадан

$$J_1 = J_0 + 2MR_1^2, \quad (11)$$

$$J_2 = J_0 + 2MR_2^2 \quad (12)$$

аңлатпаларына ийе боламыз. Бул аңлатпада  $J_0$  арқалы жүклердиң салмақ орайы  $C$  маятниктиң айланыў көшери менен сәйкес келетуғын жағдайдағы маятниктиң инерция моментин (1-сүўретке қараңыз),  $J_1$  арқалы еки жүк те айланыў көшеринен  $R_1$  қашықтықта жайласқандағы,  $J_2$  арқалы еки жүк те айланыў көшеринен  $R_2$  қашықтықта жайласқандағы маятниктиң инерция моментин,  $M$  арқалы бир жүктиң массасы белгиленген.

Мейли  $R_1 > R_2$  теңsizлиги орынланатуғын болсын. Бундай жағдайда (11)- хәм(12)-теңлемелерден

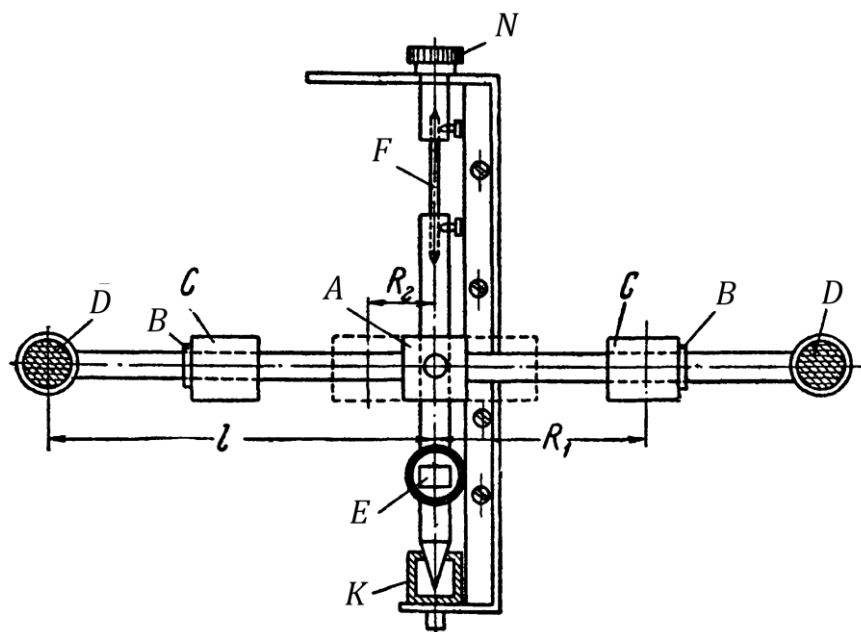
$$J_1 - J_2 = \Delta J = 2M(R_1^2 - R_2^2) \quad (13)$$

аңлатпасына ийе боламыз.

(10)- хәм (13)-теңлемелер бизге керек болған ең ақырғы аңлатпаны береді

$$v = \frac{4\pi\varphi M}{ml} \frac{T_1^2}{T_1^2 - T_2^2} (R_1^2 - R_2^2). \quad (14)$$

**Дүзилисти тәрийиплеу.** Дүзилис айланыўшы маятниктен хәм пистолеттен турады. Айланыўшы маятник *A* муфтасының жәрдемінде бекитилген массасы үлкен еки металл стерженлерден турады.



1-сүүрет.

*B* сақыйнасы менен *A* муфтасының ортасында горизонт бағытындағы стержень бойлап еки металл цилиндр (жүк) қозғала алады. Стерженнің шетине жақын хәр қыйлы орынларда пластилин менен толтырылған *D* ыдыслары бекитилген.

Маятниктиң бурылыў мүйешин өлшеуі үшін оның вертикал бағыттағы стерженине шағылыстырыўшы айна *E* бекитилген. Жақтыртқыштан шыққан жақтылық дәстеси айнада шағылысып шкала бойлап қозғалады (бул сүүретте көрсетилмеген).

Бурылыў мүйеши  $\varphi$  диң шамасы нурдың шағылысыў нызамы тийкарында анықланады:

$$\varphi = \frac{1}{2} \frac{n}{L}.$$

Бул формулада *L* арқалы айнадан шкаладағы шағылысқан нурдың орнына шекемги қашықлық, ал *n* арқалы бурылыўдың салдарынан шкаланың бетіндеги шағылысқан жақтылық дәстесиниң басып өткен шкаланың бөлимлериниң саны.

Маятник кронштейнге *F* сыманының хәм *K* подшипнигиниң жәрдемінде бекитилген. Бул сымның буралыў деформациясы серпимли

күшлер моментин пайда етеди.  $N$  головкасын айландырыу арқалы маятниктің тегислиги керек болған аўқалға келтириледі.

Пистолет үлкен массаға ийе тийкарға бекитилген металл най-ствол болып табылады. Бул найдың жабық шетінде пружина орнатылған болады. Снарядты найға орналастырғанда пружина қысылады. Снарядты өз еркіне қойғанда пружина созылады хәм снарядты атып жибереді.

**Өлшеулер.** Өлшеулердің барлығы да узынлық пенен ўақытты өлшеулерге алып келеді. Снарядтың хәм цилиндрдің массалары белгили). Еки цилиндрди де сақыйналарға тийетуғындай етип жылыстырыудан баслайды.  $R_1$  шамасы, яғный маятниктің көшери менен цилиндрлердің биреуінің ортасына шекемги аралық өлшенеді. Соның менен бирге маятниктің көшери менен пластилин салынған ыдыслардың биреуінің ортасына шекемги қашықлық болған  $l$  шамасы да өлшенеді. Буннан кейин маятник пенен пистолетти төмендеги шертлер орынланатуғындай етип жайластырады:

Айнадан шағылысқан нур шкаланың ортасында турыуы керек.

Пистолеттің стволының бағыты маятниктің горизонт бағытындағы стерженине перпендикуляр жайласқан болуы тийис.

Пистолеттің стволының ушы ыдыстағы пластилиннің бетинен 2-3 см қашықлықта жайласқан болуы керек. Бул операцияны орынлау үшін маятникти буруу ( $N$  головкасын айландырыу жолы менен әмелге асырылады) хәм стол бойынша еркин қозғала алатуғын пистолетти дурыс жайластыруу керек болады.

Айна менен айнада шағылысып шкалаға келип түскен нур арасындағы қашықлық  $L$  ди сантиметрли сызғыштың жәрдемінде өлшейди. Буннан кейин снарядты атады хәм пистолетти бир тәрепке ысырып қойып  $n$  шамасын өлшейди (бул шкаладағы нурдың тең салмақлық халдан аўысыуының ең үлкен мәнисин береді).

Тербелис дәуирин өлшеу үшін секундомерди иске қосады. Маятник 10 рет толық тербелгеннен кейин секундомерди тоқтатады хәм дәуирдің шамасының орташа арифметикалық мәниси есапланады.

Маятниктің инерция моментин киширейтип (цилиндрди муфтаға жақын жылыстырып)  $R_2$  шамасын өлшейди. Бул шама маятниктің көшери менен цилиндрлердің биреуінің ортасына шекемги қашықлық болып табылады.

$T_2$  дәуирин өлшеу үшін пистолеттен және снаряд атылады (шкаладағы айнада шағылысқан нурдың қандай шамаға жылысқанлығын өлшеудің кереги жоқ).  $T_2$  шамасын өлшеуді де  $T_1$  шамасын өлшегендей жол менен алып барады.

