

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Ш.ЕСЕНОВ АТЫНДАҒЫ КАСПИЙ МЕМЛЕКЕТТІК ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖӘНЕ
ИНЖИНИРИНГ УНИВЕРСИТЕТІ

Ә.Б.Түркменбаев

М Е Х А Н И К А

лабораториялық практикум

Ақтау, 2010

ӘОЖ 53 (075.8)

Т 90

Пікір жазғандар:

1. т.ғ.д., академик Ғ.У.Уалиев – Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті
2. п.ғ.д., профессор Ғ.И.Имашев – Х.Досмұхамедов атындағы Атырау мемлекеттік университеті

Т 90 Түркменбаев Ә.Б.

Механика лабораториялық практикум: оқу құралы. – Ақтау, 2010. – 99 бет.

ISBN 9965-728-13-9

Ұсынып отырған оқу құралында жалпы физика курсының механика бөліміне арналған лабораториялық жұмыстар қамтылып, студенттердің тәжірибе жасауына, оның мәнін түсінуіне, механика заңдарын іс жүзінде қолдана білуіне көмектесу мақсаты көзделген.

ӘОЖ 53 (075.8)

Баспаға Ш.Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжиниринг университетінің Ғылыми Кеңесі ұсынған.

ISBN 9965-728-13-9

© Ш.Есенов атындағы КМТЖИУ, 2010

© Түркменбаев Ә.Б., 2010

Лабораториялық жұмыс №1. Ілгерілемелі қозғалыстың кинематика мен динамика заңдарын Атвуд машинасында зерттеу

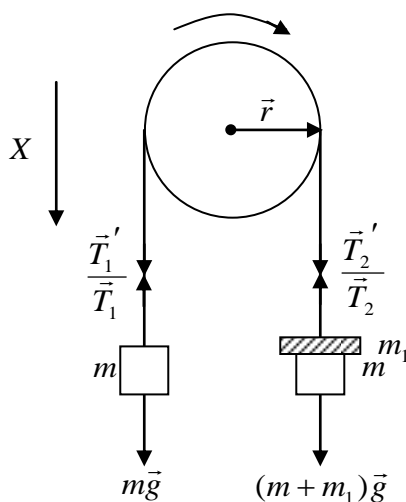
Жұмыстың мақсаты: ауырлық күші өрісіндегі дененің бірқалыпты, бір қалыпты үдемелі қозғалысын зерттеу және Ньютонның екінші заңын тексеру.

Керекті құрал-жабдықтар: Атвуд машинасы, электромагнит, секундөлшегіш, жүктер жиынтығы.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Денелердің еркін түсу үдеуінің шамасы үлкен болғандықтан, Жердің тартылыс өрісіндегі денелердің қозғалыс заңдарын тікелей зерттеу едәуір қиындыққа түседі. Ондай тәжірибені жүргізу үшін, приборды тым жоғары, бөлме биіктігінен әлдеқайда биікке орнату керек немесе аз уақыт аралығын өлшейтін арнаулы әдісті пайдалану керек. Атвуд машинасының көмегімен қозғалысты өлшеуге ыңғайлы жылдамдыққа дейін баяулатып, жоғарыда айтылған қиындықтан құтылуға болады.

Жеңіл блоктан (1.1-сурет) асыра тасталған салмақсыз әрі созылмайтын жіпке ілінген жүктердің қозғалысын қарастырайық.



1.1-сурет.

Жүктердің массалары (m) бірдей болсын. Бір жағына массасы m_1 қосымша жүк салайық. Ілгерілемелі және айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі теңдеулерін пайдаланамыз. Ол үшін жүктерге және блокқа әсер ететін күштерді қарастырайық. Сол жақтағы жүкке екі күш әсер етеді: ауырлық күші (mg) және жіптің керілу күші (серпімділік күші $-T_1$). Бұл күштерді төмен қарай вертикаль бағытталған X -өсіне проекциялап, ілгерілемелі қозғалыстың теңдеуін жазамыз:

$$-T_1 + mg = -ma. \quad (1.1)$$

Сол сияқты оң жақтағы жүк үшін де қозғалыс теңдеуін былай жазамыз:

$$(m + m_1) g - T_2 = (m + m_1) a. \quad (1.2)$$

Сурет жазықтығына перпендикуляр өске қатысты екі күш моментінің ($T_1' \cdot r$ және $T_2' \cdot r$) әсерінен блок $\varepsilon = \frac{a}{r}$ бұрыштық үдеу алады. Айнымалы қозғалыс динамикасының негізгі теңдеуі бойынша:

$$T_2' \cdot r - T_1' \cdot r = I \cdot \varepsilon. \quad (1.3)$$

мұндағы $I = \frac{M r^2}{2}$ - блоктың өсіне қатысты инерция моменті; r, M - блоктың радиусы мен массасы. Ньютонның екінші заңы бойынша күштердің модульдерін былай жазуға болады: $T_1' = T_1$ және $T_2' = T_2$. Бұларды 1.3-теңдеуге қойып, мынаны табамыз:

$$T_2 - T_1 = \frac{I \cdot a}{r^2} = \frac{M \cdot a}{2}. \quad (1.4)$$

(1.1), (1.2), (1.4) теңдеулерін біріктіріп шешіп, a -ның мәнін табамыз:

$$a = \frac{m_1 g}{(2m + m_1 + 0,5M)}. \quad (1.5)$$

(1.5) теңдеуден қосымша жүктің массасы (m_1) өзгермегенде үдеудің де тұрақты шама болатынын байқаймыз. Сөйтіп, жүктер бірқалыпты үдемелі қозғалады. Сонымен қатар қосымша жүктің массасы аз болғанда, a үдеу g -ден әлдеқайда кіші болады. Бірақ үдеуді (1.5)-формуламен тікелей табудың қарапайым тәсілі жоқ. Сондықтан қозғалыстың бірқалыпты үдемелі сипатын пайдаланамыз. Бастапқы жылдамдығы нөлге тең бірқалыпты үдемелі қозғалыстың жолы мынаған тең:

$$S = \frac{a \cdot t^2}{2}. \quad (1.6)$$

Егер сол жақтағы жүкке қосымша жүк ($m_2 < m_1$) салсақ, онда динамиканың негізгі теңдеуі мен (1.6)-формулананы пайдаланып, мынадай теңдік аламыз:

$$F_1 = g(m_1 + m_2) = \left(\frac{2m + m_1 + m_2 + M}{2} \right) \cdot \frac{2S}{t_1^2}. \quad (1.7)$$

Егер m_2 мен m_1 -ді оң жақтағы жүкке салсақ, онда мынадай теңдік жазамыз:

$$F_2 = g(m_1 + m_2) = \left(\frac{2m + m_1 + m_2 + M}{2} \right) \cdot \frac{2S}{t_2^2}. \quad (1.8)$$

Бұл жағдайда қозғалатын жүйенің массасы өзгермейді де, оған әсер ететін күштің шамасы өзгереді:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= (m_1 - m_2)g \\ F_2 &= (m_1 + m_2)g \end{aligned} \right\}. \quad (1.9)$$

Егер (1.8) теңдеуді (1.7) теңдеуге бөліп әрі (1.9) формуланы ескерсек, онда тұрақты S үшін мынадай қатынасты жазуға болады:

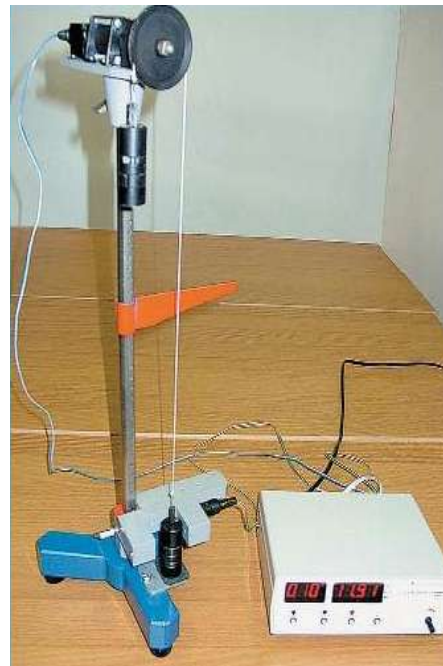
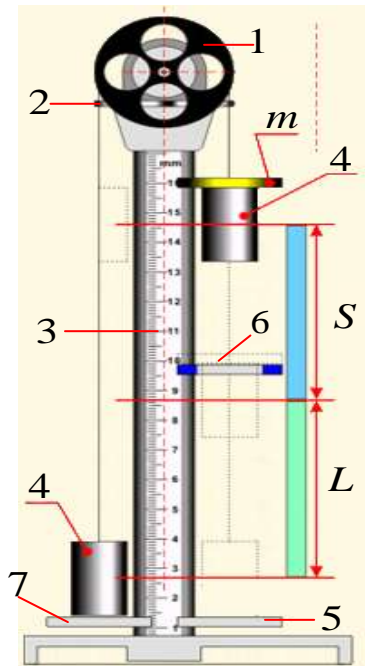
$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} = \frac{t_2^2}{t_1^2} = \frac{a_1}{a_2}. \quad (1.10)$$

(1.10) формуланың көмегімен Ньютонның екінші заңын тексеруге болады.

Қондырғының конструкциялық сипаттамасы

Атвуд машинасы (1.2-сурет) шкалаға бөлінген, вертикаль орнатылған (3) тақтайшадан тұрады. Шкаланың жоғарғы ұшына үйкелісі аз, жеңіл (1) блок орнатылған. Блокқа асылған жіңішке жіпке массалары бірдей (4) гирлер ілінген. Гирлердің (4) массасын қосымша (2-4 граммдай) жүктер қосып арттыруға болады. Шкаланың тақтайшасына жүктерді қозғауға және тоқтатуға арналған электромагниттік (2) тетік орнатылады. Екі жүктен құралған системамен тәжірибе жүргізгенде, жүктерді жалғастыратын жіп электромагниттің якоры мен өзекшесінің арасына орнатылады. Ток жүргенде электромагниттің якоры өзекшеге тартылады да, арасындағы жіпті қысып тұрады. Якордың өзекшеге тартылу күшін реттеу мақсатымен электромагниттік тетік реттеуші винтпен қамтамасыз етілген. Шкала тақтайшасының төменгі жағына жүкті қабылдаушы (5) орындық бекітілген. Орындық электр тізбегін ажыратуға арналған. Жүк орындыққа келіп түскен кезде электрондық секундомер тоқтайды.

Егер (4) массасы m жүктердің біреуіне массасы m_1 қосымша жүк қоссақ, система бірқалыпты үдемелі қозғала бастайды. Сонда әрбір жүкке екі күш әсер етеді - ауырлық күші және жіптің керілу күші. Осы күштердің әсерінен жүктер қозғала бастайды (жіп жіңішке, салмағы жоқтың қасында, ал үйкеліс күші аз - ескерілмейді). Жіп созылмайды деп ұйғарсақ, сол және оң жақтағы жүктердің қозғалыс үдеуі шама жағынан тең, таңбасы карама-қарсы болады. Бұл айтылғанға қоса, блок салмақсыз десек, сол және оң жақтағы жіптің керілуі бірдей болады.



1.2-сурет.

Егер қозғалыс кезінде m_1 жүкті алып тастасақ, онда система әрі қарай осы моменттегі жылдамдыққа тең тұрақты жылдамдықпен қозғала береді. Шкала тақтайшасының бойында екі платформа бар: жүкті қабылдаушы орындық және қозғалмалы сақина. Екі платформаны да қысқыш винттер арқылы шкаланың қалаған жеріне бекітуге болады. Уақыт аралығын өлшеу секундомер бойынша жүргізіледі.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

Жұмысты орындау үшін қосымша жүктердің нөмірлерін жазып алып, олардың массасын таразыға тартып анықтау керек.

Бірқалыпты қозғалысты зерттеу

Сақина қосымша жүктерді алып қалғаннан кейін, жүк бірқалыпты ($F = 0$, $a = 0$) қозғалады, яғни $V = const$ болады. Сондықтан мынадай шарттар орындалады:

$$\frac{S_1}{t_1} = \frac{S_2}{t_2} = \dots = \frac{S_i}{t_i} = V = const \quad (1.11)$$

Бірқалыпты қозғалысты зерттеу үшін:

1. Сақинаны штангінің жоғары ұшынан 30-40 см төменірек бекітіңіздер. Ал төменгі таянышты (n) штангінің жоғары ұшына бекітіңіздер.

2. Оң жақтағы жүкке (C_2) қосымша жүк салыңыздар. Электр секундөлшегіш панеліне бекітілген “10-4 раб.” тумбілерін “4 раб.” қалпына ауыстырып, электромагнит тізбегіндегі токты тұйықтаңыздар. Осы кезде

жүйенің сол жақтағы жүгі төменірек орналасуы керек. Ал бүкіл жүйені электромагнит ұстап тұрады.

3. Электромагнитті ажыратып, қосымша жүкті сақина ұстап қалғаннан кейін, секундөлшегіш іске қосылады. Оң жақтағы жүк таянышқа тигенде, секундөлшегіш тоқтайды. Жүрілген жол (S) оң жақтағы жүктің жоғары бетінен бастап, қосымша жүкті сақина ұстап қалғанға дейінгі қашықтыққа тең болады.

4. Сақинаның орны өзгертілмей, таяныш (П) төмен түсіріледі. S -тың 3-5 мәндері үшін өлшеулерді қайталаңыздар. Өлшеу нәтижелерін 1.1-кестеге толтырыңыздар.

1.1-кесте.

№	m_1				
	$S_1 =$	$S_2 =$	$S_3 =$	$S_4 =$	$S_5 =$
	t_1, C	t_2, C	t_3, C	t_4, C	t_5, C
1					
2					
3					
Орташа мәні					

Бірқалыпты үдемелі қозғалысты зерттеу

$V = a \cdot t$ теңдеуімен өрнектелетін жылдамдық заңы тексеріледі. Егер оң жақ үстіне қосымша жүк салынған жүктің жолына сақина қойылса, онда қосымша жүк қалып қойғаннан кейінгі жүктің қозғалысы бірқалыпты қозғалыс болады. Жүктің сақинадан алынған мезеттегі үдеуін жазуға болады. Жүктің осы мезеттегі жылдамдығы мен қозғалыс басталған мезеттен бастап, сақина алып қалғанға дейінгі уақытты (t') білу керек: $a = \frac{V}{t'}$. Бірқалыпты қозғалыстың лездік жылдамдығы (V), жолдың (S_1) уақытқа қатынасы (t_1) бойынша анықталады. Осы шамаларды орнына қойып, үдеуді табамыз:

$$a = \frac{V}{t'} = \frac{S}{(t' \cdot t_1)} \quad (1.12)$$

1. “10-4 раб.” тумбілерін “4 раб.” қалпына ауыстырып, C жүкті бастапқы қалпында ұстап тұратын электромагнит іске қосыңыздар.

2. Сақинаны штангінің жоғары ұшынан белгілі бір қашықтыққа бекітіңіздер де, оның төменгі жағынан S_1 қашықтыққа таянышты (П) орналастырыңыздар.

3. Бірінші жаттығудағыдай жылдамдықты табыңыздар:

$$V_1 = \frac{S_1}{t_1}.$$

4. t_1 уақытты өлшеу үшін, электромагнитті іске қосқаннан кейін тумблер “II, III упр.” қалпына қойыңыздар. C_2 жүкке қосымша жүк салыңыздар.

5. Алдыңғы 1, 2 тармақтағыдай штангінің жоғары ұшынан төменірек белгілі бір қашықтыққа сақинаның орнына таянышты бекітіңіздер.

6. Электромагнит токтан ажыратылып, онымен бір мезгілде секундөлшегіш іске қосылады. Жүк таянышқа келіп соғылған мезетте секундөлшегіш тізбегі ажыратылады. Оның көрсетуі бойынша t' -ты жазып алыңыздар.

7. Сақина таяныштың орнын өзгертіп, тәжірибені қайталаңыздар да, мына қатынастың $a = \frac{V_1}{t'_1} = \frac{V_2}{t'_2} = \dots = \frac{V_5}{t'_5}$ немесе $a = \frac{S_1}{(t'_1 \cdot t_1)} = \frac{S_2}{(t'_2 \cdot t_2)} = \dots = \frac{S_5}{(t'_5 \cdot t_5)}$ дұрыстығын тексеріңіздер. Өлшеу нәтижелерін 1.2-кестеге толтырыңыздар.

1.2-кесте.

№	m_1									
	$S_1 =$		$S_2 =$		$S_3 =$		$S_4 =$		$S_5 =$	
	t_1, C	t'_1, C	t_2, C	t'_2, C	t_3, C	t'_3, C	t_4, C	t'_4, C	t_5, C	t'_5, C
1										
2										
3										
Орташа мәні										

Жүрілген жолдың заңдылығын $S = \frac{a \cdot t^2}{2}$ тендеуі бойынша тексеру

Бір ғана қосымша жүк үшін таяныштың орнын өзгерте отырып, жүктің қозғалу уақытын анықтап, үдеудің тұрақты екенін дәлелдейміз:

$$a = \frac{2S_1}{t_1^2} = \frac{2S_2}{t_2^2} = \dots = \frac{2S_5}{t_5^2} \quad (1.13)$$

1. C_2 жүкке қосымша жүк салыңыздар. Электромагнит іске қосылып, C_1 жүкті төмен қарай түсіріңіздер.

2. Сақиналы таянышты штангінің ең жоғары ұшына апарыңыздар. Өйткені, бұл жаттығуға оның қажеті жоқ.

3. Таянышты белгілі бір биіктікке орнатыңыздар. Жүктің (C_2) төменгі бетінен таянышқа дейінгі қашықтықты өлшеңіздер.

4. Электромагнит ажыратылып, онымен бір мезгілде секундөлшегіш іске қосылады. Жүк төмен түсіп таянышқа тигенде, секундөлшегіш тоқтатылады. Оның көрсетуін 1.3-кестеге жазыңыздар.

5. Таянышты жылжыта отырып, оның жүктің C_2 төменгі бетінен қашықтығын өзгертіңіз де, тәжірибені 3-5 рет қайталаңыздар. Егер бір ғана қосымша жүкті пайдалансаңдар, онда берілген жүктің (C_2) үдеуі тұрақты болуы тиіс. Өлшеу нәтижелерін төмендегі 1.3-кестеге толтырыңыздар.

1.3-кесте.

№	m_1				
	$S_1 =$	$S_2 =$	$S_3 =$	$S_4 =$	$S_5 =$
	t_1, C	t_2, C	t_3, C	t_4, C	t_5, C
1					
2					
3					
Орташа мәні					

Ньютонның екінші заңын тексеру

Бұл заңды тексеру кезінде қозғалатын жүйенің массасы тұрақты болып, әсер ететін күш өзгеріп отыруы керек. Күшті өзгерту үшін қосымша жүктер (m_1 және m_2) ауыстырылып салынады.