(14)-формуланың жәрдемінде снарядтың тезлиги анықланады.

Снарядтың урылуы ўақты болған  $t$  шамасының мәнисин жууық түрде анықлау үшін штангенциркульдің жәрдемінде снарядтың

пластилинге кириуінің ұзындығы болған  $d$  шамасы өлшенеді хәм буннан кейін

$$\tau = \frac{d}{\tilde{v}}$$

формуласының жәрдемінде анықлайды. Бул формулада  $\tilde{v} = v/2$  арқалы пластилиндегі снарядтың қозғалыуының орташа тезлиги белгиленген.

$\tau$  хәм  $T_1$  шамаларын салыстырыу мятниктиң балластикалық маятник екенлигине исениуге мүмкиншилик береді.

Барлық өлшеулерди кемінде 5 рет орынлау хәм өлшенип атырған шаманың орташа арифметикалық мәнисинен пайдаланыу керек.

Снарядтың ушыу тезлигин кинематикалық усылдың жәрдемінде де өлшеу мүмкин. Координата басын снарядтың пистолеттен ушып шығуы ноқатына орналастырамыз.  $x$  көшерин горизонт бағытында снарядтың ушыу бағытына параллель етип, ал  $y$  көшерин вертикал бағытта төменге қарап жүргиземіз.

Сүйкеліс күшлерин есапқа алмасақ снарядтың қозғалыс теңлемесин былайынша жаза аламыз:

$$x = vt, \quad y = \frac{1}{2}gt^2.$$

Бул аңлатпада  $v$  арқалы снарядтың тезлиги,  $g$  арқалы еркин түсіу тезленіуі, ал  $t$  арқалы уақыт белгиленген.

Бул теңлемелер

$$v = x \sqrt{\frac{1}{2} \frac{g}{y}}$$

теңлемесин береді.

$x$  пенен  $y$  лерди анықлау ушын төмендегидей операцияларды орынлайды. Пистолетти столдың мүйешине жайластырады, пистолеттиң стволын стол бойлап бағытлайды. Столдың үстинде снарядтың ушыу тегислигинде сантиметрли бөлеклерге бөлінген ұзын сызғышты орналастырады. Буннан кейін снаряд атылады хәм снарядтың сызғышқа келип түскен орны бойынша ушыу ұзақтығын, яғнай  $x$  шамасын анықлайды. Бундай тәжірийбени кемінде он рет өткерип, алынған шамалардың арифметикалық орташасын алыу керек болады.

$y$  тиң шамасын (снарядтың қулап түсіу бийиклиги) миллиметрли бөлімлерге бөлінген сызғыш пенен өлшейді.

Кинематикалық усылдың жәрдемінде алынған снарядтың тезлиги өлшеулерди турпайы түрдегі қәтелер жиберілмеген жағдайда динамикалық усыл менен алынған тезликтің шамасына жақын болыуы керек.

$$M = \quad , \quad R = \quad .$$

№	$m, \text{ г}$	$n$	$L, \text{ см}$	$T_1, \text{ с}$	$T_2, \text{ с}$	$v, \text{ см/с}$	$\Delta v, \text{ см/с}$	$\frac{\Delta v}{v} 100\%$
1								
2								
3								
4								
5								
Орт.								

### Қадағалау үшін сораулар

1. Импульстиң сақланыуы нызамын айтып бериңиз.
2. Ноқатқа салыстырғандағы импульс моментиниң анықламасын бериңиз.
3. Импульс моментиниң сақланыуы нызамын айтып бериңиз.
4. Механикалық энергияның сақланыуы нызамын айтып бериңиз.
5. Соққы орайы дегенимиз не?
6. Егер маятниктиң денесиниң массасы снарядтың массасына салыстырғанда 100 есе үлкен болған тутас цилиндрден ибарат болса соққы орайының қайсы орында орналасқанлығын анықлаңыз.

### 15-санлы лабораториялық жұмыс

#### Сестинің ҳауада тарқалыуы тезлигин, толқын узынлығын хәм ҳауа бағанасының меншикли тербелис жийилигин анықлау

**Жұмыстың мақсети:** тербелмели қозғалыс хәм сес толқынлары ҳаққындағы теориялық билимлерди беккемлеу, сестинің толқын узынлығын хәм тарқалыуы тезлигин, ҳауа бағанасының меншикли тербелис жийилигин тәжирийбеде анықлау.

#### 1-усыл. Сестинің ҳауада тарқалыуы тезлигин хәм ҳауа бағанасының меншикли тербелис жийилигин анықлау

**Теориялық бөлим.** Толқынлық процесс ҳаққында гәп еткенде тербелислердиң серпимли орталықлардағы тарқалыуы нәзерде тутьлады. Затлардың бизге белгили болған үш агрегат халларының барлығы да серпимли орталықлар болып табылады. Газлерде тербелислер бойлық толқынлар түринде тарқалады. Сонлықтан сес толқынлары да бойлық толқынлар болып табылады. Ал қатты денелерде

болса механикалық толқынлар қатарына кириўши сес толқынлары бойлық хәм көлденең толқынлар түрінде тарқалыўы мүмкин.

Сес толқынларының спектриндеги тербеліслердің жийилиги бойынша төмендегідей толқынлар диапазонларын айырып көрсетиў мүмкин:

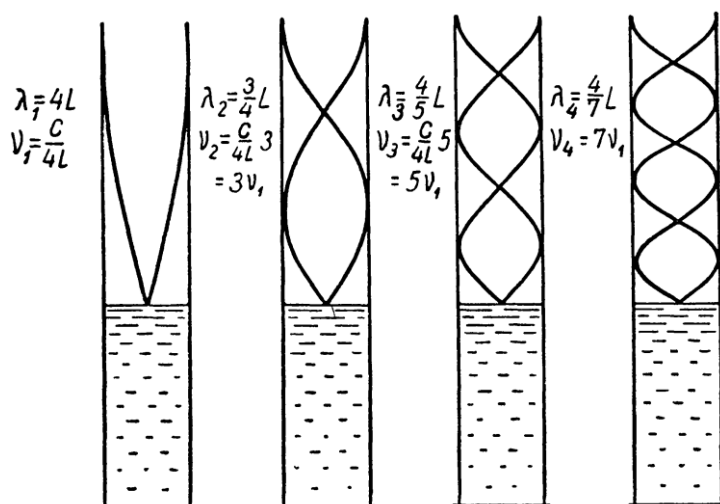
№	Сеслер	Жийилиги $f$ , Гц
1	Инфрасеслер	$0 \leq f \leq 20$
2	Эпиўайы сеслер	$2 \cdot 10^1 \leq f \leq 2 \cdot 10^4$
3	Ултрасеслер	$2 \cdot 10^4 \leq f \leq 2 \cdot 10^9$
4	Гиперсеслер	$10^9 \leq f \leq 10^{13}$

Жийилиги 20 Гц тен  $2 \cdot 10^4$  Гц ке шекемги толқынлар адамлардың еситиў органында (қулағында) сес сезимин пайда етеди.

Толқынның жийилиги  $\nu$  менен толқынның узынлық  $\lambda$  шамалары арасында төмендегідей байланыс орын алады:

$$\nu = \nu \lambda. \quad (1)$$

Бул аңлатпада  $\nu$  арқалы толқынның орталықтағы тарқалыў тезлиги белгиленген.



1-сүүрет

Сестиң орталықтағы тарқалыў тезлигин анықлаў ушын сестиң жийилиги менен сол жийиликке сәйкес келиўши толқынның узынлығын өлшениў керек. Сестиң толқын узынлығын өлшеў ушын акустикалық резонанс қубылысын пайдаланыўға болады.

Бизге бир ушы жабылған, ал екінши ушы ашық шийше най берилген болсын (1-сүүрет). Егер бул найдың ашық ушына сес дерегин (мысалы телефонды) алып келип, найдың ишинде сес толқынлары пайда етилсе найдағы ҳаўа бағанасы да усы сестиң тәсиринде тербеле баслайды. Усының нәтийжесинде ҳаўа бағанасының меншикли тербеліс жийилиги менен сестиң жийилиги бирдей болғанда резонанс қубылысы жүзеге келеди. Ҳаўа бағанасының тербелісиниң меншикли тербеліс жийилиги болған  $\nu_n$  шамасы ҳаўа бағанасының узынлығы  $L$  менен сестиң ҳаўадағы тарқалыў тезлиги  $\nu$  шамаларының жәрдемінде анықланады. Ҳаўа



бағанасының тербеліслерінің меншикли жийилигі төмендегі теңлемнің жәрдеминде есапланады:

$$v_n = \frac{vn}{4(L + 0,8R)}. \quad (2)$$

Бұл аңлатпада  $n = 1, 3, 5, \dots$ , ал  $L$  қауа бағанасының ұзынлығы,  $R$  қауа бағанасының радиусы (найдың радиусы). Егер  $L \gg R$  теңсізлігі орынланатуғын болса, онда (2)-аңлатпаны төмендегі түрге келтиріу мүмкін:

$$v_n = \frac{v}{4L} \cdot n. \quad (2)$$

Резонанс қубылысы жүз берген ұақытта қауа бағанасының ұзынлығы бойында (анығырағы  $L + 0,8R$  шамасына тең ұзынлықта) толқын ұзынлығының тақ сандағы шерек бөлімі жайласады. Демек бұл жағдайда

$$n \frac{\lambda}{4} = L + 0,8R \quad (3)$$

аңлатпасына ийе боламыз.

$n$  шамасының мәнісін өзгертіу арқалы (3)-шәрт орынланатуғын жағдайлардың барлығында да қауа бағанасының ұзынлығы өзгеріске ушырайды. Резонанс бақланатуғын қауа бағанасының бийікликлерінің ең киші айырмасы толқын ұзынлығының ярымына тең. Тап усы қәсіет сес толқынының ұзынлығын анықлау ұшын пайдаланылады. Буның ұшын (3)-аңлатпаны  $\lambda$  ға қарата шешеміз:

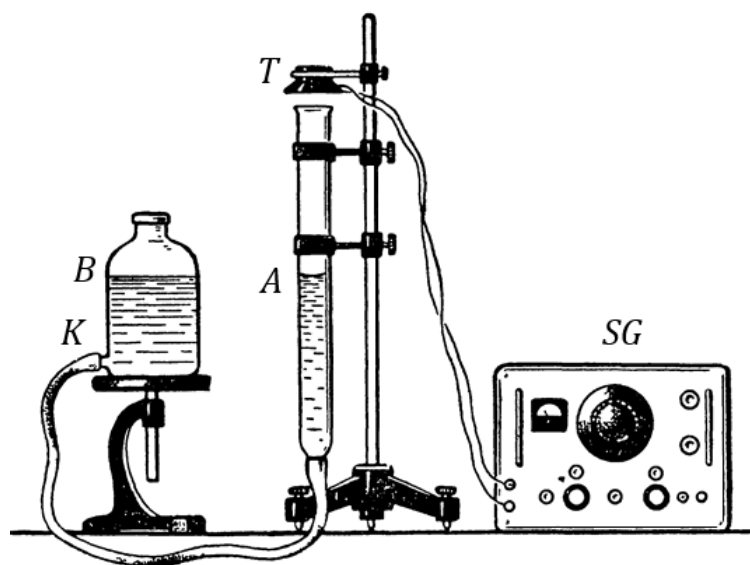
$$\lambda = \frac{4(L + 0,8R)}{n} \quad (4)$$

**Эксперименталлық дүзиліс пенен өлшеулер методикасы.** Дүзиліс 2-сүуретте көрсетілген хәм ол сууға толтырылған ыдыс пенен резинка най менен тутастырылған шийше цилиндрден турады. Ыдысты көтеріу хәм төменге түсіріу жолы менен қауа бағанасының ұзынлығын өзгертіу мүмкін. Сес дерегі сыпатында телефоны бар сес генераторы қолланылады. Сес генераторы сес жийилигиндегі электромагнит тербеліслерін пайда етеді. Бұл электромагнит тербеліслері телефонның жәрдеминде механикалық тербеліслерге айландырылады. Телефонның мембранасынан келетуғын сес толқыны хәм суу бетинен шағылысқан сес толқыны суу үстиндегі қауа бағанасында интерференцияға ушырайды. Егер қауа бағанасына тақ сандағы шерек толқын ұзынлығы жайғасатуғын болса, онда бағанада турғын толқын пайда болады. Бұл турғын толқынның түйіні суудың бетінде, ал екі түйіннің дәл ортасы областы (бул областта бөлекшелердің ауысыуы менен тезліклері максималлық мәніске жетеді) цилиндрдің ашық бетінде жайласады. Усындай жағдай жүзеге келгенде цилиндр ишіндегі қауа бағанасы интенсивлі түрде сес шығарады. Демек бұл жағдайда қоршаған орталыққа энергияны беріу ұшын ең утымлы шараят жүзеге келеді. Цилиндрдегі суудың қәдді өзгергенде сес

хэлсирейди. Егер цилиндрдеги суудың қәдди және де ярым толқын узынлығына өзгертилсе, онда ҳаўа бағанасының узынлығына және де тақ дана шерек толқын узынлығы жайласады. Мембрананың тербелислериниң жийилигин билип хәм ярым толқынлардың узынлықларын өлшеп (бул узынлық сестиң избе-из күшейиўиниң еки максимумы арасындағы қашықлыққа тең) ҳаўадағы сес толқынларының тезлигин есаплаў қыйын емес.

Сес генераторы жийилиги адам қулағы еситетуғын сес интервалындағы электромагнитлик тербелислерди пайда етеди (яғный 20 Гц тен 20000 Гц ке шекемги интервадағы тербелислерди пайда етеди).

2-сүүрет.



**Керекли әсбап хәм материаллар:** 1) сес генераторы, 2) цилиндр тәризли шийше най, 3) колба, 4) стол, 5) штатив, 6) резина найлар, 7) телефон.

**Әсбаптың характеристикасы.** *SG* сес генераторының клеммаларына *T* телефон сымлары жалғанған. *T* телефон *A* шийше найдың ашық ушына 2-сүүретте көрсетилгендей етип штативтиң жәрдемінде орнатылады. *A* найдың астынғы тийкары резинка най жәрдемінде суў қуыйлатуғын *B* ыдысы менен тутастырылған. Бул *B* ыдысты жоқарыға көтериў ямаса төменге түсириў жолы менен *A* шийше найдағы ҳаўа бағанасының бийиклигин өзгертиў мүмкин. *SG* сес генераторы сес жийилигиндеги электромагнит тербелислерин пайда етеди. *T* телефон болса оны механикалық тербелислерге айландырады. *T* телефоны мембранасынан тарқалып атырған сес толқынлары менен шийше най ишиндеги суў бетинен кери бағытта шағылысуудың нәтийжесинде қайтқан толқын суў бағанасы ишинде интерференцияға ушырайды. Нәтийжеде шийше най ишиндеги ҳаўа бағанасы интенсивли түрде сес шығара баслайды.