1. Тумблер “II, III упр.” қалпына қойыңыздар. C_1 жүкке массасы m_1 қосымша жүк салыңыз да, оны электромагнитпен ұстатыңыздар. Ал C_2 жүкке массасы $m_2 > m_1$ қосымша жүк салынады.

2. Сақинаны алып тастаныздар (бұл жаттығуда оның қажеті жоқ). Таянышты (II) жүктің (C_2) табанынан белгілі бір S_1 қашықтыққа орнатыңыздар.

3. Электромагнит ажыратылып, онымен бір мезгілде секундөлшегіш іске қосылады. Жүк таянышқа келіп түсіп, секундөлшегіш тізбегін ажыратады. Секундөлшегіштің көрсетуі (t_1) мен ара қашықтық шамасын (S_1) 1.4-кестеге жазыңыздар.

4. Массалары m_1 және m_2 екі қосымша жүктерді бір жүкке (C_2) салып, тәжірибені (2, 3 тармақтар) қайталаңыздар. Тәжірибеде жүйенің қозғалыс уақыты өлшенеді. Масса тұрақты болғандықтан, жолдың әр түрлі мәндері үшін жүйе үдеуінің оған әсер ететін күшке тәуелділігі тексеріледі. Эксперимент кезінде жіберілетін қатені ескерсек, Ньютонның екінші заңы мына түрде жазылады:

$$\frac{m_1 + m_2}{m_2 - m_1} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$$

Өлшеу нәтижелерін 1.4-кестеге толтырыңыздар.

1.4-кесте.

№	$m_1 + m_2 =$				$m_2 - m_1 =$			
	$S_1 =$		$S_2 =$		$S_3 =$		$S_4 =$	
	$m_2 - m_1$	$m_2 + m_1$	$m_2 - m_1$	$m_2 + m_1$	$m_2 - m_1$	$m_2 + m_1$	$m_2 - m_1$	$m_2 + m_1$
	t_1, C	t_2, C	t_1, C	t_2, C	t_1, C	t_2, C	t_1, C	t_2, C
1								
2								
3								
Орташа мәні								

Бақылау сұрақтары:

1. Жүктер бірқалыпты және бірқалыпты үдемелі қозғалған кездегі жіптің керілу күшін есептеңіздер.
2. Атвуд машинасында жүктердің бірқалыпты қозғалысы қалай пайда болады?
3. Атвуд машинасында үдеу қандай тәсілмен өлшенеді?
4. Лездік жылдамдық дегеніміз не?
5. Үдеудің тангенциал құраушысы мен бұрыштық үдеудің арасындағы байланыстың өрнегін жазыңыздар.
6. Күш моментіне, инерция моментіне, сызықтық және бұрыштық үдеуге анықтама беріңіздер.

Лабораториялық жұмыс №2. Еркін құлаған дененің үдеуін анықтау

Жұмыстың мақсаты: еркін құлаған дененің үдеуін анықтауға арналған құралдың көмегімен еркін түсу үдеуін анықтау.

Керекті құрал-жабдықтар: еркін түсу үдеуін анықтауға арналған құрал, жиілігі 50 Гц және кернеуі 36 В айнымалы ток көзі, миллиметрлік бөліктері бар 30-35 см өлшеуіш сызғыш, тіктеуіш, мақта тампондары бар вазелин, мата қиындысы.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Ауырлық күші жерге жақын орналасқан денелердің бәріне әсер етеді. Егер денеге тек ауырлық күші ғана әсер ететін болса, онда ол дене еркін түседі, яғни дене ауасыз кеңістікте тек бір ғана ауырлық күшінің әсерімен қозғалады.

Барлық дене өздерінің массаларына тәуелсіз бірдей үдеумен еркін түседі, яғни бір қалыпты үдемелі қозғалады, өйткені Жер бетіне жақын нүктелерді оларға модулі мен бағыты тұрақты ауырлық күші әсер етеді.

Мысалы, шамамен 1,5-2 м биіктіктен түскен диаметрі 2-3 см болат шарды еркін түседі деп есептейміз. Өйткені, бұл жағдайда еркін түсу үдеуі елеулі өзгеріске ұшырамайды. Ал қоршаған ортаның кедергісін ескермесе де болады. Кішкене шардың қозғалысы бір қалыпты үдемелі қозғалыс болғандықтан, оның түскен уақыттағы (t) биіктігі (h) мына өрнекпен анықталады: $h = \frac{g t^2}{2}$ (2.1).

Мұндағы g - еркін түсу үдеуі (ауырлық күшінің үдеуі).

Бұл жұмыста еркін түсу үдеуін (2.1) формуладан есептейміз:

$$g = \frac{2h}{t^2} \quad (2.2).$$

(2.2) формуласынан еркін түсу үдеуінің түскен дененің массасына байланысты болмайтынын байқаймыз. Бұл заңдылықты бүкіләлемдік тартылыс заңының салдары ретінде де қарастыруға болады:

$$g = \frac{G \cdot M_{\text{жс}}}{R_{\text{жс}}^2}.$$

Дененің еркін түсуі әр түрлі тәсілдермен түрлі эксперименттік құрылғылардың көмегімен зерттелген.

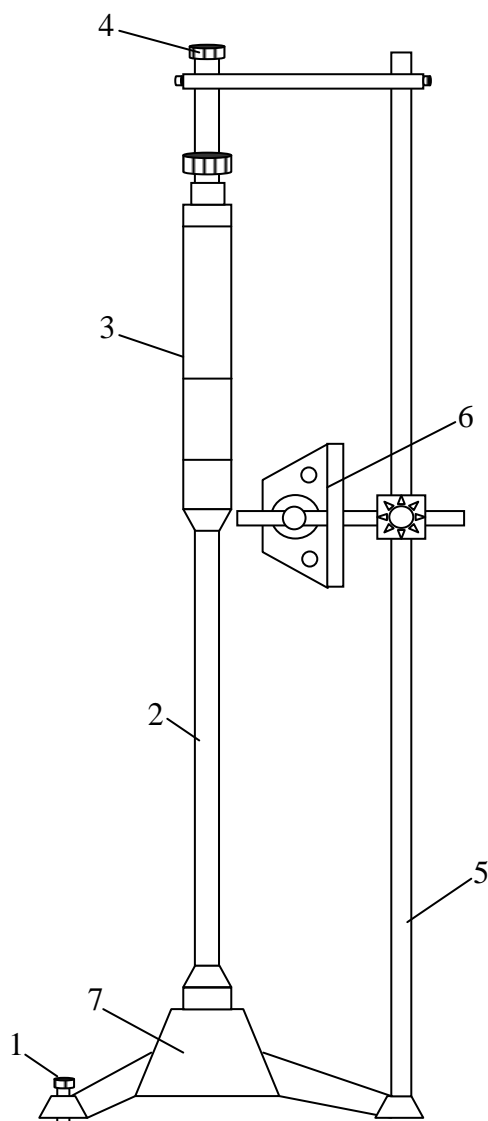
Қондырғының сипаттамасы мен жұмыстың орындалуы

Бұл жұмыста еркін түсетін дене қызметін металл цилиндр атқарады. Оның орын ауыстыруын миллиметрлік бөліктері бар сызғыштың көмегімен өлшейді. Цилиндрдің шағын биіктіктен түсу уақыты аз болады да, оны тікелей өлшеу қиын. Сондықтан цилиндрдің түсу уақытын өлшеу үшін ерекше тәсілдер қолданылады, бұл жұмыста – графиктік әдісті қолданады. Бұл әдістің мәні – түсетін цилиндрдің бетіне жиілігі белгілі вибратор тербелістерін жазып алуда.

Еркін түсу үдеуін анықтауға арналған құрал (2.1-сурет) теңгергіш винті (1) бар ұшаяқтан, металл цилиндр (3) кигізілген түтік тәрізді тіреуіштен (2), кнопкалы түсіру механизмінен (4) және вибраторы (6) бар штангіден (5) тұрады.

Цилиндрді тігінен түтік тәрізді тіреуішке екі пружина сым қапсырмамен ұстатып қояды. Кнопканы басқанда сым құрсаулар тіреуіштің ішіне жиналып, ал цилиндр құрал тіреуішінің төменгі жағына кигізілген резеңке тығынға (7) еркін түседі.

Цилиндрдің бетіне сақина тәрізді үш белгі жасалған, олар цилиндрді ұзындығы 3, 9 және 15 см, яғни 1:3:5 қатынасындай етіп үш бөлікке бөледі. Сонымен, әр бөліктің түсу уақыты бірдей болады.



2.1-сурет.

Вибратор металл қапсырмаға бекітілген өзекшесі бар катушкадан, якоры және ұшында кішкене шары бар капрон жіптен жасалған қауырсыны бар болат пластинкадан тұрады. Қауырсынның бос бөлігінің ұзындығы 5-7 мм-ге тең.

Жұмысты орындауға арналған қондырғы 2.1-суретте көрсетілген. Егер вибраторды тербелмелі қозғалысқа келтіріп, цилиндрдің еркін түсуіне мүмкіндік жасаса, онда тербеліп тұрған қауырсын цилиндрдің бетіне толқын тәрізді сызық – вибратор тербелісінің графигін сызады. Барлық жазылған толық тербелістердің санын санап шығып және оны вибратор тербелісінің жиілігіне бөліп, цилиндрдің түсу уақытын табуға болады. Алайда бірінші кішкентай бөліктегі тербелістердің санын санап шығу қиын. Цилиндрдің әрбір бөлігінің түсу уақыты бірдей болғандықтан, бұл бөліктердегі тербелістердің саны да бірдей болуы керек? Сондықтан цилиндрдің түсу уақытын анықтау үшін былай істейді: екінші және үшінші бөліктердегі тербелістер n санын қосып санайды және $t = \frac{3n}{2\nu}$ формуласы бойынша уақытты есептеп шығарады, мұндағы $\frac{3}{2}n$ - бүкіл цилиндрдегі тербелістер саны, ал ν - вибратор тербелісінің жиілігі.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. 2.1-сурет бойынша қондырғыны құрастырыңыздар. Қондырғыны орнатудың вертикальдылығын тіктеуіш көмегімен тексеріңіздер.

2. Цилиндрдің вертикальдан ауытқуын теңгергіш винттің көмегімен түзетіңіздер.

3. Вибратордың қауырсыны цилиндр табанының астына 1,5-2 мм кіріп тұратындай етіп орналастырыңыздар.

4. Цилиндрдің бетіне мақтадан жасалған тампонмен жұқалап вазелин жағыңыздар.

5. Еркін түскен кездегі цилиндрдің орын ауыстыруын (цилиндрдің төменгі шеті мен жоғарғы белгісінің ара қашықтығын) өлшеніңіздер.

6. Вибраторды жиілігі 50 Гц және кернеуі 36 В айнымалы ток көзіне қосып, құралдың түсіргіш кнопкасын басыңыздар.

7. Түсіп келе жатқан цилиндрдің бетіне вибратор тербелістерін жазып алыңыздар. Ол үшін Әр жолы жазу бірінің үстіне бірі түспеу үшін, цилиндрді бұрай отырып, тәжірибені екі-үш рет қайталаңыздар.

8. Цилиндрді горизонталь орналастырып, неғұрлым қолайлы графикті таңдап алыңыздар және екінші мен үшінші бөліктердегі тербелістер санын санап шығыңыздар.

9. Цилиндрдің түсу уақытын $t = \frac{3n}{2v}$, сонан соң үдеуін $g = \frac{2h}{t^2}$ формулалары бойынша есептеп шығарыңыздар.

10. Еркін түсу үдеуінің орташа мәнін табыңыздар.

11. Үдеуді өлшеудің абсолют және салыстырмалы қателіктерін есептеп шығарыңыздар.

12. Тәжірибені бірнеше рет қайталап, оның нәтижелерін 2.1-кестеге толтырыңыздар.

2.1-кесте.

№	h	n	t	\bar{t}	v	g_n	$\langle g \rangle$	$\langle \Delta g \rangle$	$\frac{\langle \Delta g \rangle}{\langle g \rangle} 100\%$	$g = \langle g \rangle \pm \langle \Delta g \rangle$
1										
2										
3										

Ескерту. Ең алдымен қателік толқын санын анықтауға байланысты. Ең соңғы толқын үшінші аралыққа толық сыйып жатпайтындықтан, өлшеу көзбен жуықтап мөлшерленеді. Өлшеу оннан бірге дейінгі дәлдікпен жүргізіледі.

Құралды (36±2) В жоғары кернеулі ток көзіне қосуға мүлде болмайды.

Құралмен жұмыс істегенде түсіп келе жатқан цилиндрдің астына қолдарыңызды қоймаңыздар.

Бақылау сұрақтары:

1. Дененің еркін түсуі бір қалыпты үдемелі қозғалыс екенін қандай фактілер дәлелдейді?
2. Дене g_0 жылдамдықпен вертикаль жоғары лақтырылған. Ол дене жерге қандай жылдамдықпен түседі?
3. Вертикаль жоғары лақтырылған дененің көтерілу уақыты мен түсу уақыты тең болатынын дәлелдендер.

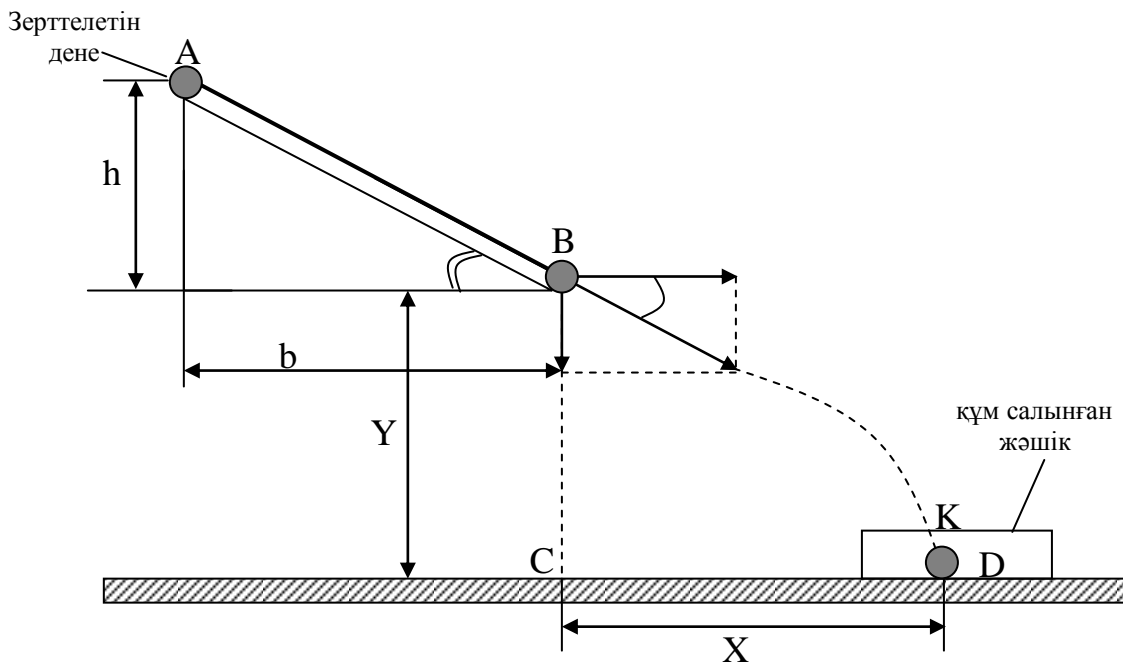
Лабораториялық жұмыс №3. Көлбеу жазықтық бойымен денелердің қозғалысын оқып үйрену

Жұмыстың мақсаты: Көлбеу жазықтық бойымен денелердің қозғалысын оқып үйрену.

Керекті құрал-жабдықтар: Көлбеу жазықтық, дұрыс пішіндегі денелердің жиынтығы (шар, цилиндр, қуыс цилиндр), ішіне құм салынған жәшік, өлшегіш сызғыш.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Зерттелетін дене (шар, цилиндр, қуыс цилиндр) А нүктесінде потенциалдық энергияның mgh артық қорына ие болады (3.1-сурет).



3.3.1-сурет.

Ал B нүктесінде дене ілгерілемелі қозғалыстың $\frac{m\vartheta^2}{2}$ және айналмалы $\frac{I\omega^2}{2}$ қозғалыстың кинетикалық энергиясын қабылдайды. Энергияның сақталу заңы бойынша:

$$mgh = \frac{m\vartheta^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} \quad (3.1)$$

Берілген жұмыста B нүктесіндегі дененің жылдамдығы тәжірибе жүзінде және (3.1) теңдеу бойынша теориялық түрде табылады.

(3.1) теңдеуді және $\omega = \frac{\vartheta}{R}$ қатынасын бірге шеше отырып алатынымыз:

$$\vartheta_T = \sqrt{\frac{2gh}{1 + \frac{I}{mR^2}}} = k\sqrt{2gh}. \quad (3.2)$$

мұндағы $k = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{I}{mR^2}}}, \quad (3.3)$

R - зерттелетін дененің радиусы, ω - оның B нүктесіндегі бұрыштық жылдамдығы.

Шардың жылдамдығын есептеген кезде инерция моментін $I_\phi = \frac{2}{5}mR_\phi^2$, тұтас цилиндр дене үшін $I_\phi = \frac{1}{2}mR_\phi^2$, ал жұқа қабырғалы қуыс цилиндр үшін $I_{\phi, \phi} = mR_{\phi, \phi}^2$ деп алуымыз қажет.

I -дің мәндерін (3.3) теңдеуге қоя отырып, барлық денелер үшін k -ның мәндерін табады. Көлбеу жазықтықтың h биіктігін белгілі деп алып, (3.2) теңдеу бойынша ϑ_m жылдамдықты анықтайды.

Жылдамдықты тәжірибе жүзінде анықтауды былай жүргізеді. B нүктесінде дене, ϑ жылдамдыққа ие болады, ол горизонталь және вертикаль бағыттардағы жылдамдықтар ϑ_x пен ϑ_y түріндегі екі құраушы арқылы берілуі мүмкін.

3.1 -ші суреттен $\vartheta_x = \vartheta \cdot \cos \alpha$ және $\vartheta_y = \vartheta \cdot \sin \alpha$, X және Y аралықтары ілгерілемелі қозғалыстың заңдарынан анықталуы мүмкін.

Біздің жағдайда:

$$x = \vartheta_x t; \quad y = \vartheta_y t + \frac{gt^2}{2} = \frac{\vartheta_y}{\vartheta_x} + \frac{gt^2}{2} = x \cdot \operatorname{tg} \alpha + \frac{gt^2}{2} \quad (3.4)$$

мұндағы, X - дененің CD горизонталь орын ауыстыруы, Y - дененің BC вертикальдің бойымен жүріп өткен жолы, дененің CD және BC бойымен орын ауыстыруының t уақыты бірдей және тең:

$$t = \frac{x}{g_x} = \frac{x}{g \cdot \cos \alpha}.$$

Осыдан барып жылдамдық табылады:

$$g = \frac{x}{t \cdot \cos \alpha}. \quad (3.5)$$

(3.4)-ші теңдіктен уақытты табамыз:

$$t = \sqrt{\frac{2}{g}} \cdot \sqrt{y - x \cdot \operatorname{tg} \alpha}. \quad (3.6)$$

(3.6) теңдеуді (3.5)-ші теңдеуге апарып қоямыз. Осыдан кейін дененің g жылдамдығын тәжірибе жүзінде анықтау үшін қажет болатын қорытынды өрнекті аламыз:

$$g = \frac{x\sqrt{g}}{\sqrt{2} \cdot \cos \alpha \sqrt{y - x \cdot \operatorname{tg} \alpha}}. \quad (3.7)$$

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Көлбеу жазықтықтың ұзындығын l , горизонталь бойындағы қашықтықты b , көтерілу биіктігін h , биіктігінің үш түрлі жағдайы үшін $\cos \alpha$ мен $\operatorname{tg} \alpha$ - ны есептеңдер.

2. Зерттелетін денені (шар, цилиндр, қуыс цилиндр) таразыға салып өлшеңдер. Үлгілердің радиустарын өлшеңдер және денені көлбеу жазықтық бойымен A нүктесінен жіберіңдер. Әр түрлі биіктіктер үшін $X = CD$ (C нүктесінен құмдағы белгіге дейін) және $Y = CB = \text{const}$ қашықтықтарын өлшеңдер.

3. (3.7) теңдеу бойынша денелердің B нүктесіндегі жылдамдықтарын есептеңдер. Алынған мәндерді дәл осы үлгілер үшін (3.2) теңдеу арқылы есептелінген мәндермен салыстырыңдар.

4. (3.6) теңдеу бойынша әртүрлі үлгілер үшін t уақытты табыңдар.

5. Барлық есептеулерді төмендегі 3.1-кестеге жазып толтырыңдар.

3.1-кесте.

№	h	b	X	$\cos \alpha$	$tg \alpha$	Үлгі	$L =$			$Y =$	
							ϑ	I	k	ϑ_T	t
						Шар					
1											
2											
3											
						Тұтас цилин др					
1											
2											
3											
						Қуыс цилин др					
1											
2											
3											

Бақылау сұрақтары:

1. Орын ауыстыру мен жолдың айырмашылығы неде?
2. Дененің қандай қозғалысын ілгерілемелі қозғалыс деп атайды?
3. Жылдамдық дегеніміз не және оның векторы қалай бағытталған?
4. Дене ілгерілемелі қозғалғанда, оның бір нүктесінің жылдамдығы 1 м/с, басқа нүктелерінің жылдамдығы қандай болады?

Лабораториялық жұмыс №4. Обербек маятнигімен қатты дененің айналмалы қозғалысының негізгі заңын тексеру

Жұмыстың мақсаты: Штейнер теоремасын қолдана білу және айналмалы қозғалыстың негізгі заңдарын тексеру әдістерімен танысу.

Керекті құрал-жабдықтар: Обербек маятнигі, жүктердің жиыны, штангенциркуль, секундомер, масштабты сызғыш.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Қатты дененің кез келген күрделі қозғалысы ілгерілемелі және айналмалы қозғалыстардан тұрады деп қарастыруға болады. Айналмалы қозғалыс дегеніміз қозғалыс кезінде дененің барлық нүктелері, центрлері, айналу өсі деп

аталатын бір түзудің бойында жататын, концентрлі шеңберлер сызатын қозғалыс.

Айналмалы қозғалыс ω бұрыштық жылдамдық және ε бұрыштық үдеумен сипатталады:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \varepsilon = \frac{d\omega}{dt},$$

мұндағы φ -дененің бұрыштық орын ауыстыруы немесе бұрылу бұрышы. Сызықтық және бұрыштық шамалардың арасында төмендегідей байланыс бар:

$$s = \omega r, a = \varepsilon r, s = \varphi r. \quad (4.1)$$

мұндағы r - айналу өсінен нүктеге дейінгі қашықтық.

Айналу өсіне қатысты күш моменті дегеніміз күш пен айналу өсінен күш бағытына түсірілген перпендикуляр ұзындығының (l) көбейтіндісі:

$$M = Fl, \quad l = r \sin \alpha \text{ болғандықтан } M = Fr \sin \alpha.$$

Материялық нүктенің кез келген бір өске қатысты ΔI инерция моменті дегеніміз оның Δm массасы мен өске дейінгі r қашықтық квадратының көбейтіндісі: $\Delta I = \Delta m r^2$. Дененің қалаған өске қатысты инерция моменті, сол өске қатысты дененің барлық нүктелерінің инерция моменттерінің қосындысына тең:

$$I = \sum_{i=1}^n \Delta I_i = \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2.$$

Егер дененің масса центрі арқылы өтетін өске қатысты инерция моментін I_0 десек, онда сол өске параллель кез келген өске қатысты инерция моменті Штейнер теоремасы бойынша есептеледі:

$$I = I_0 + mL^2, \quad (4.2)$$

мұндағы L - өстердің ара қашықтығы.

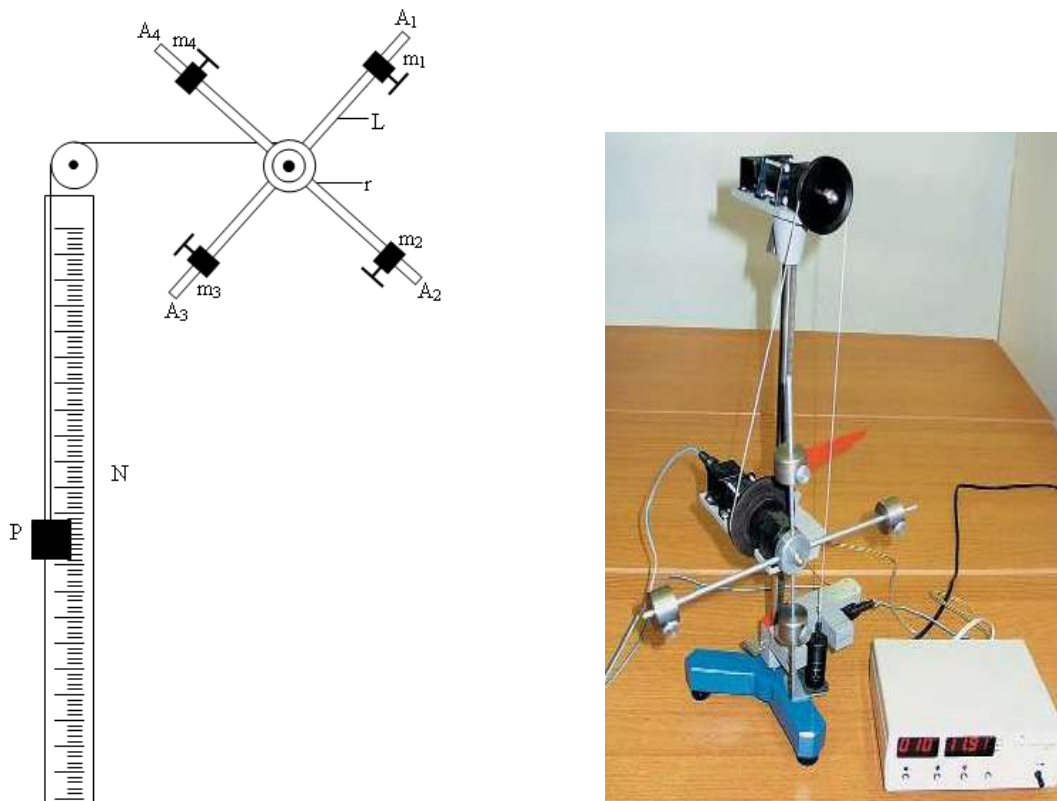
Айналмалы қозғалыстағы қатты дене динамикасының негізгі заңы: ε бұрыштық үдеуі M күш моментіне тура пропорционал және дененің I инерция моментіне кері пропорционал:

$$\vec{\varepsilon} = \frac{\vec{M}}{I}. \quad (4.3)$$

Егер ілгерілемелі қозғалыс пен айналмалы қозғалыстың заңдарын салыстырсақ, айналмалы қозғалыстағы инерция моменті ілгерілемелі

қозғалыстағы массаның, ал күш моменті - күштің рөлін атқаратынын көреміз. (4.3) өрнек айналмалы қозғалыс үшін Ньютонның екінші заңының өрнегі. Инерция моменті ілгерілемелі қозғалыстағы дененің инерттілігін сипаттайтын масса тәрізді, айналған дененің инерттілігін сипаттайды.

Айналмалы қозғалыстың заңын Обербек маятнигімен тексеруге болады (4.1-сурет). Бұл маятник өске бекітілген L - шкивтен, өзара 90° бұрыш жасай орналасқан 4 стерженьнен тұрады.



4.1-сурет.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

Бұл жұмыстың негізгі мақсаты эксперимент арқылы айналмалы қозғалыстың $\varepsilon = \frac{M}{I}$ негізгі заңын тексеру. Бұл заң бойынша а) $\varepsilon \sim M$, $\varepsilon \sim \frac{1}{I}$ Айналмалы қозғалыстың негізгі заңын тексеру дегеніміз осы қатынастардың дұрыстығын тағайындау.

$\varepsilon \sim M$ қатынасын тексеру үшін:

1. Шкивтің диаметрі d штангенциркульмен өлшенеді.
2. Бос ұшына P жүк ілінген жіпті, жүк h биіктікке көтерілетіндей етіп шкивке орайды.
3. Стерженьді еркін қоя берсе, P жүк төмен қарай үдей қозғалады. Қозғалыс уақыты t секундомермен өлшенеді.

4. (4.1) қатынасты пайдаланып бұрыштық үдеуді табуға болады:

$$\varepsilon = \frac{a}{r}, \quad a = \frac{2h}{t^2}, \quad \varepsilon = \frac{2h}{rt^2}. \quad (4.4)$$

5. $P = mg$ салмақ күшінің әсерінен жүк төмен қарай үдей қозғалғанда, жіптің керілу күші F_k мынаған тең:

$$F_k = mg - ma.$$

Демек, маятниктің айналу өсіне қатысты күш моменті:

$$M = F_k r = m(g - a)r = m\left(g - \frac{2h}{t^2}\right)r. \quad (4.5)$$

$$I = \frac{M}{\varepsilon} = mr^2\left(\frac{gt^2}{2h} - 1\right)$$

6. Жүк шамасын өзгертіп, ε мен M -нің бірнеше пар мәндерін табуға болады.

$\varepsilon = f(M)$ тәуелділік графигі түзу сызық болуы тиіс. Графиктің түзу болуы бұл шамалардың арасында тура пропорционалдық байланыс бар екенін дәлелдейді. Көлбеулік бұрышының котангенсі ($ctg \alpha$) сан жағынан $\frac{M}{\varepsilon}$

қатынасына тең. Екінші жағынан $I = \frac{M}{\varepsilon}$. Олай болса $ctg \alpha = I$ болғаны, мұндағы I - маятниктің инерция моменті. Табылған тәуелділіктің дұрыстығы $ctg \alpha = I$ теңдігімен тексеріледі (сандық тексеру). Бұл жұмыста I_0 - айналатын стерженьдерге жүк ілінбеген кездегі маятниктің инерция моменті.

7. Цилиндр тәріздес жылжымалы m жүктерді стерженьге іліп, олардың орындарын кез келген қалыпқа өзгерткен кезде стержень тепе-теңдікте болуы керек.

8. Стерженьдерге ілінген m жүктердің өске қатысты әр түрлі қалпы үшін шкивке оралған жіптің ұшындағы P жүктің h биіктіктен түсу уақыттары өлшенеді. $P = const$ болғандықтан күш моменті тұрақты. Стерженьдегі m жүктердің әр түрлі қалпы үшін инерция моментінің мәндері (4.2) теңдеумен, ал оларға сәйкес бұрыштық үдеудің мәндері (3.4.4) теңдеумен есептеледі.

$$I_i = I_0 + 4mL_i^2, \quad I_0 = \frac{1}{6}m_i l_i^2 \quad \text{мұндағы } L_i \text{ айналу өсінен } m \text{ жүктің масса центріне}$$

дейінгі қашықтық. $\varepsilon \sim \frac{1}{I}$ тәуелділікті тексеру:

а) Айқас стерженьдерге жүктер ілу арқылы, инерция моментін өзгертіп, ε мен I -дің бірнеше пар мәндері есептеледі.

б) ε_i мен I_i алынған мәндері бойынша сызылған $\varepsilon = f\left(\frac{1}{I}\right)$ тәуелділік графигі кері пропорционалдықты сипаттайтын қисық болу керек.

Алынған графикте $tg \alpha = \varepsilon_i I_i$. Екінші жағынан $M = \varepsilon_i I_i$. Демек, $tg \alpha = M$. $\varepsilon \sim \frac{1}{I}$ тәуелділіктің дұрыстығы $tg \alpha = M$ теңдігімен анықталады. Мұндағы M - күш моменті (4.5) формуламен есептеледі.

1 - тапсырма. Обербек маятнігінің құрылысымен танысыңыздар, гiрлердiң жиынын тексерiңiздер, олардың массасын өлшеп табыңыздар.

2-тапсырма. а) $\varepsilon \sim M$ пропорционалдықты тексерiңiздер. Ол үшiн $I = const$ болғандығы ε мен M сегiз пар мәндерiн табыңыздар, тиiстi масштаб таңдап алып, нүктелердi (ε, M) координаталар системасына түсiрiп график сызыңыздар.

б) Қос нүктелер әдiсiн пайдаланып, графиктiң ең қолайлы сызығын жүргiзiңiздер.

в) $\alpha = 0,95$ болғандағы өлшеудiң қатесiн есептеңiздер және құралдың I_0 инерция моментiн анықтап, оны график сызығының көлбеулiк бұрышының тангенсiмен салыстырыңыздар.

3-тапсырма. а) $\varepsilon \sim \frac{1}{I}$ пропорционалдықты тексерiңiздер. Ол үшiн айқас стерженьдердегi m жүктiң орындарын өзгертiп, ε мен I -дiң сегiз пар мәндерiн табыңыздар ($P = const$). Тиiстi масштаб таңдап алып, табылған мәндер үшiн $(\varepsilon, \frac{1}{I})$ координаталар жүйесiнде график сызыңыздар.

б) Қос нүктелер әдiсiн пайдаланып, графиктiң ең қолайлы сызығын жүргiзiңiздер.

в) Күш моментiн есептеп, оны сызылған графиктiң көлбеулiк бұрышының тангенсiмен салыстырыңыздар.

Бақылау сұрақтары:

1. $\varepsilon = f(I)$ функциясының графигi түзу сызық бола ма?
2. Нелiктен жiпке iлiнген жүктiң қозғалыс кезiнде шайқалмауын қамтамасыз ету керек?
3. (4.2) формуласын түсiндiрiңiздер.

Лабораториялық жұмыс №5. Максвелл маятнігінің инерция моментін анықтау

Жұмыстың мақсаты: Максвелл маятнігінің тербелісін зерттеу және оның инерция моментін анықтау.

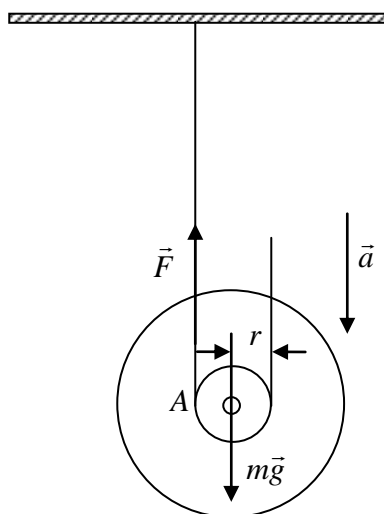
Керекті құрал-жабдықтар: Максвелл маятнігі бар қондырғы.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Максвелл маятнігі жоғарғы кронштейнге созылмайтын екі жiпке iлiнген металл өске бекiтiлген дискiден тұрады. Маятніктiң инерция моментiн өзгерту үшiн дискiге арнайы роликтердi (сақиналарды) кигiзуге болады.

Егер өске жiптi орап маятніктi жоғары көтерiп, одан соң жiберетiн болсақ, онда ол айналып төмен түседi. Толық төмен түскеннен кейiн сол

бағытта айнала отырып, жоғары көтеріледі. Осылайша төмен түсіп, жоғары көтеріліп маятник тербеліс жасайды (5.1-сурет).



5.1-сурет.

Маятниктің төмен түсуін қарастырайық. Бұл күрделі қозғалыс - ілгерілемелі және айналмалы қозғалыстан тұрады. Ілгерілемелі қозғалыс бірқалыпты үдемелі болады және мына теңдеумен сипатталады:

$$P - 2T = ma. \quad (5.1)$$

мұндағы P - маятниктің ауырлық күші, T - бір жіптің керілу күші, a - масса центрінің үдеуі.

Жүрген жол мен уақыт аралығындағы байланыс мына өрнекпен сипатталады:

$$h = \frac{at_2}{2}. \quad (5.2)$$

Маятник төмен түскенде өз өсінің бойымен айналмалы қозғалыс жасайды, олай болса айналдырушы күш моменті мына өрнекпен сипатталады:

$$M = I\varepsilon. \quad (5.3)$$

мұндағы M - маятниктің өсіне қатысты айналдырушы күш моменті, I - маятниктің инерция моменті, ε - маятниктің бұрыштық үдеуі.

Айналдырушы моментті маятниктің ауырлық күші тудырады, сондықтан былай жазуға болады:

$$M = mgR. \quad (5.4)$$

мұндағы R - жіп оралатын маятниктің өсінің радиусы.