Шийше найдағы суйықлық бағанасы өзертирилсе сестиң интенсивлиги төменлейди. Егер суудың қәддин өзгертиў даўам еттирилсе хәм ҳаўа бағанасының белгили бир узынлығында сестиң

интенсивлиги және де күшейіп, максималлық мәніске жетеді. Бундай жағдайда да қауа бағанасының бойында тақ сан еселенген шерек толқын ұзынлығы жайласады. Сес дереги тәрәпинен пайда етилип атырған жийиликти және сестиң интенсивликлериниң еки избе-из максимумлары арасын (бул аралық  $\lambda/2$  толқын ұзынлығына тең) билиу арқалы сестиң қауадағы тарқалыу тезлигин есаплау мүмкин.

### Жумыстың орынланыу тәртиби

1. 2-сүүретте көрсетилген эксперименталлық дүзиліс жыйналады.
2.  $V$  ыдысқа суу қуйылып, бул ыдысты жоқарыға көтеріу жолы менен шийше найдағы суйықлық бағанасының бийиклиги, усыған сәйкес қауа бағанасының ұзынлығы өзгертириледі.
3.  $SG$  сес генераторының жәрдемінде  $\nu = 300$  Гц жийиликтеги сес тербеліслери пайда етиледі.
4.  $A$  ыдыстағы суйықлық бағанасының бийиклигин өзгертиу арқалы биринши максимумге (сес күшейген орынға) сәйкес келетуғын  $L_1$  анықланады. Буннан кейин суйықлық бағанасының бийиклигин және өзгерте отырып екинши максимумге сәйкес келиуши  $L_2$  анықланады.
5. Алынған нәтийжелер бойынша  $L_1 - L_2 = \Delta L = \lambda/2$  шамасы есапланады.
6. Алынған нәтийже бойынша  $\nu = 2\Delta L \nu$  формуласының жәрдемінде тезлик  $\nu$  ның мәніси есапланады. Буннан кейин (2)-формула бойынша  $(\nu_n = \frac{\nu}{4L} \cdot n)$  қауа бағанасының тербеліслериниң меншикли жийилиги  $\nu_n$  шамасы табылады.
7. Сестиң жийилигин шама менен 400 Гц, 500 Гц, 600 Гц шамаларына өзгертирип, ҳәр бир жағдай ушын 4-, 5- ҳәм 6-пунктлерде айтылып өтилген тәжирийбелер қайталаңады.
8. Ҳәр бир тәжирийбе кемінде 5 рет тәкирарланады.
9. Өлшеу ҳәм есаплау нәтийжелери 1-кестеге жазылады.

1-кесте

№	$\nu_n$ , Гц	$L_1$ , м	$L_2$ , м	$\Delta L$ , м	$\nu$ , м/с	$\Delta \nu$ , м/с	$E = \frac{\Delta \nu}{\nu} \cdot 100 \%$
1							
2							
3							
4							
5							
Орт.							

## 2-шынығыу.

### Сестинң ҳаўада тарқалыу тезлигин ҳәм толқын узынлығын цилиндр ишиндеги ҳаўа бағанасының резонансы усылының жәрдемінде өлшеу

Мейли бизге ишинде поршен орнатылған бир ушы ашық  $A$  най ҳәм сес дереги болған  $K$  камертоны берилген болсын (3-сүүрет). Камертоннан шығатуғын жийилик  $\nu$  де белгили болсын. Бундай жағдайда  $v = \nu \cdot \lambda$  формуласының жәрдемінде сестинң ҳаўадағы тарқалыу тезлигин анықлау ушын сестинң  $\lambda$  толқын узынлығын табуу зәрүрлиги пайда болады.

Камертоннан тарқалып атырған сес толқынлары этираптағы ҳаўа бөлекшелерин (молекулаларын)  $\nu$  жийилигиндеги тербелмели қозғалысқа келтиреди ҳәм бул тербелмели қозғалыс сес толқынлары түринде тарқалады. Егер 3-сүүретте көрсетилген  $D$  тутқасын әсте-ақырынлық пенен ийтерсек найдың ишиндеги ҳаўа бағанасында турғын сес толқынлары пайда болып, интерференция қубылысы жүзеге келеди. Нәтийжеде сестинң күшейиуин ямаса ҳәлсиреуин бақлаймыз. Сестинң интенсивлигиниң максимумына сәйкес келиуши поршенниң бети менен найдың ушына шекемги қашықлықты  $L_1$  арқалы белгилеймиз. Келеси максимумға сәйкес келиуши тап усындай қашықлықты  $L_2$  арқалы белгилеуимиз керек.  $L_1$  шамасы толқын узынлығының ярымына, ал  $L_2$  болса толқын узынлығының  $\frac{3}{2}$  бөлегине тең болады.  $L_2 - L_1$  айырмасы болса бир турғын толқынның узынлығына тең. Бирақ сестинң тезлигин анықлау ушын бир турғын толқын узынлығын емес, ал еки турғын толқын узынлығына тең узынлықты билиу керек (бундай толқынды әдетте өткинши толқын деп те атайды). Бул шаманы

$$\lambda = 2(L_2 - L_1) \quad (5)$$

ямаса

$$\lambda = L_1 + L_2 \quad (6)$$

формулаларының жәрдемінде есаплау мүмкин.

Өткинши толқынның узынлығын дәлирек есаплау ушын көпшилик жағдайларда

$$\lambda = \frac{3L_2 - L_1}{2} \quad (7)$$

аңлатпасынан пайдаланады. Бул формула (5)- ҳәм (6)-формулардан келип шықпайды.



3-сүүрет.

(7)-формуланы (1)-формулаға қойып бизге керек болған

$$v = \frac{3L_2 - L_1}{2} v \quad (8)$$

аңлатпасына ийе боламыз.

Биз жоқарыда келтирген аңлатпаларды температура  $0^{\circ}\text{C}$  болмаған жағдайлар ушын алынбағанлығын еске түсиремиз. Ал даўыстың  $0^{\circ}\text{C}$  температурадағы тезлигинің мәнісі болған  $v_0$  шамасын анықлаў ушын әдетте

$$v_0 = \frac{v_t}{\sqrt{1 + \alpha t}} \quad (9)$$

формуласынан пайдаланады. Бул формулада  $v_t$  арқалы сестің температура  $t$  шамасына тең болғандағы тезлиги белгиленген.  $\alpha = \frac{1}{273}$  град $^{-1}$ .

**Керекли әсбап хәм материаллар:** 1) поршенли най, 2) шама менен 440 Гц жийиликте тербелетуғын камертон, 3) камертонды тербеліске келтириў ушын қолланылатуғын балға, 4) узынлығы 1 м болған масштаблы сызғыш.

**Әсбаптың характеристикасы.** Әсбап диаметри шама менен 40-50 мм хәм узынлығы 900 мм бир ушы ашық, жуқа дийўалға ийе цилиндр тәризли  $A$  найынан ибарат (3-сүүрет). Бул найдың дийўалларының мөлдир болыўы шәрт емес. Цилиндрдің ишинде  $D$  тутқасы бар қозғалатуғын  $P$  поршен жайласқан.