Бұрыштық үдеу мен сызықтық үдеу өзара былай байланысады:

$$\varepsilon = \frac{a}{R}. \quad (5.5)$$

Жоғарыда келтірілген (5.2), (5.3), (5.4) және (5.5) өрнектерді пайдаланып Максвелл маятнігінің инерция моментін былай жазуға болады:

$$I = \frac{M}{\varepsilon} = \frac{mgR^2}{a} = \frac{mgR^2 t^2}{2h}. \quad (5.6)$$

Маятниктің симметрия өсіне қатысты инерция моменті (I') Штейнер теоремасына сәйкес, айналу өсіне байланысты инерция моментімен (I) былай байланысқан:

$$I = I' + mR^2. \quad (5.7)$$

Маятниктің инерция моментін есептейтін өрнекті теңдеудегі I -дің мәнін (7)-ші өрнекке қою арқылы алуға болады:

$$I' = \frac{mgR^2 t^2}{2h} - mR^2 = \frac{1}{4} mD^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right) \quad (5.8)$$

мұндағы m - маятник массасы, ол өз кезегінде былай анықталады:

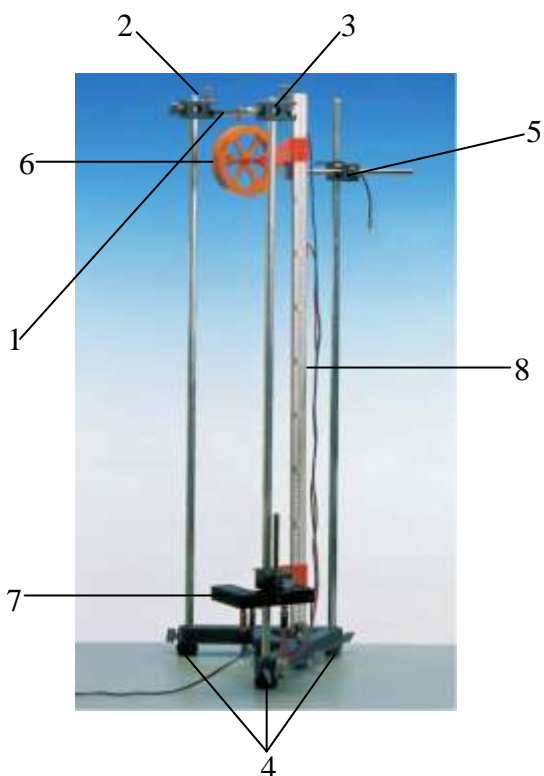
$$m = m_0 + m_g + m_c. \quad (5.9)$$

мұндағы m_0 - маятник өсінің массасы, m_g - маятник дискісінің массасы, m_c - маятник сақинасының массасы, h - маятниктің жоғарғы нүктесінің биіктігі, t - ең төменгі нүктеге жетуге кеткен уақыт, D - маятник өсінің оралған жіппен бірге алғандағы диаметрі, ол D_0 - маятник өсінің диаметрі мен жіп диаметріне D_α -ға байланысты.

$$D = D_0 + 2D_\alpha. \quad (5.10)$$

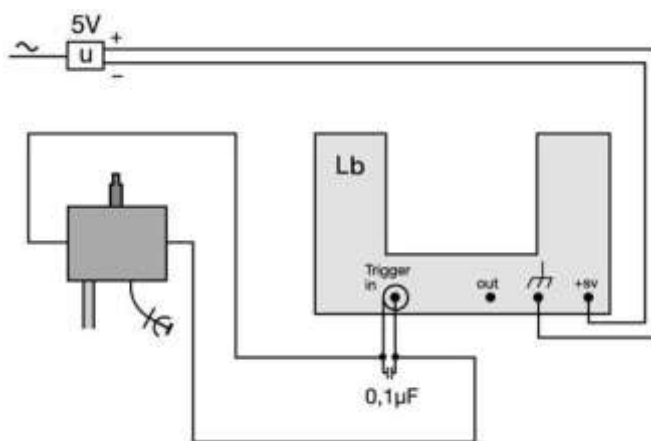
Қондырғының сипаттамасы мен жұмыстың орындалуы

Эксперименттік қондырғының сыртқы көрінісі 5.2- суретте келтірілген.



5.2-сурет.

Эксперименттік қондырғыны жұмысқа дайындау үшін 5.2-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек құрастыру керек. Ол үшін: фиксатордың екі шығысын жарық бөгетінің екі кірісіне жалғағыш сымдар арқылы қосу керек.



5.3-сурет.


Қондырғының аяқтарына орналасқан винттердің көмегімен қондырғыны вертикаль күйге келтіру керек.

Төменгі жағдайда Максвелл маятнигін жарық бөгетінің жарық жолағын жабатындай етіп орналастыру керек.

Қондырғыны электр желісіне қосып, фиксатордың, жарық бөгетінің (фотодатчиктің) және миллисекундомердің жұмыс істейтіндігін тексеру қажет.

«Set» және «Trigger In» батырмаларын басып, қондырғының жұмыс істеуін, индикатордың «нөл» көрсететінін тексеру керек.

Фиксатордың айырып-қосу тетігін жабық күйге келтіріп, дискіні бекіту керек.


Жарық бөгетінің айырып-қосқышын  күйіне келтіріп, «Set» батырмасын басу керек.

Фиксатордың айырып-қосу тетігін ашық күйге келтіру керек. Сол кезде дискі төменге қарай айналмалы-тербелмелі қозғалысқа келеді және электр тізбегі тұйықталып жарық бөгетіндегі миллисекундомер қосылады.

Дискіні жарық бөгетінің жарық жолағына жеткізбей, ұстағыштың инесіне жеткенде фиксатордың айырып-қосу тетігін жабық күйге келтіру керек. Дискінің айналу өсі жарық бөгетінің жарық жолағын қиып өткенде миллисекундомер тоқтайды. Миллисекундомердің көрсетуі t уақытты береді.

Жарық бөгетіндегі «Trigger In» батырмасын басып индикатордың көрсетуін бастапқы «нөл» күйге келтіру керек.

Фиксатордың айырып-қосу тетігін жабық күйге келтіріп, дискіні бастапқы орнына бекіту керек.

Жарық бөгетінің айырып-қосқышын  күйіне келтіріп, «Set» батырмасын басу керек.

Фиксатордың айырып-қосу тетігін ашық күйге келтіру керек. Сол кезде дискі төменге қарай айналмалы-тербелмелі қозғалысқа келеді және электр тізбегі тұйықталып жарық бөгетіндегі миллисекундомер қосылмайды.

Дискі ұстағыштың инесіне жеткенде, миллисекундомер қосылады. Ал, дискінің айналу өсі жарық бөгетінің жарық жолағын қиып өткенде, миллисекундомер тоқтайды. Миллисекундомердің көрсетуі Δt уақытты береді.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Маятник дискісіне ауысатын роликтерді (сақиналарды) кигізіп, маятниктің жалпы массасын (5.9) өрнек арқылы тауып, мәнін 5.1-кестеге жазыңыздар.

2. Маятник өсі мен жіп диаметрін өлшеп, (5.10) өрнек бойынша жалпы диаметрді тауып, оның мәнін де 3.28.1-кестеге жазыңыздар.

3. Қондырғыны электр желісіне қосып, «Set» батырмасын басыңыздар.

4. Маятник өсіне жіпті орай отырып, жоғарғы кронштейнге бекітілген фиксаторға ұстатып бекітіңіздер. Ол үшін фиксатордың айырып-қосу тетігін жабық күйге келтіріңіздер.

5. Колонкадағы шкаладан h -ты анықтап, оның мәнін 5.1-кестеге жазыңыздар.

6. Фиксатордың айырып-қосу тетігін ашық күйге келтіріп, дискіні қозғалысқа келтіріңіздер.

7. Жарық бөгетінде орналасқан миллисекундомердің көрсетуін 5.1-кестеге жазыңыздар.

8. «Trigger In» батырмасын басып, миллисекундомерді нөлге келтіріп, өлшеуді 5 рет қайталаңыздар.

9. Маятниктің түсуіне кететін орташа уақытты тауып, (5.8) формула бойынша I маятниктің инерция моментін табыңыздар.

10. Төмендегі формула бойынша маятниктің инерция моментін теориялық тұрғыдан есептеңіздер:

$$I = I_0 + I_g + I_c. \quad (5.11)$$

мұндағы, өстің, дискінің және роликтің инерция моменттері былай анықталады:

$$I_0 = \frac{1}{8} m_0 D_0^2, \quad I_g = \frac{1}{8} m_g (D_d^2 + D_0^2), \quad I_c = \frac{1}{8} m_c (D_d^2 + D_c^2)$$

мұндағы, D_0 - өстің диаметрі, D_g - дискінің диаметрі және D_c - сақинаның диаметрі.

5.1-кесте.

$M, (\hat{e}\tilde{a})$	$D, (\hat{i})$	$h, (\hat{i})$	$t, (c)$	$\bar{t}, (c)$	$I', (\hat{e}\tilde{a} \cdot \hat{i}^2)$	$I_T, (\hat{e}\tilde{a} \cdot \hat{i}^2)$	$\sigma, \%$

11. Маятниктің инерция моментінің өлшеу қатесін төмендегі формула бойынша есептеңіздер:

$$\sigma = \frac{|I' - I_T|}{I_T} 100\%. \quad (5.12)$$

Бақылау сұрақтары:

1. Дененің инерция моменті дегеніміз не, ол қалай анықталады?
2. Айналу өсіне қатысты күш моменті деген не?
3. Айналмалы қозғалыстың негізгі динамикалық теңдеуі қалай жазылады?
4. Штейнер теоремасы қалай тұжырымдалады?

Лабораториялық жұмыс №6. Дискінің инерция моментін анықтау

Жұмыстың мақсаты: айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі теңдеуін тәжірибе жүзінде тексеру.

Керекті құрал-жабдықтар: жеңіл дискі, сатылы шкив, втулка, ауа үрлегіш, фиксатор, айналмалы блогы бар жарық бөгеті, жүктер, «Кобра 3» блогы, жалғағыш сымдар

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Инерция моменті айналдырушы моменттің әсерінен өзгеретін дененің бұрыштық жылдамдығының инерттілігін сипаттайтын физикалық шама. Материялық нүктенің қандай да бір өске қатысты инерция моменті деп оның массасының сол өске дейінгі қашықтығы квадратының көбейтіндісін айтамыз: $J = m r^2$. Дененің қандай да бір өске қатысты инерция моменті оның барлық нүктелерінің осы өске қатысты инерция моменттерінің қосындысына тең:

$$J = \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2 . \quad (6.1)$$

Дененің массасын оның тығыздығы арқылы өрнектеп, инерция моментін (6.1) интегралдау жолымен есептейміз:

$$J = \int r^2 \cdot \rho \cdot dv \quad (6.2)$$

мұндағы dv - көлем элементі (көлемнің шексіз аз бөлігі). Интегралдау дененің барлық көлеміне (V) таралуы тиіс. (6.1) және (6.2) формуладан дененің массасы сияқты оның берілген өске қатысты инерция моменті де қозғалыстың сипатына тәуелді болмайтынын байқаймыз. Ол дененің өлшемдеріне, пішініне және тығыздығына байланысты. Егер дененің массалар центрімен өтетін өске қатысты инерция моменті J_0 болса, онда оған параллель кез келген өске қатысты инерция моменті (J) Штейнер теоремасы бойынша есептеледі:

$$J = J_0 + m d^2$$

мұндағы d - өстердің ара қашықтығы. Айналмалы қозғалыс үшін динамиканың негізгі теңдеуі мына түрде жазылады:

$$M = \frac{d(J \omega)}{d t} \quad (6.3)$$

мұндағы M - денеге әсер етуші күштер моментінің қосындысы; ω - айналудың бұрыштық жылдамдығы. Егер $M = 0$ болса, онда

$$\frac{d(J\omega)}{dt} = 0 \text{ немесе } J\omega = \text{const}$$

$J\omega$ - шамасын дененің қозғалыс мөлшерінің моменті деп атаймыз.

Сонымен, егер айналған денеге айналдырушы момент әсер етпесе, онда дене өзінің қозғалыс мөлшері моментін ұзақ уақыт өзгертпей сақтайды. Оқшауланған денелер жүйесіне арналған қозғалыс мөлшері моментінің сақталу заңы былай жазылады:

$$M = \frac{d(J\omega)}{dt}.$$

Дербес жағдайда қозғалмайтын өсті айналған дене ($J = \text{const}$) үшін айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі заңы мына түрде жазылады:

$$M = \frac{J d\omega}{dt} \text{ немесе } M = J\varepsilon \text{ (6.4), } M = Fr \text{ (6.4 а).}$$

Қозғалмайтын айналу өсіне қатысты қатты дененің инерция моментінің бұрыштық үдеуге (ε) көбейтіндісі сыртқы күштердің осы өске қатысты моментіне тең. (6.4) теңдеу мен Ньютонның екінші заңын салыстыра отырып, ілгерілемелі қозғалыс кезінде масса қандай рөл атқарса, айналмалы қозғалыс кезіндегі қатты дененің инерция моменті де дәл сондай рөл атқаратынын көреміз. Ал сызықтық жылдамдық рөлін бұрыштық жылдамдық атқарады. Егер сыртқы күштердің моменті мен бұрыштық үдеу белгілі болса, онда қатты дененің инерция моментін анықтауға болады:

$$J = \frac{M}{\varepsilon} \quad (6.5)$$

Массасы m жүктің ілгерілемелі қозғалысы үшін қозғалыс теңдеуін Ньютонның екінші заңына сәйкес былай жазамыз:

$$ma = mg - F$$

$$\text{бұдан } F = mg - ma = m(g - a) \quad (6.6)$$

Ал, жүктің ілгерілемелі қозғалысы бастапқы жылдамдығы жоқ тең үдемелі болғандықтан, үдеу $a = \frac{2h}{t^2}$ (6.7)

Жүктің a үдеуі бұрыштық үдеумен ε мынадай қатыста болады:

$$\varepsilon = \frac{a}{r}, \text{ яғни } \varepsilon = \frac{2h}{t^2 r} \quad (6.8)$$

(6.4), (6.4 а), (6.6), (6.7) және (6.8) теңдеулерді пайдаланып, инерция моментін анықтайтын формуланы оңай шығарып алуға болады:

$J \varepsilon = F r$ осыдан $J = \frac{F r}{\varepsilon}$. (6.6) және (6.8)-тен ε -нің мәнін қойсақ, онда

$$J = \frac{M}{\varepsilon} = \frac{m(g-a)r}{\varepsilon} = \frac{m r^2 (g-a)}{a} = m r^2 \left(\frac{g}{a} - 1 \right) = m r^2 \left(\frac{g t^2}{2h} - 1 \right)$$

яғни

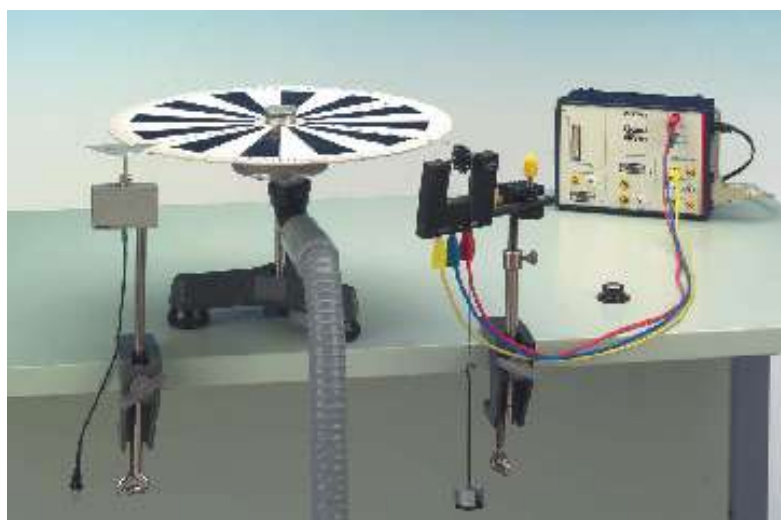
$$J = m r^2 \left(\frac{g t^2}{2h} - 1 \right). \quad (6.9)$$

(6.9) формула дискінің инерция моментін тәжірибе жүзінде анықтауға мүмкіндік береді.

Қондырғының сипаттамасы мен жұмыстың орындалуы

Эксперименттік қондырғының сыртқы көрінісі 6.1-суретте көрсетілген. Мұндағы, 1 – жеңіл дискі, 2 – сатылы шкив, 3 - втулка, 4 – ауа үрлегіш, 5 – фиксатор, 6 – айналмалы блогы бар жарық бөгеті, 7 – жүктер, 8 - «Кобра 3» блогы, 9 – жалғағыш сымдар.

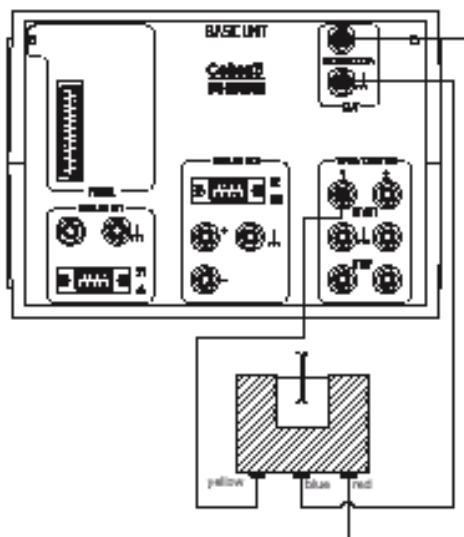
Эксперименттік қондырғыны жұмысқа дайындау үшін 3.6.2-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек құрастыру керек. Ол үшін айналмалы блогы бар жарық бөгетінің көк және қызыл шығыстарын «Кобра 3» блогының «OUT 5V/max 0,2 A» кірісіне, ал айналмалы блогы бар жарық бөгетінің сары шығысын «Кобра 3» блогының «Timer/Counter 1» кірісіне сымдар арқылы жалғаңыздар. «Кобра 3» блогын дербес компьютерге «USB» порт арқылы жалғаңыздар. Дербес компьютерді электр желісіне қосыңыздар.



6.1-сурет.

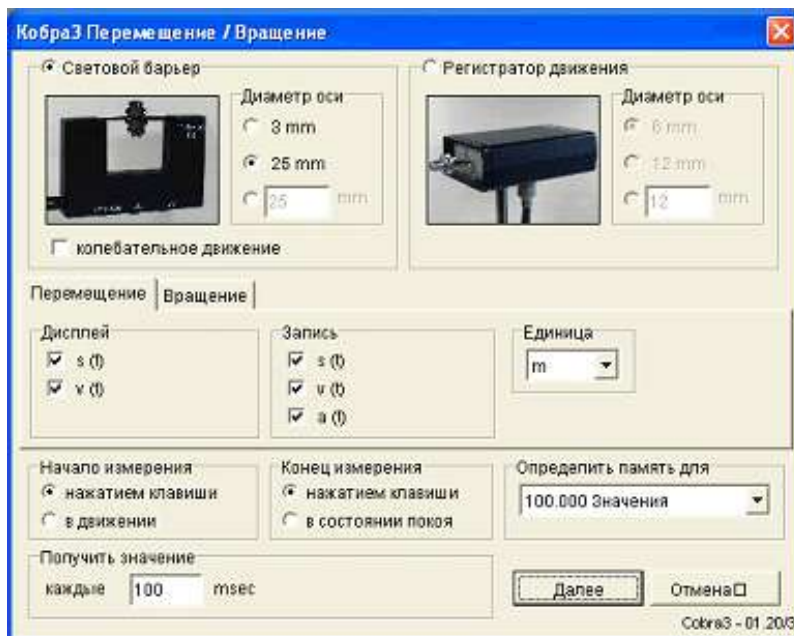
Эксперименттік қондырғыны жұмысқа дайындау үшін 6.2-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек құрастыру керек. Ол үшін айналмалы блогы бар жарық бөгетінің көк және қызыл шығыстарын «Кобра 3» блогының «OUT

5V/max 0,2 A» кірісіне, ал айналмалы блогы бар жарық бөгетінің сары шығысын «Кобра 3» блогының «Timer/Counter 1» кірісіне сымдар арқылы жалғаңыздар. «Кобра 3» блогын дербес компьютерге «USB» порт арқылы жалғаңыздар. Дербес компьютерді электр желісіне қосыңыздар.



6.2-сурет.

Өлшеу жүргізу үшін «Windows» ортасында «Перемещение/Вращение» бағдарламасын іске қосып 6.3-суретте көрсетілгендей жұмысшы режимді таңдап алыңыздар.



6.3-сурет.

6.3-суретте көрсетілгендей жұмысшы режимді таңдап алу үшін:

- «Диаметр оси» батырмасының мәнін 25 мм күйіне;
- «Единица» батырмасының мәнін м күйіне;

- «Получить значение» батырмасының мәнін 100 мсек күйіне келтіру керек;

Одан кейін «Далее» батырмасын басыңыздар.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Эксперименттік қондырғыны 6.2-суретте көрсетілген сұлба бойынша жинап, жүктің массасын таразымен, шкивтің радиусын штангенциркульмен өлшеңіздер.

2. Жеңіл дискі түріндегі дененің центріне (1) сатылы шкивті (2) бекітіңіздер. Дискіні шкивпен қоса втулкаға (3) кигізіңіздер.

3. Дискі мен шкив өстен (втулкадан) айналған кезде пайда болатын үйкелістің еленбейтіндей аз болу жағдайын қарастыру керек. Ол үшін втулка өсінің бойымен дискінің төменгі жағынан ауа үрлегіш (4) арқылы ауа үрлеу керек. Сол кезде дискі сәл көтеріліп өстен үйкеліссіз еркін айнала алады.

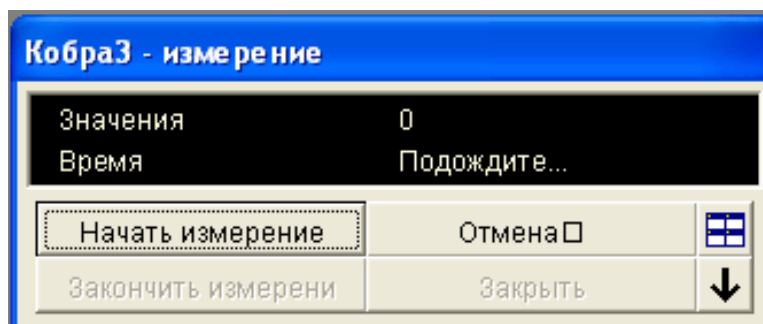
4. Шкив сатыларының біреуіне жіптің бір ұшын бекітіп, оны шкивті айналдыра ораңыздар.

5. Жіптің екінші бос ұшын блок арқылы асыра салып, оған m массалы жүгін іліңіздер.

6. Жіпті шкивке орап m массалы жүкті оқытушы көрсеткен h биіктікке (жүктің табанынан еденге дейінгі қашықтық) көтеріңіздер.

7. Фиксатордың (5) көмегімен дискіні тыныштық қалыпқа келтіріңіздер.

8. Ауа үрлегішті іске қосып, фиксаторды айырып, дискіні босатып, онымен бір мезгілде «Начать измерение» батырмасын басыңыздар (6.4-сурет).



6.4-сурет.

9. m массалы жүк еденге келіп соғылғанда секунд өлшегіш тоқтайды. Жүктің түсу уақытын (t) 3 рет қайталап өлшеп, олардың орташа мәнін табыңыздар.

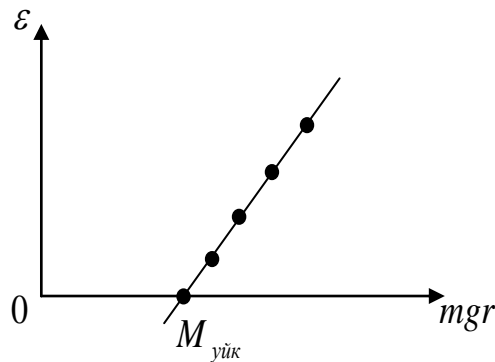
10. Жүктің түсу биіктігі (h) мен уақытын (t) өлшеп, бұрыштық үдеуді (ε) (3.6.8) формулаға қойып есептеңіздер.

11. Бұл есептеулермен өлшеулерді m жүктің жалпы массасы m -нің $3 \div 5$ жана мәні үшін қайталап есептеңіздер. Алынған мәліметтерді 6.1-кестеге толтырыңыздар.

6.1-кесте.

№	m	t_1	t_2	t_3	\bar{t}	Δt	h	$\varepsilon = \frac{2h}{\bar{t}^2 r}$	$m g r$	r
1										
2										
3										

12. Алынған ε мәндерін y өсіне, ал $m g r$ мәндерін x өсіне салып, тәжірибелік нүктелерді XOY жазықтығына орналастырыңыздар. (алынған тәжірибелік нүктелер бір түзудің бойында жатуы тиіс. Себебі бұл шамалар сызықтық байланыста. Бұл түзу сызықтық абсцисса өсімен жасайтын бұрышының тангенсі $\frac{1}{j}$ шамасына тең, ал түзудің x өсімен қиылысу нүктесі $M_{\text{үйк}}$ шамасын береді (6.5-сурет)).



6.5-сурет.

13. Түзу жүргізіп, дискінің өске қатысты инерция моменті (J) мен үйкеліс күшінің моментін (M_2) табыңыздар.

14. (6.9) тәжірибелік формула бойынша дискінің инерция моментін есептеңіздер.

15. $J = \frac{m_{\text{дс}} g r}{\varepsilon}$ формуласымен дискінің инерция моментінің теориялық мәнін есептеңіздер. Мұндағы, $m_{\text{дс}}$ - дискінің, сатылы шкивтің, втулканың жалпы массасы ($m_{\text{дс}} = 0,051 \text{ кг}$), r - дискінің радиусы.

16. Дискінің инерция моментінің теориялық мәнін тәжірибе арқылы табылған мәнімен салыстырыңыздар.

Бақылау сұрақтары:

1. Айналмалы қозғалыстың негізгі заңын жазып, оның анықтамасын беріңіздер?

2. Мына физикалық шамаларға анықтама беріңіздер:

а) Күш моменті деген не?

ә) Инерция моменті деген не?

б) Бұрыштық жылдамдық және бұрыштық үдеу дегеніміз не?

Лабораториялық жұмыс №7. Импульстің сақталу заңын шарлардың соқтығуы арқылы тексеру

Жұмыстың мақсаты: Шарлардың соқтығуы арқылы импульстің сақталу заңының қолданылу әдістерімен танысу.

Керекті құрал-жабдықтар: ілінген шарлары бар құрал, секундомер.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Дененің импульсі дегеніміз дененің массасы мен оның жылдамдық векторының көбейтіндісіне тең векторлық шама: $p = m\mathcal{V}$. Импульстың сақталу заңы бойынша:

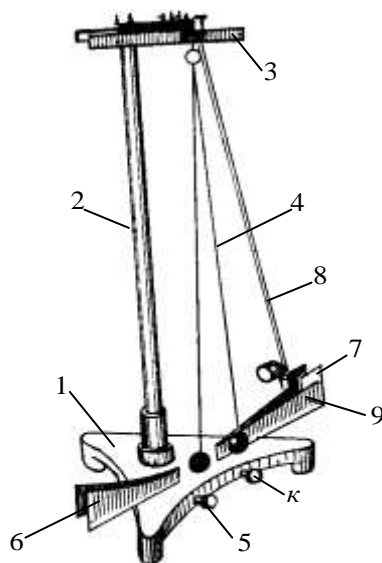
$$m_1\vec{\mathcal{V}}_1 + m_2\vec{\mathcal{V}}_2 + \dots + m_n\vec{\mathcal{V}}_n = const.$$

Тұйық системадағы өзара әсерлесетін денелердің импульстерінің қосындысы тұрақты шама.

Берілген жұмыста осы заңның дұрыстығын арнайы құралға ілінген шарлардың соқтығуы арқылы тексеру ұсынылған.

Қондырғының сипаттамасы мен жұмыстың орындалуы

Құрал көтеруші винттерге орнатылған ұшаяқтан (1), түтіктен (2), шарлар ілінген жіп бекітілген тетіктен (3) тұрады (7.1-сурет). Шарларды ұстайтын бифилярлік ілгіштің (екі жіпке ілінген) (4) централық қашықтығы сол жақтағы (6) шкаланы ығыстыру арқылы өзгертіледі. Ілінген жіптер мен ұстаушы реттеуіш (5) арқылы қозғалтылады. Бағыттаушының ұштарына бекітілген сым арқан шығыршық арқылы түтіктің ішімен білікке оралған. Білікпен жалғастырылған реттеуіш ұшаяқтың алдыңғы жағына орнатылған. Шарды бағанаға (8) ілінген электромагнит (7) ұстап тұрады және ол шкала (9) бойымен қозғалады.



7.1-сурет.

Массасы m_1 шар \mathcal{G}_1 жылдамдықпен тыныштықта тұрған массасы m_2 шарға соқтыққаннан кейін олардың жылдамдықтары өзгереді. Шарлардың кейінгі жылдамдықтары \mathcal{G}'_1 және \mathcal{G}'_2 болсын дейік. Импульстің сақталу заңы бойынша:

$$m_2 \bar{\mathcal{G}}_1 = m_1 \mathcal{G}'_1 + m_2 \mathcal{G}'_2.$$

\mathcal{G}_1 , \mathcal{G}'_1 , \mathcal{G}'_2 жылдамдықтарды энергияның сақталу заңы бойынша табуға болады. Энергияның сақталу заңы бойынша:

$$A = E_2 - E_1. \quad (7.1)$$

мұндағы E_1 - дененің алғашқы күйдегі толық энергиясы, E_2 - соңғы күйдегі толық энергиясы. A - дененің ауаның кедергі күшіне қарсы істеген жұмысы.

Жіпке ілінген шардың қозғалысы тербелмелі қозғалыс, демек, оның жылдамдығы $\mathcal{G} = a\omega \cos(\omega t + \varphi_0)$ заңы бойынша өзгереді. Шар ауа кедергісіне қарсы жұмыс жасайтындықтан, оның тербелісі өшетін тербеліс, оның тербеліс амплитудасы $a = a_0 e^{-\beta t}$ заңы бойынша өзгереді. Олай болса, $\mathcal{G} = a_0 \omega \cos(\omega t + \varphi_0) e^{-\beta t}$, мұндағы β - өшу коэффициенті. Кедергі күшіне қарсы жұмысты тербелмелі дененің кинетикалық энергиясының өзгерісі арқылы табамыз:

$$A = \frac{m\mathcal{G}_0^2}{2} - \frac{m\mathcal{G}^2}{2} = \frac{m\mathcal{G}_0^2}{2} - \frac{m}{2} a_0^2 \omega^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0) e^{-2\beta t} = \frac{m\mathcal{G}_0^2}{2} (1 - e^{-2\beta t})$$

немесе $A = E_0 (1 - e^{-2\beta t})$.

Ширек периодта ($t = \frac{T}{4}$). $A = E_0 \left(1 - e^{-\frac{2\beta T}{4}}\right)$, $\beta T = \delta$ шамасы өшудің логарифмдік декременті деп аталады. Сонда:

$$A = E_0 \left(1 - e^{-\frac{\delta}{2}}\right). \quad (7.2)$$

Демек, кедергі күшіне қарсы жұмыстың шамасын анықтау үшін өшудің логарифмдік декрементін (δ) табу керек. Өшудің логарифмдік декременті дегеніміз, сан жағынан бір-біріне периодқа тең уақыт интервалындай қашықта орналасқан іргелес екі амплитуда мәндері қатынасының логарифміне тең шама, яғни $\delta = \ln \frac{a_1}{a_2}$. Егер екінші амплитуда ретінде біріншіден n период қашықтықтағы амплитуданы алсақ, онда:

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{a_1}{a_n}. \quad (7.3)$$

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Техникалық таразымен шарлардың массасын өлшеңіздер.

2. Тербелістер әдісімен әрбір шардың тербелісі өшуінің логарифмдік декрементін анықтаңыздар. Ол үшін шарлардың біреуін жіпке іліп, бүйіріне қарай тартып, тербеліске келтіріңіздер. Амплитуданың бастапқы a_1 мәні екі есе азайғанға дейінгі аралықтағы толық тербелістер санын анықтаңыздар: $a_n = \frac{a_1}{2}$, мұндағы n_1 толық тербелістер саны. (7.3) формула бойынша $\delta_1 = \frac{1}{n} \ln 2$ болады.

Осылайша екінші шардың да логарифмдік декрементін анықтаңыздар.

3. Импульстің сақталу заңын тексеру. Ол үшін:

а) (5) винттің көмегімен шарларды центрлеңіздер. Сосын штанганы кішкене шардың қалаған бастапқы амплитудасына сәйкес орнатып, (9) шкаладан сәйкес a_1 мәнін анықтаңыздар.

б) массасы m_1 шарды тепе-тең күйден ауытқытып жіберіп қалыңыздар, сол кезде екі шар соқтығысады. Шарлардың соқтыққаннан кейінгі максимум a_1 және b_2 ауытқуларын анықтаңыздар. Осы жерде және бұдан бұлай b массасы үлкен шарға, ал a - массасы кіші шарға қатысты белгілеу алынады. Жұмыстың a_2 және b_2 мәндерін табуға қатысты бөлігі көп рет қайталанады және бақылауды жеңілдету үшін әр жолы a_2 немесе b_2 -лердің біреуін ғана ескеру жеткілікті.

в) Алынған нәтижелер импульстің сақталу заңын тексеру үшін қолданылады. Ол заң жылдамдықтардың бағытын еске алып мына түрде жазылады:

$$m\mathcal{G}_1 = \pm m_1\mathcal{G}' + m_2\mathcal{G}'_2 \quad (7.4).$$

\mathcal{G}_1 , \mathcal{G}' , \mathcal{G}'_2 жылдамдықтардың мәндерін есептеу (7.1) және (7.2) формулалар бойынша жүргізіледі.

$$\begin{aligned} \frac{m_1\mathcal{G}_1^2}{2} &= m_1gh_1 + \frac{1}{2}m_1\mathcal{G}_1^2 \left(1 - e^{-\frac{\delta_1}{2}}\right), \\ \frac{m_1\mathcal{G}_1^2}{2} &= m_1gh'_1 + \frac{1}{2}m_1\mathcal{G}_1^2 \left(1 - e^{-\frac{\delta_1}{2}}\right), \\ \frac{m_2\mathcal{G}_2^2}{2} &= m_2gh'_2 + \frac{1}{2}m_2\mathcal{G}_2^2 \left(1 - e^{-\frac{\delta_1}{2}}\right). \end{aligned} \quad (7.5)$$

осылардан

$$\mathcal{G}_1 = \sqrt{2gh_1}e^{\frac{\delta_1}{4}}, \quad \mathcal{G}' = \sqrt{2gh'_1}e^{\frac{\delta_1}{4}}, \quad \mathcal{G}'_2 = \sqrt{2gh'_2}e^{\frac{\delta_1}{4}}. \quad (7.6)$$

h_1 , h'_1 , h'_2 биіктіктер былайша анықталады:

$$h'_1 = 2l \sin^2 \frac{\alpha_1}{2}, \quad h_1 = 2l \sin^2 \frac{\alpha_1}{2}, \quad h'_2 = 2l \sin^2 \frac{\beta}{2}. \quad (7.7)$$

Мұндағы α , α' , β 7.1-суреттегі (6) және (9) шкалалар бойынша анықталатын бұрыштар.

l жіптің ұзындығы. (7.7) теңдеудегі мәндерді (7.6)-ға қойсақ, онда

$$\mathcal{G}_1 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_1}{2} e^{-\frac{\delta_1}{4}}, \quad \mathcal{G}'_1 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha'_1}{2} e^{-\frac{\delta_1}{4}}, \quad \mathcal{G}'_2 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\beta}{2} e^{-\frac{\delta_2}{4}} \quad (7.8)$$

жылдамдықтардың (7.8) теңдеулердегі мәндерін (7.4) теңдеуге қойғанда, импульстің сақталу заңы мына түрде жазылады:

$$m_1 \sin \frac{\alpha_1}{2} e^{\frac{\delta_1}{4}} = \pm m_1 \sin \frac{\alpha'_1}{2} e^{\frac{\delta_1}{4}} + m_2 \sin \frac{\beta}{2} e^{\frac{\delta_2}{4}}. \quad (7.9)$$

$\delta \ll 1$ болғанда, $e^{\frac{\delta}{4}} = 1 \pm \frac{\delta}{4}$ - теңдігі математикалық анализ курсынан белгілі.

г) Практикада шарлардың соқтығуы абсолют серпімді болмайды, сондықтан $k = \frac{E_2}{E_1}$ (7.10) қатынасымен анықталатын қалпына келтіру коэффициенті енгізіледі; мұндағы E_1 шарлардың соқтыққанға дейінгі энергиясы, E_2 шарлардың соқтыққаннан кейінгі энергиясы. Коэффициент k -ны есептеу үшін (7.10) теңдеуге энергияның мәндерін қойсақ, онда:

$$k = \left(\frac{\sin \alpha'_1}{\sin \alpha_1} \right)^2 + \frac{m_2 \sin^2 \frac{\beta}{2}}{m_1 \sin^2 \frac{\alpha_1}{2}}.$$

1. Құралдың құрылысымен танысып, шарларды беттері өзара жанасып, ал олардың центрлері бір горизонталь түзудің бойында орналасатындай етіп іліңіздер.

2. Сенімділік ықтималдығы $\alpha = 0,95$ деп алып, әрбір шар тербелісінің өшуінің логарифмдік декрементін табыңыздар.

3. $\alpha = 0,95$ осы ықтималдықпен әрбір шардың массасын анықтаңыздар.

4. $\alpha = 0,95$ ықтималдықпен импульстің сақталу заңын тексеріңіздер. Ол үшін (7.8) теңдіктің сол және оң бөлігінің орташа мәнін және сенімділік интервалын табыңыздар.

5. Өлшеулер нәтижесін пайдаланып, қалпына келтіру коэффициентінің шамасын табыңыздар.

Бақылау сұрақтары:

1. Денелердің импульстерінің сақталу заңының мазмұны қандай?
2. Энергияның сақталу заңы қалай айтылады?
3. Өшудің логарифмдік декременті дегеніміз қандай физикалық шама?
4. Қалпына келтіру коэффициенті дегеніміз қандай физикалық шама?

Лабораториялық жұмыс №8. Механикалық энергияның сақталу заңын тексеру

Жұмыстың мақсаты: дененің ілгерілемелі және айналмалы қозғалыс кезіндегі механикалық энергияның сақталу заңын тексеру.

Керекті құрал-жабдықтар: Көлбеу науадан тұратын қондырғы, болат шар, ішіне құм салынған жәшік, өлшегіш сызғыш.