#### **Жумысты орынлаў тәртиби.**

1. Жоқарыда атап өтилген най алынады. Оның ашық ушының алдына штативке беккемленген жийилиги  $v_1$  шамасына тең камертон орнатылады. Камертонның шақалары найдың көшеринің қәддинде жайласқан болыўы керек.

2.  $D$  тутқасын 15 см шамасына жылжытып найда қаўа бағанасы пайда етиледі. Буннан кейин камертонды тербеліске келтиргеннен кейин  $D$  тутқасы және де әстелик пенен қозғалысқа келтириледи хәм сестің интенсивлигинің күшейиўи менен киширейиўи бақланады. Резонанс қубылысы жүзеге келгенде сестің интенсивлиги максималлық мәніске ийе болады хәм усы халда поршен тоқтатылады. Сәйкес келиўши  $L_1$  қаўа бағанасының узынлығы өлшенеди.

3. Най мөлдир болмаған жағдайда поршеннің қандай орында турғанлығын көриў мүмкиншилиги болмайды. Сонлықтан қаўа бағанасының узынлығын өлшеў ушын 3-сүүретте көринип турғанындай цилиндрлик найдың жабық ушынан  $D$  тутқаға шекемги қашықлық хәм оны  $L_1$  арқалы белгилейди.

4.  $L_2$  шамасын да, яғный сес екінши рет күшейетуғын ноқаттан найдың ашық ушына шекемги қаўа бағанасының узынлығын 2-, 3-пунктлерде айтылған тәртипте анықлайды.

5. Сестің дереги болған камертонның меншикли тербеліс жийилиги оның бетінде жазылған болады. Енди меншикли тербеліс жийилиги  $v_2 = 740$  Гц болған екінші камертонды алып 1-5 пунктлерде айтып өтилген тәжірийбелер және де тәкірарланады.

6. (8)- хәм (9)- формулалар жәрдемінде сестің  $t^{\circ}\text{C}$  хәм  $0^{\circ}\text{C}$  температуралардағы тезликлери есапланады.

7. Тәжірийбе ең кемінде 5 рет тәкірарланады. Өлшеу хәм есаплау нәтийжелери 2-кестеге жазылады.

2-кесте

№	$v_n,$ $\text{с}^{-1}$	$L_1,$ м	$L_2,$ м	$v_t,$ м/с	$\Delta v_t,$ м/с	$\frac{\Delta v_t}{v_t}$ $\cdot 100\%$
1						
2						
3						
4						
5						
Орт						

### Сораўлар

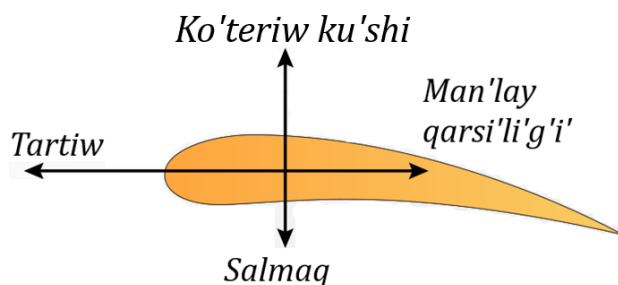
1. Сестің тезлиги менен температура арасында қандай байланыс бар?
2. Сестің "интенсивлиги" деп айтқанда нени түсиниу керек хәм сестің интенсивлиги нелерден ғәрезли?
3. Пайдаланылған дүзилестеги цилиндрдің ишиндеги "ярым толқынның жоғалыуы" қубылысын қалай түсиндириу керек?
4. Қандай сес тербеліслерин тийкарғы тон, ал қандай сес тербеліслерин гармоникалық абертонлар деп атайды?
5. Толқынлардың интерференциясы ушын қандай шәртлердің орынланыуы керек?
6. Қандай толқынларды бойлық, ал қандай толқынларды көлденең толқынлар деп атайды?
7. Лабораториялық жумыста қандай толқынлар менен ислестиңиз: бойлық толқынлар менен бе, көлденең толқынлар менен бе, тегис толқынлар менен бе ямаса сфералық толқынлар менен бе?

## 16- санлы лабораториялық жұмыс Аэродинамика нызамларын үйрениу

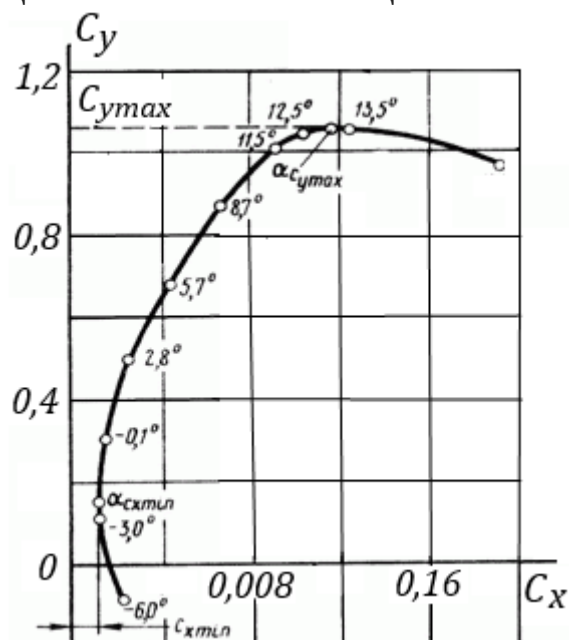
**Жұмыстың мақсети** сүйір формалы денелердің полярасын алыудан ибарат.

**Поляра** деп хәр қыйлы хұжим мүйешлеріндеги көтериу күши коэффициентиниң маңлай қарсылығынан ғәрезлигин сәулендиретуғын диаграммаға айтамыз. Иймекликтің хәр бир ноқаты хұжим мүйешиниң белгили бир шамасына сәйкес келеди (4-сүйрет). Мүйештиң шамасы графикте параметр түрінде белгиленеди.

Физикалық мәниси бойынша жоқарыда айтылған ғәрезликти поляр координаталар системасында үйренген қолайлы. Бундай жағдайда радиаллық координата аэродинамикалық объектке тәсир ететуғын толық аэродинамикалық күшке туұры пропорционал, ал поляр мүйешиниң тангенци аэродинамикалық сапа  $K$  шамасына тең.



1-сүйрет. Самолеттың қанатына тәсир ететуғын күшлер.



2-сүйрет. Самолеттың қанаты ушын дүзилген поляра.

**Жұмыстың теориялық тийкарлары.** Дене хаўада қозғалғанда оған аэродинамикалық күш деп аталатуғын күш тәсир етеди. Бундай күштиң қозғалыс бағытына перпендикуляр хәм вертикал бағытта бағытланған қураушысын (оны  $F_y$  арқалы белгилеймиз) **көтериу күши** деп атайды. Маңлай қарсылығы ( $F_x$  арқалы белгиленеди, 1-сүйретте көрсетилген) тийкарынан денениң хаўадағы қозғалыс тезлигине байланыслы болады. Маңлай қарсылығы күшиниң шамасын Ньютонның екінши нызамын пайдаланып анықлау мүмкин:

$$F_x \Delta t = m \Delta v \quad (1)$$

ямаса

$$F_x = m \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2)$$

Бул аңлатпаларда  $m = \rho S v$  арқалы денениң бети арқалы ағып өтип атырған қаўаның массасы белгиленген.