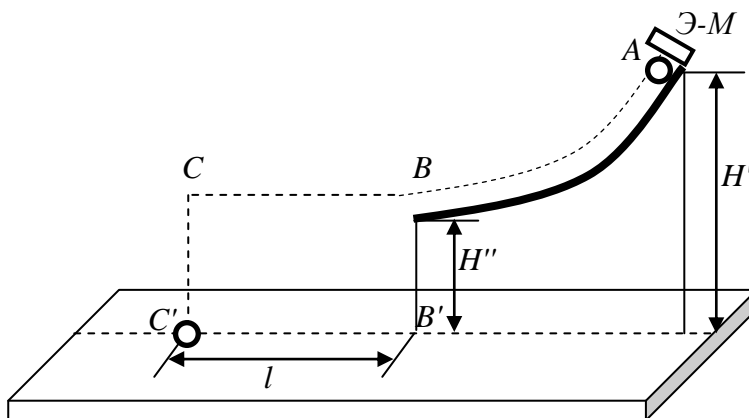
Теориядан қысқаша мағлұматтар

Энергияның сақталу заңы былай тұжырымдалады: тұйықталған жүйеде энергия бір түрден екінші түрге түрлене алады және бір денеден екінші денеге беріле алады, бірақ оның жалпы мөлшері өзгеріссіз қалады. Егер механикалық энергия энергияның басқа түріне айналмаса, онда қозғалыс механикалық энергияның сақталу заңы орындалатын тұйықталған консервативтік жүйеде өтеді деп есептеледі. Тұйықталған консервативтік жүйенің қозғалысы кезінде оның механикалық энергиясы (E) өзгермейді, яғни кинетикалық энергия (E_k) мен потенциалдық энергияның (E_p) қосындысы тұрақты шама болады:

$$E = E_k + E_p = const. \quad (8.1)$$

Қарастырылып отырған жұмыста механикалық энергияның сақталу заңы көлбеу науашамен домалайтын кішкене шардың көмегімен тексеріледі. Кішкене шардың көлбеу науашадағы қозғалысын қарастырайық.

Қарастырылып отырған жұмыста механикалық энергияның сақталу заңы көлбеу науашамен домалайтын кішкене шардың көмегімен тексеріледі. Кішкене шардың көлбеу науашадағы қозғалысын қарастырайық (8.1-сурет).



8.1-сурет.

Домалаған кішкене шар энергиясының бір бөлігін домалау үйкелісі мен ауаның кедергі күшін жеңуге жұмсайды. Бірақ тәжірибе, егер кішкене болат шар мен наушаның беті мұқият тегістелген болса, онда бұл энергия шығынының тым аз екенін, яғни оны ескермеуге де болатынын көрсетеді.

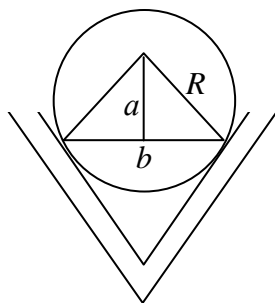
Массасы m шар A нүктесінде қозғалмай тұр дейік. Онда $E_k = 0$, $E_p = mgH'$. Шар домалап, A нүктесінен h биіктікте төмен жатқан B нүктесіне жеткен, оның энергиясы $\Delta E_p = mgh$ (8.2) шамасына кемиді. Бұл жағдайда, механикада энергияның сақталу заңы бойынша, егер энергия шығыны мейлінше аз болса, онда кішкене шар потенциалық энергияның өзгерісіне тепе-тең кинетикалық энергияға ие болады: $E_k = \Delta E_p$. Науаша бойымен сырғанамай домалайтындықтан, кішкене шардың кинетикалық энергиясын оның ілгерілемелі қозғалысының кинетикалық энергиясы мен шардың массалар центрінен өтетін өске қатысты айналысының кинетикалық энергиясының қосындысы ретінде қарастыруға болады. Немесе кішкене шардың кинетикалық энергиясын, оның B сызығы арқылы өтетін лездік айналу центріне қатысты кинетикалық энергия деп те есептей аламыз:

$$E_k = \frac{I\omega^2}{2}. \quad (8.3)$$

мұндағы I - кішкене шардың B сызығынан өтетін өске қатысты массалар центрінің инерция моменті, ω - бұрыштық жылдамдық. Штейнер теоремасы бойынша кішкене шардың массалар центріне өтпейтін өске қатысты инерция моменті былай өрнектеледі:

$$I = I_0 + ma^2. \quad (8.4)$$

мұндағы $I_0 = 0,4mR^2$ - кішкене шардың массалар центрінен өтетін өске қатысты инерция моменті; a - өстердің ара қашықтығы 3.8.2-суреттен $a = \sqrt{R^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2}$.



8.2-сурет.

Осыдан мынаны табамыз:

$$I = 1,4mR^2 - 0,25mb^2 = m(1,4R^2 - 0,25b^2) \quad (8.6)$$

Массалары центрінің сызықтық жылдамдығы (ϑ) бұрыштық (ω) жылдамдық пен ара қашықтық (a) арқылы өрнектеуге болады:

$$\omega = \frac{\vartheta}{a};$$

демек,

$$E_k = \frac{I\omega^2}{2} = m\vartheta^2 \frac{(1,4R^2 - 0,25b^2)}{(2R^2 - 0,25b^2)}. \quad (8.7)$$

Механикадағы энергияның сақталу заңы бойынша:

$$m\vartheta^2 \frac{(1,4R^2 - 0,25b^2)}{2(R^2 - 0,25b^2)} = mgh,$$

бұдан

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2gh(R^2 - 0,25b^2)}{(1,4R^2 - 0,25b^2)}}, \quad (8.8)$$

Кішкене шар қозғалысын одан әрі қарай қарастырайық. B нүктесінде горизонталь бағытталған ϑ жылдамдығы бар кішкене шар одан әрі қарай тартылыс күшінің әсерінен BC' қисық сызығының бойымен қозғалады. Сонымен, кішкене шар бірден BC бойымен (тартылыс күші әсер етпеген жағдайда және BB' бойымен ($\vartheta = 0$) болғанда) бағытталған екі қозғалысқа қатысады. Қозғалыстардың тәуелсіздік ережесін еске алып, былай жазамыз:

$$H'' = \frac{gt^2}{2} \text{ және } l = \vartheta t. \quad (8.9)$$

мұндағы l - кішкене шардың горизонталь бағытта ұшып өтетін қашықтығы; t - кішкене шардың түсу уақыты. (8.8) және (8.9) формулаларынан мынаны табамыз:

$$l = \sqrt{\frac{4H''h(R^2 - 0,25b^2)}{(1,4R^2 - 0,25b^2)}} = A\sqrt{h}. \quad (8.10)$$

$$\text{мұндағы } A = \sqrt{\frac{4H''(R^2 - 0,25b^2)}{(1,4R^2 - 0,25b^2)}}; \quad h = H' - H''.$$

Сонымен, егер механикадағы энергияның сақталу заңы мен қозғалыстың тәуелсіздік заңы орындалса, онда ара қашықтық (l) түсу биіктігінің квадрат түбіріне \sqrt{h} пропорционал болады. Бұл жұмыста механиканың негізгі қағидаларын тексеру үшін (8.10) формула қолданылады.

Құрал таянышқа бекітілген иілген науаша түрінде жасалады. Науаша бойымен электромагнит қозғалып тұрады. Ол токқа қосылған кезде кішкене шарды науашаның бойындағы көрсетілген биіктікте (H') ұстап тұра алады. Электромагнит тумблер арқылы токтан ажыратылады. Қабылдағыш платформада ашылып жабылатын жақтау бар. Оның астына көшірме қағаз бен миллиметрлік қағаз қойылады.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Қабылдауыш платформадағы жақтаудың астына боялған жағын жоғары қаратып, көшірме сызылған жағын төмен қаратып миллиметрлік қағаз салынады. Есептеудің басы болып саналатын B' нүктесі белгіленеді.

2. Кішкене шарды H биіктікте ұстап тұратындай етіп магнит бекітіледі. Электромагнитті токтан ажыратқан кезде кішкене шар қабылдағыш платформаға түсіп, түскен жеріне өзінің ізін қалдырады.

3. Қағаз орнынан жылжытылмай, оқытушы көрсеткен биіктіктер үшін 2 тармақтағы тәжірибе қайталанады.

4. Миллиметрлік қағазбен $h_i = H'_i - H''$ биіктікке сәйкес келетін l_i қашықтық, кестеге жазылады.

5. $\sqrt{h_i}$ -ды есептеп, l_i -дің $\sqrt{h_i}$ -қа тәуелділігін кескіндейтін графигі сызылады.

6. Графикке талдау жасалады, түзудің көлбеулік бұрышының тангенсі бойынша тұрақты A шамасы анықталады.

7. Тәжірибе нәтижелерін 8.1-кестеге толтырыңыздар.

8.1-кесте.

Тәжірибе саны n	$H'_1, м$	$H''_1, м$	$h_1, м$	$l_1, м$	$\sqrt{h}, м$
1					
2					
3					
4					
5					

Бақылау сұрақтары:

1. Энергияның, кинетикалық және потенциалдық энергияның анықтамасын беріңіздер.

2. Айнымалы қозғалыстағы дененің кинетикалық энергиясының формуласы.

3. Механикадағы энергияның сақталу заңының анықтамасын беріңіздер.

Лабораториялық жұмыс №9. Серпімділік күшінің дененің деформациясына тәуелділігін зерттеу

Жұмыстың мақсаты: сымның керілуін өлшеу арқылы Гук заңының серпімді деформацияға қолданылу әдісімен танысу.

Керекті құрал-жабдықтар: созылу деформациясын зерттеуге арналған қондырғы, миллиметрлік бөлігі бар өлшеуіш сызғыш, ұзындығы 500 мм, диаметрі 0,2-0,3 мм болат сым.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Егер деформацияны тудыратын күштердің әсері тоқталғаннан кейін дене алғашқы өлшемі мен формасына қайтып келетін болса, ондай деформация серпімді деформация деп аталады.

Деформацияны тудыруға себепші болатын күш әрбір нақты денеге тән біршама шектен асып кетпеген жағдайда ғана серпімді деформация болады. Осы шектен асып кеткенде дене қалдық немесе пластикалық деформация алады, ал олар күштің әсері тыйылғаннан кейін де денеде сақталып қалады.

Қатты дененің серпімді деформацияларының барлық мүмкін болатын түрлерін негізгі екі - созылу (немесе сығылу) және ығысу деформациясына топтастыруға болады.

Созылу деформациясы. Егер қимасы тұрақты әрі біртекті стерженьнің ұштарына, әсері барлық қима бойымен бір қалыпты таралатын, әрі стержень өсінің бойымен бағытталған F_1 және F_2 ($F_1 = F_2 = F$) күштерін түсірсек, онда стерженьнің l ұзындығы оң (созылу кезінде) немесе теріс (сығылу кезінде) Δl өсімшесін алады (9.1-сурет). Бұл жағдайда стерженьнің еркінше алынған әрбір δl элементі $\Delta(\delta l)$ өсімшесін алады, ал бұл өсімше элементтің ұзындығына пропорционал болады, демек, стерженьнің барлық элементтері үшін $\frac{\Delta(\delta l)}{\delta l}$ қатынасы бірдей болып шығады. Сондықтан стерженьнің деформациясын сипаттайтын шама ретінде оның ұзындығының салыстырмалы ұзаруын (өзгеруін) алған дұрыс болады:

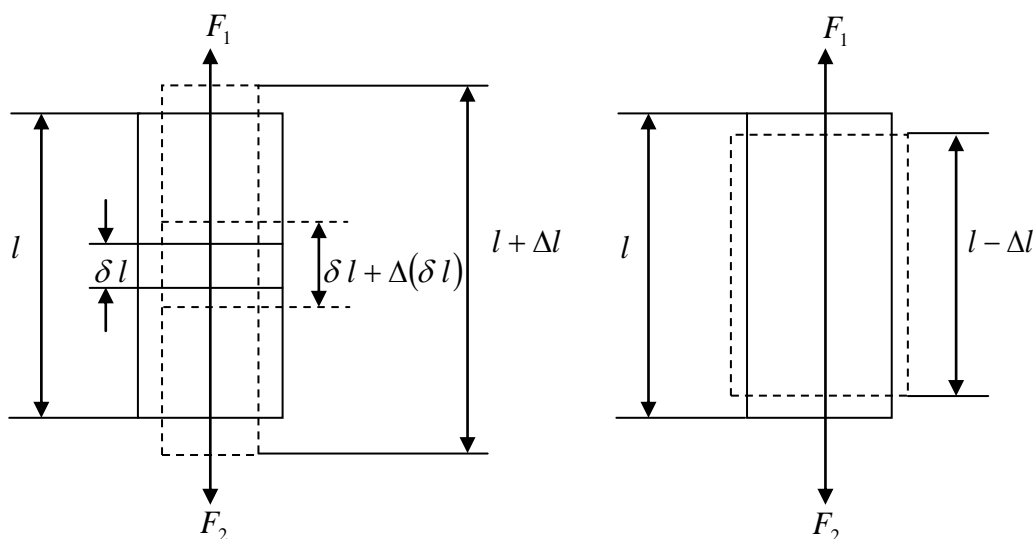
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (9.1)$$

ε салыстырмалы ұзындығы өзінің анықтамасынан көрініп тұрғанындай, өлшемсіз шама болады. Созылу жағдайында ол оң, ал сығылу жағдайында ол теріс шама болады.

Тәжірибенің көрсетуіне қарағанда, берілген материалдан жасалған стержень үшін серпімді деформация кезіндегі салыстырмалы ұзару стерженьнің көлденең қимасының бірлік ауданына түсетін күшке пропорционал болады:

$$\varepsilon = \alpha \frac{F}{s} \quad (9.2)$$

α пропорционалдық коэффициенті серпімділік коэффициенті деп аталады. Ол тек стержень материалының қасиетіне ғана тәуелді болады.



9.1-сурет.

Күш пен осы күш әсер ететін бет шамасының қатынасына тең шама кернеу деп аталады. Дене бөлшектерінің бір-біріне өзара әсерлесуі арқасында кернеу дененің барлық нүктесіне беріледі - стерженьнің барлық көлемі кернеу түскен күйде болып шығады. Егер күш бетке нормаль бойымен бағытталса, ондай кернеу қалыпты кернеу деп аталады. Егер күш осы күш түсетін бетке жанама бойымен бағытталса, ондай кернеу тангенциаль кернеу деп аталады. Қалыпты кернеуді σ әрпімен, тангенциаль кернеуді τ әрпімен белгілеу қабылданған.

$$\sigma = \frac{F}{s} \quad (9.3)$$

Қалыпты кернеуін енгізіп, (9.1) теңдеуді былай жазуға болады:

$$\varepsilon = \alpha \sigma \quad (9.4)$$

Сонымен, салыстырмалы ұзару қалыпты кернеуге пропорционал болып шығады. (9.4) теңдеуінен мынадай қорытынды шығады. α серпімділік коэффициенті сан жағынан, кернеу кезіндегі бірлік салыстырмалы ұзаруға тең болады.

Материалдың серпімді қасиеттерінің сипаттамасы үшін α серпімді коэффициентімен қатар, оған кері Юнг модулы деп аталатын $E = \frac{1}{\alpha}$ шамасы пайдаланылады.

(9.4) формуласындағы α -ны E арқылы алмастырып, мынаны аламыз:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (9.5)$$

бұдан Юнг модулы, салыстырмалы ұзаруы бірге (бір бүтінге) тең болатындай (яғни ұзындықтың өсімшесі Δl бастапқы l ұзындығына тең болатындай) қалыпты кернеуге тең, ал осындай үлкен серпімді деформацияның болуы мүмкін емес (шынында да, одан едәуір аз кернеу кезінде стержень үзіледі, ал серпімділік шегіне одан да ерте жетеді).

(9.1) және (9.5) қатыстарын ескере отырып, (9.3) қатысын мынадай түрге келтіруге болады:

$$f = \frac{Es}{l} \Delta l = k\Delta l, \quad (9.6)$$

мұндағы k - берілген стержень үшін тұрақты коэффициент.

(9.6) қатысына сәйкес серпімді деформация кезіндегі стерженьнің ұзаруы стерженьге әсер ететін күшке пропорционал болады. (9.6) қатысы берілген деформацияға арналған Гук заңын көрсетеді. Бұл заң серпімділік шегіне жетпеген кезге дейін ғана орындалады.

Стержень ұзындығының деформация кезінде өзгеруі стерженьнің d көлденең өлшемінің соған сәйкес өзгеруімен қосарланады (9.1-сурет). Бұл өзгерісті салыстырмалы көлденең ұлғаюмен немесе сығылумен сипаттау қабылданған:

$$\varepsilon' = \frac{\Delta d}{d} \quad (9.7)$$

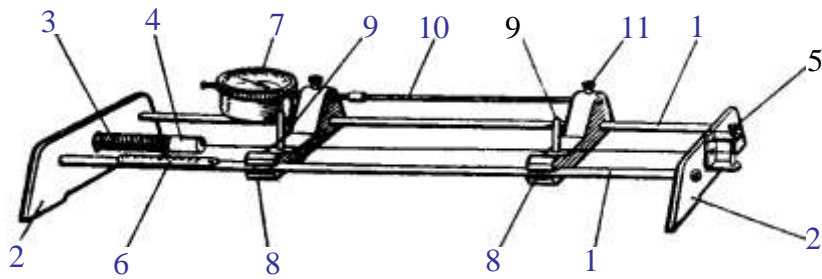
ε мен ε' әрқашанда әр түрлі таңбалы: созылғанда Δl оң, ал Δd теріс, сығылғанда Δl теріс, ал Δd оң болады. Тәжірибенің көрсетуіне қарағанда, ε' -тің мәні ε -ге пропорционал болады:

$$\varepsilon' = -\mu\varepsilon, \quad (9.8)$$

мұндағы μ - материалдың тек қасиетіне тәуелді болатын оң коэффициент. Оны көлденең сығылу коэффициенті $\mu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = \frac{\Delta d}{d} : \frac{\Delta l}{l}$ (9.9) немесе Пуассон коэффициенті деп атайды.

Қондырғының сипаттамасы мен жұмыстың орындалуы

Созылу деформациясын зерттеуге арналған құрал (9.2-сурет) ұштары тағандарға (2) бекітілген екі бағыттаушы болат стерженьдерден (1) тұрады. Құралдың бір жақ ұшына (стерженьдердің арасына) болат пружина түріндегі динамометр (3) монтаждалған. Динамометр сымды бекітуге арналған алмалы-салмалы төсем (4) тұратын ойығы бар төлкемен бітеді. Құралдың екінші ұшына сымды керіп тұруға арналған червякті механизм (5) бекітілген. Сымның бір ұшы төсемнің көмегімен динамометрге, ал екінші ұшы – червякті механизмнің өсіне бекітілген.



9.2-сурет.

Құлақшаны айналдырған кезде динамометрдің пружинасы созылады. Сонда динамометрдің көрсеткіші ньютонмен градуирленген шкала (6) бойымен орын ауыстырады. Сонымен, құрал сымның созылуын жайлап өзгертуге және әр жолы серпімділік күшін өлшеуге мүмкіндік береді.

Сымның ұзаруын анықтау үшін құрал арнайы индикатормен (7) жабдықталған, ол өлшеуді 0,01 мм-ге дейінгі дәлдікпен жүргізуге мүмкіндік береді.

Сипатталған құралмен бүкіл сымның ұзаруын емес, тек қана екі тиекпен (8) шектелген бөліктегі ұзаруды өлшейді, оларға сымды винттік қысқыштың (9) көмегімен бекітеді. Бұл тәсіл тәжірибеде сымның бекітілген жерлеріндегі ішінара босаудың салдарынан пайда болатын ауытқуды болдырмауға мүмкіндік береді.

Динамометрге жақын орналасқан сырғыма тиектің біріне индикатор орнатылған, ал екіншісіне винтпен (11) қысатын стержень (10) бекітілген. Стерженьнің ұшында оны индикатормен жалғастыруға арналған резеңке қондырмасы бар.

Сым созылған кезде тиектердің арасында қашықтық артады да, өзінің ұзындығын өзгертпейтін стержень (ол созушы күштің әсеріне ұшырамайды) индикатордың штифін сымның ұзаруының мәніндей аралыққа жылжытады. Ұзару индикатордың стрелкасының көрсетулері бойынша анықталады: үлкені миллиметрдің жүздік үлесін, ал кішісі – бүтін миллиметрлерді көрсетеді. Сымның бастапқы ұзындығын миллиметрлік бөліктері бар сызғышпен өлшейді.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Созылу деформациясын зерттеуге арналған құралдың құрылысымен және жұмыс істеу принципімен танысыңыздар.

2. Құралдағы болат сымның ұштарын бекітіңіздер. Сонан соң сымды жайлап тартып тұрып, оны тиектердің винттік қысқыштарының астына қойып, оларды бекітіңіздер.

3. Стерженьді индикатордың штифтімен жалғаңыздар. Бұл үшін стерженьді қысып тұрған винтті босатып, оны индикатордың штифтісіне барынша тақап қойыңыздар. Содан соң стерженьді қайтадан винтпен бекітіңіздер.

4. Құлақшаны бұрай отырып, динамометрдің көрсеткішін шкаланың нөліне келтіріп қойыңыздар.

5. Индикатордың шкаласын стрелка нөлге дәл келгенше жиегін айналдыра бұрай отырып, индикатордың үлкен стрелкасын нөлге келтіріп қойыңыздар.

6. Сымның винттік қысқыштары центрінің арасындағы бастапқы l ұзындығын және микрометрдің көмегімен бастапқы енін d өлшеңіздер және нәтижесін 3.30.1-кестеге жазыңыздар.

7. Червякті механизмнің құлақшасын бұрай отырып, серпімділік күшін біртіндеп арттырыңыздар және әрбір 5 Н сайын сымның абсолют ұзаруын Δl индикатор бойынша белгілеп отырыңыздар.

8. Деформацияны сипаттау үшін болат сымның салыстырмалы ұзаруының мәнін $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ формуласымен есептеңіздер. Нәтижені 3.30.1-кестеге жазыңыздар.

9. Күштің мәнін 50 Н-ға дейін жеткізіп, құлақшаны кері жаққа қарай айналдырыңыздар, яғни сымның қалай қысқаратынын бақылай отырып, күшті алып тастаңыздар және микрометрдің көмегімен сым енінің абсолютті ұзаруын Δd өлшеңіздер.

10. Сым енінің салыстырмалы ұзаруын $\varepsilon' = \frac{\Delta d}{d}$ формуласымен есептеңіздер. Нәтижені 9.1-кестеге жазыңыздар.

11. $\mu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = \frac{\Delta d}{d} : \frac{\Delta l}{l}$ формуласы арқылы Пуассон коэффициентін есептеп, нәтижені 3.30.1-кестеге жазыңыздар.

12. Сымның деформациясының серпімді болатынына көз жеткізіп, тәжірибені қайталаңыздар және бақылау нәтижелерін 3.30.1-кестеге жазыңыздар.

13. Серпімділік күшін 10 және 30 Н етіп алып, болат үшін сымның қатаңдық коэффициентін k есептеп шығарыңыздар. Эксперименттен алынған нәтижелер кестелік (теориялық) мәндерге қаншалықты жақын келеді?

14. Тәжірибеден алынған мәліметтер бойынша миллиметрлік қағазға серпімділік күшінің болат сымның созылуына тәуелділігінің графигін, абсцисса өсіне абсолют ұзаруды, ал ордината өсіне – серпімділік күшін өлшеп сала отырып, сызыңыздар. Графикті талдау негізінде серпімділік күші модулының абсолют ұзаруға тәуелділігі туралы қорытынды жасаңыздар.

9.1-кесте.

$l_0, 10^{-3} \text{ м}$	$\Delta l, 10^{-3} \text{ м}$	ε	$d, 10^{-3} \text{ м}$	$\Delta d, 10^{-3} \text{ м}$	ε'	μ	$F, \text{ Н}$

Ескертпе. Егер сымды созғанда динамометрдің де, индикатордың да стрелкасы бір мезгілде қозғала бастайтын болса, онда құрал нөлге дұрыс келтірілген болып саналады.

Бақылау сұрақтары:

1. Жасалған тәжірибелерде неліктен бүкіл сымның ұзаруын емес, оның екі тиекпен шектелген бөлігінің ғана ұзаруын өлшейді?
2. Серпімділік коэффициенті серпімділік күшінің зерттеліп отырған үлгісінің өлшемдеріне тәуелді бола ма?
3. Бұл тәжірибелердегі ең аз қателікпен өлшенетін шама қайсы? Қайсысы ең көп қателікпен өлшенеді?

Лабораториялық жұмыс №10. Айналдыру әдісімен физикалық маятниктің ауырлық центрін анықтау

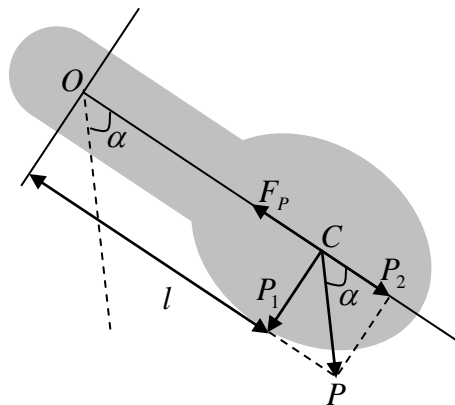
Жұмыстың мақсаты: Аудармалы маятниктің ауырлық центрін анықтау.

Керекті құрал-жабдықтар: аудармалы маятник, секундомер, масштабты сызғыш.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Физикалық маятник деп, ауырлық центрі арқылы өтпейтін, қозғалмайтын горизонталь өске бекітілген және осы өс арқылы тербеле алатын денені айтады (10.1-сурет).

Тепе-теңдік күйден аз α – бұрышына ауытқыған маятниктің гармоникалық тербелісте болатынын дәлелдейік. O нүктесі арқылы өтетін өс бойынша маятниктің инерция моментін J дейік. Ауырлық центр C нүктесінде болса, ауырлық күшті екіге жіктеуге болады: P_2 құраушысы тірек реакциясымен (F_p) теңгерілсе, ал P_1 құраушысы ($P_1 = P \sin \alpha$) (10.1) маятникті қозғалтады.



10.1-сурет.

Айналмалы қозғалыс үшін механиканың II-ші заңы: $\varepsilon J = M$ түрінде жазылады. Біздің жағдайда (10.1-сурет): күш моменті ауытқуға қарсы бағытталған. Сондықтан $J\varepsilon = -Pl$ (10.2) мұнда ε – бұрыштық үдеу, $\varepsilon = \frac{d^2\alpha}{dt^2}$

(10.3) $l = OC$ ілінген (O) нүктесінен ауырлық центрі (C) дейінгі аралық, бұрышы болымсыз аз шама болса, онда $\sin\alpha \approx \alpha$, сондықтан $P\sin\alpha \approx P\alpha \approx mg\alpha$ (10.4)

Енді (3.10.3), (3.10.4) теңдеулерді (3.10.2) теңдеуге қойсақ, $J \frac{d^2\alpha}{dt^2} = -mgl\alpha$

немесе $\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{mgl}{J}\alpha = 0$ (3.10.5) теңдеуі шығады. (3.10.5) теңдеудегі $\frac{mgl}{J} = \omega^2$ деп

белгілесек, бұл теңдеу гармоникалық осциллятордың теңдеуіне ұқсайды. Сондықтан бұл дифференциалдық теңдеудің бір дербес шешімі болады $\alpha = A\sin\omega t$ (10.6). Шынында (10.6) теңдеуден екі рет туынды алып, оны (10.5)-

теңдеуге қойсақ, онда $\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -A\omega^2 \sin\omega t = -\frac{mgl}{J}A\sin\omega t = -\frac{mgl}{J}\alpha$ (3.10.7) теңдеуі

шығады. (10.6), (10.7) теңдеулерін (10.1) теңдеуге қойсақ, онда теңдеудің сол жағы нөлге тең болып шыға келеді. (10.7) теңдеуді (10.1) теңдеумен

салыстырсақ $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgl}}$ (10.8) теңдеуін аламыз.

Бұл (10.8) теңдеуден тербелістің периоды инерция моменті өскен сайын өсе беретінін байқаймыз.

Айналдыру әдісімен физикалық маятниктің ауырлық центрін анықтайық. Айналмалы маятниктің үшкір тіреуіштерінің (призмаларының) арақашықтығы L -ға тең болса, онда ауырлық центрді (10.8) теңдеу бойынша былай табуға болады:

$$J_1 = \frac{T_1^2 mgl}{4\pi^2}. \quad (10.9)$$

мұндағы l – ауырлық центрден ілінген нүктеге дейінгі аралық. Егер де маятникті аударсақ, оның тербеліс периоды өзгереді, өйткені оның инерция моменті және айналу өсінен ауырлық центрге дейінгі аралығы өзгереді:

$$J_2 = \frac{T_2^2 mg(L-l)}{4\pi^2}. \quad (10.10)$$

Айналу өсін параллель көшіру кезінде инерция моментін Гюйгенс-Штейнер теоремасы бойынша анықтаймыз:

$$J_1 = J_0 + ml^2. \quad (10.11)$$

мұндағы J_0 – ауырлық центрден өтетін өс арқылы анықталынатын инерция моменті.

Аударылған маятник үшін былай жазуға болады:

$$J_2 = J_0 + m(L-l)^2. \quad (10.12)$$

$$J_2 - J_0 = mL(L-2l). \quad (10.13)$$

(10.9), (10.10) өрнектердің айырымын (10.7)-өрнекпен салыстырсақ:

$$\frac{1}{4\pi^2} mg[(L-l)T_2^2 - lT_1^2] = mL(L-2l)$$

Осыдан:

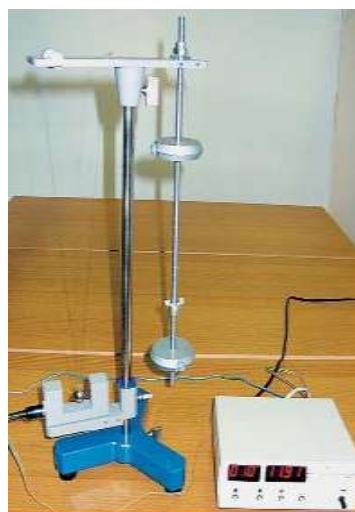
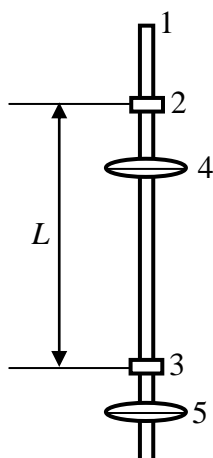
$$l = \frac{4\pi^2 L^2 - gLT_2^2}{8\pi^2 L - g(T_2^2 - T_1^2)}. \quad (10.14)$$

мұндағы l - физикалық маятниктің ауырлық центрі анықталғаннан кейін (10.9), (10.10) формулалар арқылы екі айналу өсіне байланысты инерция моменттерін анықтауға болады.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Құралдың құрылысымен танысып, оны жұмыс күйіне келтіріңіздер. Аудармалы маятник екі призмасы бар (2,3) металл стерженнен (1) және екі жасымықтан (4,5) тұрады (10.2-сурет).

2. (4) жасымығы бар металл стерженнің бос ұшына (5) жасымықты бекітіңдер.



10.2-сурет.

3. Металл стержень бойында орналасқан екі призманың арақашықтығын L метрлік сызғышпен өлшеңдер.

4. Маятникті орнына іліп, оның тербеліс периодын табыңдар. Ол үшін маятникті $4^\circ \div 5^\circ$ бұрып еркін тербелтіндер де, $n = 20 \div 30$ толық тербеліске кеткен t_1 уақытты секундомермен өлшеңдер.

5. Өлшеу нәтижесін $T_1 = \frac{t_1}{n}$ өрнегіне қойып, маятниктің периодын есептеңдер.

6. Маятникті аударып, екінші призма тіреуіште еркін тербелетіндей етіп орнатыңдар.

7. 4-ші тармақтағы өлшеуді (t_2) және 5-ші тармақтағы есептеулерді $T_2 = \frac{t_2}{n}$ қайталаңдар.

8. 4,5,6 тармақтардағы көрсетілген әдістермен маятниктің тура және аударылған күйіндегі тербеліс периодтарын есептеп, нәтижесін кестеге жазыңдар.

9. Маятниктің тура және аударылған күйіндегі тербеліс периодтарын T_1 , T_2 тапқаннан кейін (10.14) теңдеуді пайдаланып, маятниктің ауырлық центрін l есептеңдер. Нәтижесін 10.1-кестеге толтырыңыздар.

10. Маятниктің ауырлық центрін l есептегеннен кейін (3.10.9) және (10.10) теңдеулері арқылы екі айналу өсіне байланысты инерция моменттерін J_1 мен J_2 есептеңіздер.

10.1-кесте.

№	L	T_1	T_1^2	T_2	T_2^2	l	$\langle l \rangle$	$\langle \Delta l \rangle$	$\frac{\langle \Delta l \rangle}{\langle l \rangle}$	$l = \langle l \rangle \pm \langle \Delta l \rangle$
1										
2										
3										
4										
5										

Бақылау сұрақтары:

1. Физикалық маятниктің периоды массаға байланысты ма?
2. Инерция моменті қандай физикалық шама?
3. Күш моменті қандай физикалық шама?
4. Импульс моментінің физикалық мәні қандай?

Лабораториялық жұмыс №11. Домалау үйкелісі

Жұмыстың мақсаты: Көлбеу маятник көмегімен домалау үйкеліс құбылысын оқып үйрену.

Керекті құрал-жабдықтар: лабораториялық қондырғы. Әр түрлі материалдан жасалған пластинкалар.

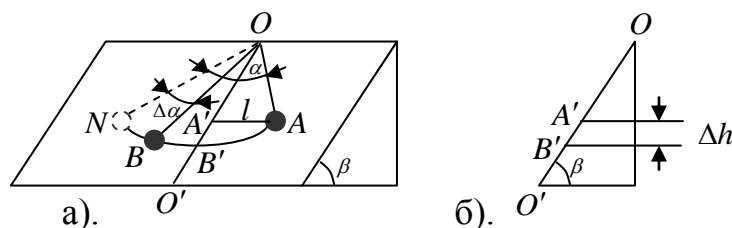
Теориядан қысқаша мағлұматтар

Жіңішке, созылмайтын жіпке ілінген шарды көлбеу жазықтықтың бойымен α бұрышына бұрып қоя берсе домалана қозғалады да, ол тепе-теңдіктің (OO' өсінің) маңында тербелмелі қозғалысқа түседі. Үйкелістің нәтижесінде тербелмелі қозғалыс тез өше бастайды.

Егер шардың орнына жазық беті бар дене (мысалға куб) алсақ, онда тербеліс өте тез өшеді. Себебі сырғанау үйкелісі үшін $\mu \sim 10^{-1}$, ал домалау үйкелісі $\mu \sim 10^{-3}$. Сырғанау үйкелісін бұл әдіспен өлшеген кезде қате мөлшері тым үлкен болар еді. Тербеліс амплитудасының кемуімен домалау үйкеліс коэффициенті μ шамаларын байланыстырайық. 11.1-суретте A нүктесі, шардың кейін қайту нүктесі. Бұл жағдайда жіптің OO' өсінен ауытқу бұрышы α . Егер үйкеліс болмаса, онда жарты периодта шар N нүктесінде болар еді де, тепе-теңдіктен ауытқу бұрышы тағы да α тең болар еді. Бірақ үйкелістің нәтижесінде шар N нүктесіне жете алмайды, ол B нүктесінен кейін қайтады. Бұл B нүктесінде шар байланған жіп OO' өсімен $\alpha - \Delta\alpha$ бұрышын жасайды. Жарты периодта ауытқу бұрышы $\Delta\alpha$ шамасына кемиді. B нүктесі A нүктесімен салыстырғанда төмендеу орналасқан, сондықтан маятниктің потенциалды энергиясы B нүктесінде, бастапқы қалыппен салыстырғанда аздау. Яғни, маятник жарты период ішінде Δh шамасына тең биіктікті жоғалтады (11.1-суреттің б) бөлігі).

$\Delta\alpha$ шамасымен Δh арасындағы байланысты табайық. 11.1-суреттің а) бөлігінен көрініп тұрғандай: $OB' = l \cos(\alpha - \Delta\alpha)$, $OA' = l \cos \alpha$, демек $A'B' = l \cos(\alpha - \Delta\alpha) - l \cos \alpha$. Мұндағы l жіптің ұзындығы. Енді 11.1-суреттің б) бөлігінен: $\Delta h = A'B' \sin \beta$ немесе $\Delta h = \sin \beta [l \cos(\alpha - \Delta\alpha) - l \cos \alpha]$ (11.1).

$\Delta\alpha$



11.1-сурет.

Жарты период ішінде A және B нүктелерінің арасында потенциалды энергияның өзгерісі:

$$\Delta W = mg\Delta h, \quad (11.2)$$

Мұндағы, m - шар массасы, g - еркін түсу үдеуі.

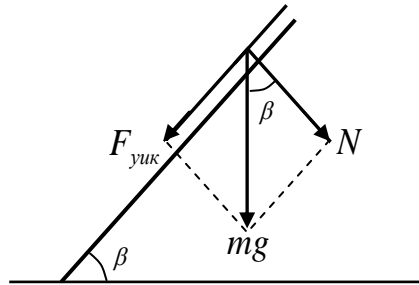
Үйкеліс күші Кулон-Амонтон заңы бойынша:

$$F_{\text{үйкеліс}} = \mu N. \quad (11.3)$$

Мұндағы, μ - үйкеліс коэффициенті, N - қалыпты қысым күші.