Биз қаўа қозғалмайды, ал дене қозғалмай турған қаўада базы бир  $v$  тезлиги менен қозғалады деп есаплайық. Бундай жағдайда денеге келип урылатуғын қаўаның молекулаларының тезлиги  $v$  шамасынан 0 ге шекем өзгереді. Сонлықтан  $\Delta t = 1$  секунд шамасына тең ўақыт ушын  $\Delta v = v$  теңлигин аламыз хәм усыған сәйкес маңлай қарсылығы сан мәниси бойынша қозғалыс муғдарының өсимине тең болады. Усының салдарынан

$$F_x = m \Delta v = \rho S v^2 \quad (3)$$

ямаса

$$F_x = C_x \frac{\rho v^2}{2} S \quad (4)$$

аңлатпаларына ийе боламыз.

Бул аңлатпаларда  $\rho$  арқалы қаўаның тығызлығы,  $v$  арқалы денениң қаўадағы тезлиги,  $S$  арқалы қозғалыс бағытына перпендикуляр қойылған беттеги денениң проекциясының майданы белгиленген.  $C_x$  коэффициентин маңлай қарсылығы коэффициентин деп атайды. Оның мәниси қозғалыўшы денелердиң формаларынан фәрезли хәм Рейнольдс санының функциясы болып табылады:

$$C_x = F(\text{Re}). \quad (5)$$

Бул аңлатпада  $\text{Re}$  арқалы Рейнольдс саны белгиленген.

(4)-формула Рейнольдс санының шамасы критикалық мәнисинен үлкен болған жағдайларда ғана дурыс нәтийже береді.

Рейнольдс саны (англиялы илимпаз О.Рейнольдстың аты менен аталады, инглиз тилинде O.Reynolds түринде жазылады) жабысқақ газлер менен суйықлықлардың ағысларының критерийлериниң уқсаслығы (подобия критериев) болып, инерция күшлери менен жабысқақлық күшлери арасындағы қатнасты тәрийиплейди. Оның сан мәниси  $\text{Re} = \frac{\rho v l}{\mu}$  шамасына тең болып ( $\rho$  арқалы тығызлық,  $v$  арқалы ағыс ушын характерли тезлик,  $\mu$  арқалы газдиң ямаса суйықлықтың динамикалық жабысқақлық коэффициентин,  $l$  арқалы характерли сызықлы өлшем белгиленген. Егер узын най ишиндеги ағысты қарайтуғын болсақ, онда  $l = d$  ( $d$  арқалы найдың диаметри белгиленген), ал  $v = v_{ort}$  теңлиги орынланатуғын болса (бул аңлатпада  $v_{ort}$  арқалы найдың кесе-кесими бойынша орташа тезлик белгиленген), онда денелердиң этирапы арқалы газ ямаса суйықлық өтетуғын болса  $l$  шамасы денениң узынлығы ямаса кесе-кесимниң өлшеми, ал  $v = v_{\infty}$  шамасы денеге келип тийетуғын еле денениң тәсири тиймеген ағыстың тезлиги болып табылады.

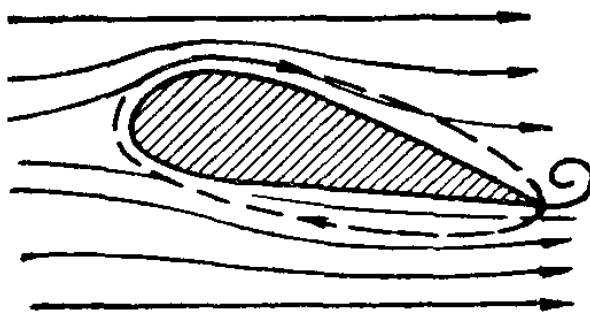


Жоқарыда айтылғанлар менен бир қатарда Рейнольдс саны жабысқақ газдың (ямаса сұйықтықтың) ағысының характеристикаларының бири болып та табылады. Ағыстың хәр бир түри үшін Рейнольдс санының сондай бир критикалық  $Re_{krit}$  мәниси болып,  $Re < Re_{krit}$  шәрти орнланғанда тек ламинар, ал  $Re > Re_{krit}$  шәрти орнланғанда тек турбулентлик ағыс орын алады. Мысалы дөңгелек цилиндр тәризли най арқалы қысылмайтуғын жабысқақ сұйықтықтың ағысы үшін  $Re_{krit} = 2300$ .

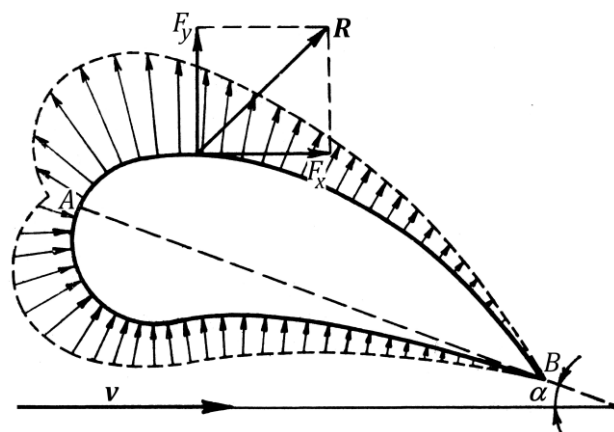
Рейнольдс санының мәниси  $S\rho v^2$  инерция күшлериниң денениң бетине тәсир етиўши  $\eta S \frac{v}{d}$  жабысқақлық күшлериниң қатнасына тең өлшем бирлиги жоқ шама болып табылады:

$$Re = \frac{S\rho v^2}{\eta S \frac{v}{d}} = \frac{\rho d v}{\eta} = \frac{d v}{\nu} \quad (6)$$

Бул аңлатпада  $\eta$  арқалы ҳаўаның динамикалық жабысқақлық коэффициенти,  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$  арқалы ҳаўаның кинематикалық жабысқақлық коэффициенти белгиленген.



3-сүүрет.



4-сүүрет.

Көтериў күши  $F_y$  денениң үстиндеги ҳаўа ағысының тезлигиниң денениң астындағы ҳаўа ағысының тезлигинен үлкен болыўының себебинен жүзеге келеди. Ҳақыйқатында да Бернулли теңлемеси бойынша тезлик үлкен орынларда басым киши болады хәм усыған сәйкес дениң астындағы ҳаўаның басымы менен денениң үстиндеги ҳаўаның басымы бирдей болмай қалады.

Сұйықлардағы көтериў күшиниң денениң этирапындағы сұйықтықтың циркуляциялық қозғалысының нәтийжесинде пайда болатуғынлығын көрсетиў аңсат.

Көтериў күшиниң қатаң түрдеги избе-изликтеги математикалық теориясы уллы рус механиги Н.Е.Жуковский тәрепинен исленип шығылды. Ол қанаттың қасындағы ағысты идеаллық сұйықтықтың бир ұақытта жүзеге келетуғын еки ағысы сыпатында қараўға болатуғынлығын көрсетти: биринши ағыс үзликсиз тоқ сызықларына ийе, екинши ағыс қанаттың дөгерегиндеги циркуляциялық ағыс болып

табылады (3-сүуретте самолеттың қанатының көтеріу күшиниң пайда болыуын түсіндиретуғын теориялық схема келтирилген). Бундай жағдайда суйықтың бөлекшелери деформацияланады, бирақ айланбайды. Демек бөлекшелердиң қозғалысы потенциаллық шәртин қанаатландырады деген сөз. Потенциаллық қозғалыста айрықша физикалық шама болған денени қоршап алатуғын қөлеген туйық геометриялық контур бойынша тезликтiң циркуляциясы пайда болады хәм ең әхмийетлиси соннан ибарат, бул циркуляцияның мәниси турақлы шама болады.

Тезликтiң циркуляциясы деп

$$\oint (v ds) = \Gamma \quad (7)$$

шамасына айтады. Интеграллаудың туйық контур бойынша алынатуғынлығы көринип тур. Тезликтiң циркуляциясы скаляр шама болып оның сан шамасы туйық контур бойынша суйықтың ямаса газдиң сарыпланыуының муғдарына тең.

Көтеріу күшиниң пайда болыуы қанаттың үсти менен астындағы басымлар айырмасының пайда болыуы менен байланыслы болғанлықтан тек  $\Gamma \neq 0$  шәрти орынланғанда ғана көтеріу күши пайда болады. Усындай қатаң түрдеги көз-қарасларда турып қанаттың (денениң) көтеріу күшиниң мәнисин есаплау әдеуир қурамалы болған математикалық процедуралардың бири болып табылады. Сонлықтан биз Бернулли теңлемеси менен байланыслы болған таллаулар менен шекленемиз.

Мейли хұжим мүйеши  $\alpha$  нолге тең болған денениң (хұжим мүйеши  $\alpha$  ның шамасы 4-сүуретте көрсетилген) бетиниң қасындағы  $v_c$  шамасы турақлы болсын. Бундай жағдайда денениң үстиндеги ағыстың тезлиги  $v + v_c$ , ал астындағы ағыстың тезлиги  $v - v_c$  шамаларына тең болады. Бундай жағдайда белгили болған

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2$$

формуласынан пайдаланып

$$p_1 + \frac{\rho}{2}(v + v_c)^2 = p_2 + \frac{\rho}{2}(v - v_c)^2 \quad (8)$$

теңлигин аламыз. Бул теңликте  $p_1$  хәм  $p_2$  арқалы денениң үстиндеги хәм астындағы басымлар белгиленген.

(8)-теңлемеден басымлар айырмасы ушын

$$p_1 - p_2 = 2\rho v v_c \quad (9)$$

аңлатпасын аламыз. Егер денениң үстинги бетиниң майданын  $S_1$ , ал төменги бетиниң майданын  $S_2$  арқалы белгилесек, соның менен бирге  $S_1 = S_2 = S$  белгилеуин қабыл етсек, онда көтеріу күши ушын

$$F_y = (p_1 - p_2)S = 2\rho v v_c S \quad (10)$$

формуласына ийе боламыз. Егер  $S = \frac{1}{4} dl$  теңлигиниң орынланатуғынлығын итибарға алсақ, онда көтеріу күши ушын

$$F_y = \frac{1}{2} \rho v v_c dl \quad (11)$$

теңлигин аламыз. Егер  $v = v_c$  теңлиги орынланады деп есапласақ, онда формула әпиұайыласады хәм ең ақырында көтеріу күши ушын

$$F_y = C_y \frac{\rho v^2}{2} S \quad (12)$$

аңлатпасына ийе боламыз. Бул аңлатпадағы  $C_y$  шамасы көтеріу күши коэффициентини деп аталады. Оның мәнисини денениң формасына хәм ҳаўа ағымына салыстырғанда қалай жайласқанлығына байланысly.

Әмелде көтеріу күши менен маңлай қарсылығы күшлерине салыстырғанда усы күшлерди анықлау ушын зәрүрли болған  $C_x$  пенен  $C_y$  коэффициентлеринен көбирек пайдаланады. Бул коэффициентлердиң мәнисини хұжим мүйеши деп аталатуғын хәм  $\alpha$  арқалы белгиленген мүйешке байланысly болады (4-сүүретке қараңыз). Бул коэффициентлердиң мәнислери Жуковский менен Чаплыгинлер тәрәпинен теориялық жоллар менен алынған (4)-хәм (12)-формулардың жәрдемінде есапланылады. Ал тәжирийбелерде болса бул шамалардың мәнислери поляра деп аталатуғын диаграммадан анықланады (2-сүүрет). Поляраны табыу ушын абсцисса көшерине  $C_x$  шамасын, ал ордината көшерине  $C_y$  коэффициентиниң мәнисин қояды. Ал

$$\varepsilon = \frac{C_x}{C_y}$$

қатнасын характерлеуши шаманы қанаттың сапасы деп атайды.

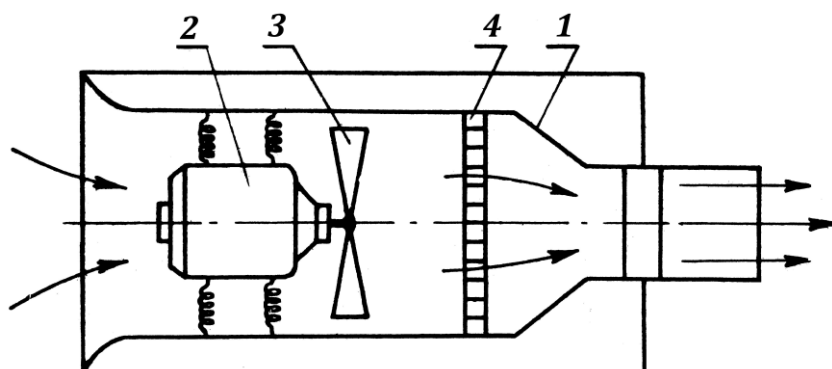
Көтеріу күшиниң маңлай қарсылығына қатнасы болған  $\frac{F_x}{F_y}$  шамасының ең үлкен мәнисине сәйкес келиуши мүйешти ең қолай болған атака мүйеши деп атайды. Бул мүйештиң мәнисин анықлау ушын поляра сызығына координата басынан өтетуғын урынба жүргизиледи.

**Керекли әсбаплар хәм материаллар:** 1) аэродинамикалық труба (5-сүүрет), 2) аэродинамикалық тәрәзи, 3) Пито трубкасы, 4) микрометр, 5) изертленетуғын денелер жыйнағы, 6) ЛАТР, 7) резина түтикше, 8) жалғаушы сымлар, 9) штангенциркуль, 10) подставка, 11) масштаблы сызғыш, 12) вольтметр.

**Әсбаптың дүзилиси.** Лабораториялық жумысты орынлау ушын аэродинамикалық труба (5-сүүрет), Пито трубкасы (6-сүүрет), аэродинамикалық тәрәзи (7-сүүрет) хәм оған бекитилген изертлениуши (D) дене ден ибарат дүзилистен пайдаланады.

Ғаўа ағысын пайда ететуғын аэродинамикалық трубаның ғаўа шығатуғын бир тәрәпиниң диаметри киши рек болған цилиндрлик трубадан ибарат болады (5-сүүрет). Трубаның ишинде (2)

электродвигатель жайластырылған болып, оның көшерине (3) вентилятор бекитілген. Трубадан шығып атырған қауаның тезлигинің бир текли болыуы ушын арнаулы пәнжере (4) қойылған.

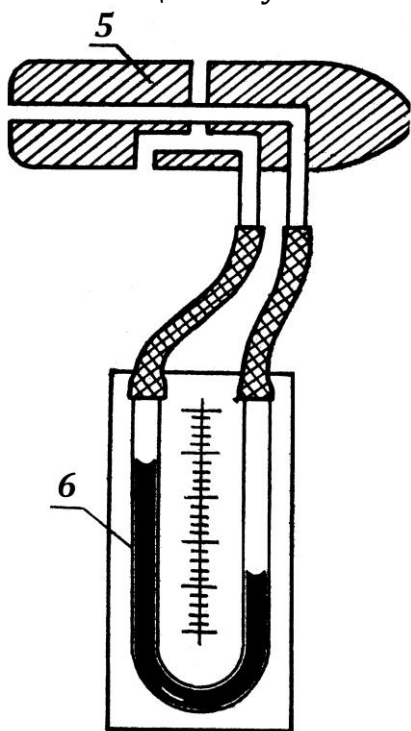


5-сұйрет.  
Аэродинамикалық  
труба.

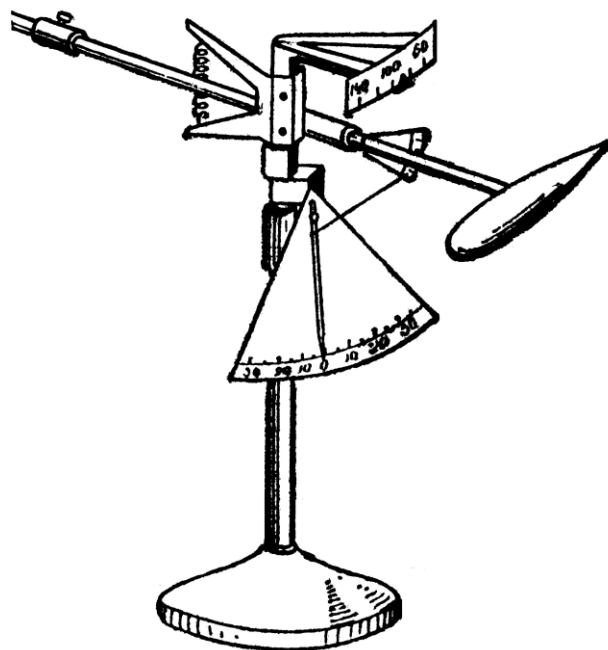
Аэродинамикалық трубадан шығып атырған қауаның тезлигин өлшеу үшін 6-сұйретте көрсетілген Пито трубкасы пайдаланылады. Оған (6) арқалы көрсетілген микроманометр бириктирилген. Пито трубкасы қауаның жолына горизонт бағытында қойылған микроманометр аэродинамикалық трубадан шығып атырған қауа ағысының басымын өлшейди. Бул басымның мәніси бойынша қауа ағысының тезлиги

$$v = \sqrt{\frac{2\rho_0 g p}{\rho}} \quad (13)$$

анықланады. Бул аңлатпада  $\rho_0$  арқалы манометрдеги суйықлықтың тығызлығы,  $p$  арқалы манометрдеги суйықлықтың қәддилери айырмасы бойынша анықланатуғын басым белгиленген.



6-сұйрет.



7-сұйрет.

## Жұмыстың орынланыу тәртіби

1. Лабораториялық дүзиліс жұмысты орынлау үшін таярланады. Аэродинамикалық труба пайда ететұғын қауа ағысына Пито трубкасы горизонт бағытында жайластырылады. Микроманометрдің хәм аэродинамикалық тәрезинің стрелкалары нолге алып келинеди. Тәжірийбелер самолет қанатының модели хәм сүйір формаға ийе денелер үшін орынланады.

2. Аэродинамикалық труба ишіндеги двигатель ЛАТРдың жәрдемінде 220 вольтлик өзгермели тоқ дерегине жалғанады.

3. ЛАТРдан вентилятордың белгили бир тезликтеги қауа ағысын беретұғындай шамадағы кернеу бериледи.

4. Алынған қауа ағысы үшін микроманометрдің көрсетиуі, көтеріу күшинің мәніси, маңлай қарсылығының шамасы хәм хұжим мүйешинің мәніслери жазып алынады.

5. Моторға түсетұғын кернеудің мәнісин хәр сапары 20 вольт шамаға жоқарылатып барыу менен 220 вольтке шекем жеткенше 4-пунктте көрсетилген тәжірийбелер қайталанады.

6. Кернеудің хәр бир мәніси үшін хұжим мүйешинің мәнісин шкала бойынша 5 градусқа өзгертип 4-пунктте айтылып өтилген өлшеулер тәкірарланады.

7. (2)-, (5)-, (6)- хәм (13)-формулардан пайдаланып  $v$ ,  $Re$ ,  $C_x$  хәм  $C_y$  шамаларының мәніслери есапланады.

8. Өлшеу хәм есаплау жұмысларының нәтийжелери 1-кестеге жазылады хәм алынған кесте тийкарында миллиметрли қағазда  $Re = f(v)$ ,  $C_x = f(Re)$ ,  $C_y = f(\alpha)$ ,  $C_y = f(C_x)$  ғәрезликлеринің графиклери сызылады.  $\rho$  менен  $\rho_0$  шамаларының мәніслери кестелерден алынады.

1- кесте

№	$p$ , Pa	$v$ , m/s	$S$ , m <sup>2</sup>	$\alpha$ , град	Re	$F_x$ , H	$F_y$ , H	$C_x$	$C_y$
1									
2									
3									
4									
5									
Орт.									

## Қадағалау үшін сораулар

1. Бернулли теңлемесинің физикалық мәніси нелерден ибарат?
2. Аэродинамиканың рауажланыуында уллы рус механиги Н.Е.Жуковскийдің мийнети нелерден ибарат?

3. Маңдай қарсылығы дегенимиз не ҳәм самолет қанатының көтериў күши қандай пайда болады?
4. Поляра дегенимиз не?
5. Хўжим мўйеши деп қандай мўйешке айтамыз?
6. Рейнольдас санының физикалық мәниси неден ибарат? Қандай жағдайларда ламинарлық ағыс турбулентлик ағысқа айланады. Потенциаллық ағыс деп қандай ағысқа айтылады?
7.  $C_x$  ҳәм  $C_y$  шамаларының физикалық мәнислери нелерден ибарат?
8. Лабораториялық жумысты орынлаўдың барысында қандай физикалық кубылысларды үйрендиңиз?

## Әдебиятлар

1. Д.В.Сивухин. Общий курс физики. Учебное пособие: для вузов. В 5 т. Т. I. Механика. 4-е изд. стереот. – М. ФИЗМАТЛИТ; Издательство МФТИ. 2005. 560 с.
2. А.Н.Матвеев. Механика и теория относительности. Учебник для студентов высших учебных заведений. 3-е издание. М. "ОНИКС 21 век", "Мир и образование". 2003. 432 с.
3. С.П.Стрелков. Механика. Издание третье, переработанное. М. Издательство "Наука". 1975. 560 с.
4. Общая физика. Руководство к лабораторному практикуму. Учебное пособие. Под редакцией И.Б.Крынецкого, Б.А.Струкова. М. Издательство "ИНФРА-М". 2008. 599 с.
5. Физический практикум. Механика и молекулярная физика. Под редакцией проф. В.И.Ивероновой. М. Издательство "Наука". 1967. 352 с.
6. Лабораторные работы по механике МГУ.  
<http://genphys.phys.msu.ru/rus/lab/mech/1024x768.htm>
7. Э.Н.Назирова, З.А.Худойбергенова, Н.Х.Сафиуллина. Механика ва молекуляр физикадан амалий машғулотлар. "Ўзбекистон" нашриёти. Т. 2001. 286 б.
8. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под редакцией Л.Л.Гольдина. М. Издательство "Наука". 1973. 687 с.