11.2-суретте көрсетілгендей қалыпты $N = mg \cos \beta$ тең. Жарты период кезінде шардың жүрген жолы $\Delta S = AA' + BB' = l \sin \alpha + l \sin(\alpha - \Delta \alpha)$, сондықтан үйкеліс күшінің бұл жолдағы жұмысы:

$$A = F_{\text{үйкеліс}} \Delta S = \mu mg \cos \beta l [\sin \alpha + \sin(\alpha - \Delta \alpha)]. \quad (11.4)$$



11.2-сурет.

Бұл жұмыс потенциалдық энергияның кемуіне тең: $\Delta W = A$, немесе

$$mg \sin \beta l [\cos(\alpha - \Delta \alpha) - \cos \alpha] = \mu mg \cos \beta l [\sin \alpha + \sin(\alpha - \Delta \alpha)],$$

$$\mu \frac{\cos \beta}{\sin \beta} = \frac{\cos(\alpha - \Delta \alpha) - \cos \alpha}{\sin \alpha + \sin(\alpha - \Delta \alpha)}. \quad (11.5)$$

Бұл (5) өрнек, α және $\Delta \alpha$ бұрыштарының аздығын ескерсек, $\cos(\alpha - \Delta \alpha) = \cos \alpha \cos \Delta \alpha + \sin \alpha \sin \Delta \alpha \approx \cos \alpha + \Delta \alpha \sin \alpha$, $\sin \alpha \approx \alpha$, $\sin(\alpha - \Delta \alpha) \approx \alpha - \Delta \alpha$, мынадай түрге келеді:

$$\mu \operatorname{ctg} \beta = \frac{\Delta \alpha \sin \alpha}{2\alpha - \Delta \alpha}. \quad (11.6)$$

Бұл (11.6) өрнектен жарты период ішінде ауытқу бұрышының кемуі $\Delta \alpha$ үшін мына тендеуді аламыз:

$$\Delta\alpha = \frac{2\mu \operatorname{ctg}\beta \cdot \alpha}{\mu \operatorname{ctg}\beta + \alpha}. \quad (11.7)$$

Егер амплитуданың шамасы жеткілікті үлкен болса, онда:

$$\alpha = \sin \alpha \gg \mu \operatorname{ctg}\beta, \quad (11.8)$$

мұндағы $\mu \approx 1 \cdot 10_{-3}$ жуық шама. Сондықтан (11.7) теңдеу мынадай түрге келеді:

$$\Delta\alpha = 2\mu \operatorname{ctg}\beta. \quad (11.9)$$

Бір толық тербеліс жасағанда бұрыштық кему мөлшері $\Delta\alpha_1 = 4\mu \tilde{n} \operatorname{tg}\beta$ тең, ал n толық тербеліс жасалғанда бұрыштың кему мөлшері былай анықталады:

$$\Delta\alpha_n = 4n\mu \operatorname{ctg}\beta,$$

ал бұл өрнектен домалау үйкеліс коэффициенті:

$$\mu = \frac{\Delta\alpha_n}{4n} \operatorname{tg}\beta, \quad \Delta\alpha_n = \alpha_0 - \alpha_n.$$

мұндағы, α_0 бастапқы кездегі ауытқу, α_n , n - тербелістен кейінгі ауытқу.

$$\mu = R \frac{\cos \alpha_0 - \cos \alpha_n}{4n\alpha_{opt}} \operatorname{tg}\beta, \quad \alpha_{opt} = \frac{\alpha_0 + \alpha_n}{2}. \quad (11.10)$$

Бұл (11.10) формула домалау үйкеліс коэффициенті μ шамасын табуға ыңғайлы формула; $10 \div 15$ толық тербеліс ішінде тепе-теңдіктен ауытқу бұрышының кемуін ($\Delta\alpha_n$) өлшеп алып, формуладан үйкеліс коэффициентін табуға болады.

Маятник жүгінің тербеліс теңдеуін мына түрде жазуға болады:

$$m^* l \ddot{\alpha} = -mg \sin \beta \sin \alpha \pm \mu^* mg \cos \beta, \quad (11.11)$$

мұндағы $\mu^* = \mu$ - ырғалу үйкеліс коэффициенті, $m^* = m + \frac{J_c}{R^2}$ - келтірілген масса.

Тепе-теңдіктен ауытқу бұрышы жеткілікті аз шама болғанда, яғни $\sin \alpha \approx \alpha \sim a$, жағдай үшін бұл (11.11) теңдеу мынадай күйге келеді:

$$\ddot{\alpha} + \omega_0^2 \alpha = \pm \frac{m}{m^*} \mu^* \frac{g}{l} \cos \beta, \quad (11.12)$$

мұндағы $\omega_0 = \sqrt{\frac{m}{m^*} \frac{g}{l} \sin \beta}$ - тербеліс жиілігі. Тербеліс периоды $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$ үшін мына теңдеуді аламыз:

$$T^2 = T_0^2 \frac{m^*}{m \sin \beta}, \quad (11.13)$$

мұндағы $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$; m - массалы шардың, симметрия өсіне қатысты инерция моменті $J_c = \frac{2}{5} mR^2$, сондықтан $\frac{m^*}{m} = 1 + \frac{J}{mR^2} = 1 + \frac{2}{5} = 1,4$ тең болады, олай болса (11.13) теңдеу мына түрге келеді:

$$T^2 = 1,4T_0^2 \frac{1}{\sin \beta}. \quad (11.14)$$

Бұл теңдеуді тәжірибелік жолмен тексеруге болады, егер ол дұрыс орындалса, онда домалау үйкеліс моделін біз дұрыс тандап алған болып есептелеміз.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Шар қозғалатын бетті таңдап алғаннан кейін, тербеліс жазықтығының горизонтпен жасайтын бұрышын ($30^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$) таңдап алыңыздар.

2. Маятникті тепе-теңдіктен (OO' өсінен) $6^\circ \div 10^\circ$ бұрышқа ауытқытып ешқандай қосалқы әсер болмайтын жағдайға келтіріп жіберіңіздер.

3. Бастапқы амплитуда шамасының $\Delta\alpha_n = 2^\circ$ кемуі үшін керекті толық тербеліс n санын анықтаңыздар.

4. Тербеліс периодының көлбеу жазықтық бұрышы β байланыстылығын тағайындау керек. Ол үшін анықталған толық тербеліс n санын өзгертпей, β бұрышын $30^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$ аралығында өзгертіп, әрбір β мәні үшін миллисекундомердің көмегімен маятник тербеліс периодын анықтаңыздар. Бұрыштың бір мәнінде өлшеуді 2 ÷ 3 рет қайталау керек.

5. Бастапқы амплитуда шамасын өзгертпей, енді 3° және 4° ауытқу бұрышының кемуі үшін керекті толық тербелістер сандарын анықтаңыздар. Тәжірибені көлбеу жазықтықтың $30^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$ мәндері үшін түгелдей қайталап, алынған мәліметтерді 11.1-кестеге толтырыңыздар.

11.1-кесте.

β	α	$\Delta\alpha_1$	n_1	μ_1	$\Delta\alpha_2$	n_2	μ_2	$\Delta\alpha_3$	n_3	μ_3	$\bar{\mu}$
45°											
30°											
60°											

6. Алдымен жеке өлшеу қорытындыларының орта мәннен ауытқуын $(\mu_i - \bar{\mu})$, сонан кейін β әрбір мәнінде μ шамасының абсолюттік қатесін есептеңіздер.

7. T^2 шамасының $\sin \beta$ шамасына байланыстылығын тағайындаңыздар. Ол үшін тербеліс жазықтығын тік вертикаль қалыпқа келтіріп ($\beta = 90^\circ$), шарды тепе-теңдіктен $\alpha = 5^\circ \div 8^\circ$ бұрышқа ауытқытып, жіберу қажет.

8. n толық тербеліс (кем дегенде үш рет) санына сәйкес уақытты миллисекундомер көмегімен анықтап $T_0 = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{t_1 + t_2 + t_3}$ - мәнін есептеңіздер.

Сонан кейін көлбеу жазықтықты $\beta = 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 55^\circ, 60^\circ$ бұрыштарға өзгертіп, әрбір β мәнінде тербеліс периоды T -нің мәнін есептеп табыңыздар. Алынған мәліметтерді 11.2-кестеге толтырыңыздар.

11.2-кесте.

β	90°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
T								
T^2								
$\frac{1}{\sin \beta}$								

9. Алынған мәліметтер бойынша T^2 шамасының $\frac{1}{\sin \beta}$ шамасына байланыстылығының графигін тұрғызыңыздар.

10. Тәжірибелік нүктелер арқылы ең ықтимал түзу сызықты кіші квадраттар әдісімен жүргізіп, бұрыштық коэффициентті $1,4T_0^2$ шамасына теңестіріңіздер.

11. Алынған мәліметті $1,44^2 \pi^2 \frac{l}{g} = 5,6\pi^2 \frac{l}{g}$ шамасымен салыстырыңдар.

Шар ілінген ұзындығы l шамасы $\pm 1 \text{ мм}$ дәлдікпен өлшенуі қажет. Еркін түсу үдеуі үшін $9,8 \text{ м/с}^2$ шамасын алуға болады.

Бақылау сұрақтары:

1. Үйкеліс коэффициенті дегеніміз не?
2. Көлбеу маятниктің үйкеліс күші неге байланысты?
3. Көлбеу жазықтықта шардың қозғалыс тендеуін амплитуданың аз мәні үшін қорытып шығар.

4. Салыстырмалы қате мөлшері $\frac{\Delta\mu}{\mu}$ үшін қандай формула алынады?

5. Тәжірибенің қорытындысына жіптің ұзындығы, жуандығы және материалы қалай әсер етеді?

Лабораториялық жұмыс №12. Иілу деформациясы арқылы серпімділік модулін анықтау

Жұмыстың мақсаты: шамасы аз деформацияны өлшеу әдісімен танысу және иілу деформациясы арқылы серпімділік модулін анықтау.

Керекті құрал-жабдықтар: серпімділік модулін анықтауға арналған қондырғы, сыналатын шыбықтар, жүктер жиынтығы, микрометр, масштабты сызғыш, өлшеуіш индикатор.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Серпімді деформацияланған денеде ішкі күштер пайда болады. Ол денеге әсер ететін сыртқы күшті теңгереді. Сан жағынан дененің көлденең қимасының бірлік ауданына келетін серпімділік күшіне тең физикалық шаманы кернеу деп атайды:

$$\sigma = \frac{dF_{\vec{n}\vec{a}d\vec{r}}}{dS}, \quad (12.1)$$

Егер $dF_{\vec{n}\vec{a}d\vec{r}}$ серпімділік күші dS ауданға түсірілген нормальдың бойымен бағытталса, онда мұндай кернеуді нормаль кернеу деп атайды. Егер серпімді күш ($dF_{\vec{n}\vec{a}d\vec{r}}$) бұл ауданның жанамасы бойымен бағытталса, онда мұндай кернеуді жанама кернеу деп атайды. Нормаль кернеу мына формуламен анықталады:

$$\sigma_0 = \frac{F}{S}.$$

Деформацияның мынадай түрлері бар: созылу, сығылу, ығысу, бұралу және иілу. Абсолют деформацияның (ΔX) дененің өлшемдерін немесе пішінін сипаттайтын шамалардың бастапқы мәндеріне қатынасына тең болатын салыстырмалы деформация ($\varepsilon = \frac{\Delta X}{X}$) деформацияның өлшемі бола алады. Егер денені барлық жағынан сығатын немесе созатын болсақ онда X сол дененің V көлемін $\frac{V}{\Delta X}$ -деформацияланған дене көлемінің кішіреюін немесе ұлғаюын білдіреді. Ал денені ұзына бойымен созатын немесе сығатын болсақ, онда X оның ұзындығын (l) білдіреді. Ағылшын физигі Р.Гук серпімді деформацияға арналған негізгі заңды ашты. Бұл заң бойынша серпімді деформацияланған дененің кернеуі оның салыстырмалы деформациясына пропорционал:

$$\sigma = k\varepsilon, \quad (12.2)$$

мұндағы k - серпімділік модулі.

Дененің ұзына бойымен созылу немесе сығылу деформациясы кезіндегі серпімділік модулін Юнг модулі деп атаймыз да, оны E -деп белгілейміз. Онда Гук заңы мына түрде жазылады:

$$\sigma = E\varepsilon. \quad (12.3)$$

(12.1) және (12.3) формуладағы ε -ні $\frac{l}{\Delta l}$ мен алмастырып, $E = \frac{Fl}{S\Delta l}$ өрнегін табамыз. Егер $\Delta l = l$ болса, онда Юнг модулі $E = \sigma_0 = \frac{F}{S}$ болады. Яғни Юнг модулі Гук заңы дұрыс орындалатын деформацияларда үлгіні екі есе ұзартқанда пайда болатын қалыпты кернеуге тең. Юнг модулінің халықаралық бірліктер жүйесіндегі бірлігі:

$$[E] = \frac{H}{\text{м}^2} = \text{Па}.$$

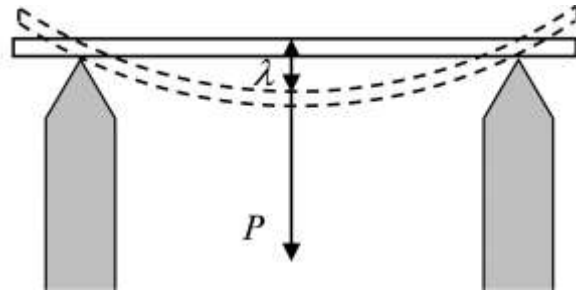
Практикада серпімділік модулі жүйеден тыс бірлік $\frac{\partial \tilde{a}}{\partial \tilde{v}^2}$ - пен өлшенеді.

Бұл жұмыста серпімділік модулі иілу деформациясы арқылы анықталады. Егер түзу серпімді шыбықты екі тіреудің үстіне жатқызып қойып, ортасына жүк салсақ онда ол майысады. Бұл жағдайда шыбықтың үстіңгі қабаты сығылу деформациясына, ал астыңғы қабаты созылу деформациясына ұшырайды. Шыбықтың ортаңғы қабаттары сығылмайды, созылмайды, тек майысады. Иілу кезінде күштің түсу нүктесіне сай келетін шыбықтың дәл ортасы көбірек ығысады.

Бұл ығысуды иілу жебесі деп атаймыз да, оны λ әрпімен белгілейміз (12.1-сурет). Иілу жебесі деформацияның өлшемі бола алады. Ілінген жүк артқан сайын, иілу жебесінің шамасы да арта түседі әрі ол шыбықтың өлшеміне, пішініне және серпімділік модуліне байланысты. Иілу жебесін біле отырып, серпімділік модулін мына формуламен табамыз:

$$E = \frac{PL^2}{4\lambda Bh^3}, \quad (12.4)$$

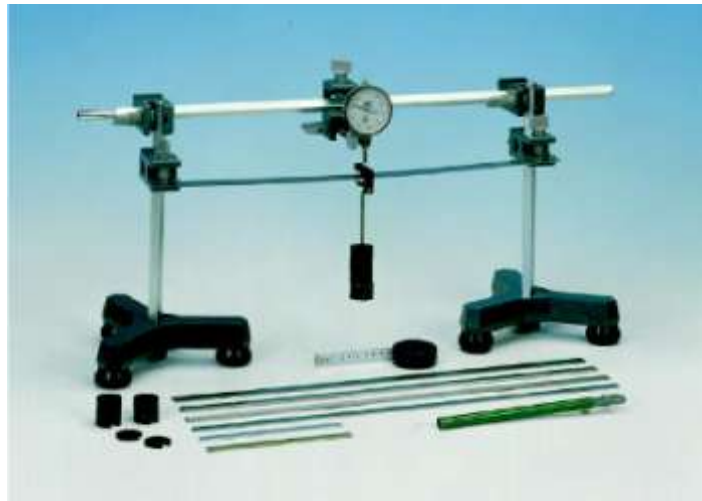
мұндағы P - иілу деформациясын туғызатын күш, L - шыбықтың ұзындығы, B - ені және h - биіктігі. (12.4) формула дұрыс орындалу үшін, шыбықтың қимасы тік бұрышты болуы керек; сондай-ақ майысатын күш шыбықтың ортасына түсіп, бөлшектің бөліміне үшінші дәрежесімен кіретін қырына параллель бағытта әсер етуі керек. Шыбықтың иілу жебесі белгілі болса, онда серпімділік модулі E табылады. Өйткені, (12.4) формуланың оң жағында тұрған шамалар тікелей өлшеу арқылы анықталады.



12.1-сурет.

Қондырғының сипаттамасы мен жұмыстың орындалуы

Серпімділік модулін өлшеуге арналған қондырғы (12.2-сурет) екі бетіне дінгектер орнатылған шомбал платформадан тұрады. Дінгектердің ұшына болат призма бекітілген.



12.2-сурет.

Призмаға сыналатын шыбықтар салынады. Жүкті ілу үшін оның дәл ортасына үзеңгі тәрізді тетік *C* кигізіледі. Шыбықтың жоғары бөлігі тегіс етіп өңделген.

Іілу жебесі штативке бекітілген индикатордың көмегімен өлшенеді. Штативтің көмегімен индикаторды өзара перпендикуляр үш бағытта жылжытуға болады. Өлшеу кезінде индикатордың сүңгісі үзеңгінің ортасына қойылады. Жүк салынған шыбық иілгеннен кейін сүңгі үзеңгінің бетімен ғана жанасатын болсын. Сонда индикатордың тілі шамамен 0–5 бөліктерінің арасына орналасуы керек. Содан кейін жүкті түсіргенде пластина бастапқы пішініне келеді. Индикатор тілінің көрсетуін жазып аламыз. Шыбыққа жүк салынған және жүк салынбаған кездегі индикатор шкаласы көрсетулерінің айырмасын сол шкала бөлігінің құнына көбейтіп, λ - иілу жебесінің мәнін анықтаймыз.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Микрометр мен шыбықтың биіктігін және көлденең қимасының енін бірнеше рет (кем дегенде үш рет) әр түрлі жерден өлшейміз. Есептеу жүргізгенде алынған нәтижелердің орташа мәні пайдаланылады.

2. Сыналатын шыбықты екі тіреудің үстіне көлденеңінен жатқызып қойып, сызғышпен призманың екі қырының арасын өлшейміз.

3. Үзенгіні шыбықтың дәл ортасына орналастырып, оған жүк ілінеді. Индикатордың сүңгісін үзенгінің жоғарғы жақ бетіне сәл ғана жанасатындай етіп тигіземіз. Шкала бойынан бөліктің бастапқы санын n_0 есептейміз.

4. Сүңгі қозғалып кетпейтіндей етіп, абайлап жүкті (P_1) түсіреміз де, индикатор тілінің қалай, қанша бөлікке жылжығанын қадағалаймыз. Тілі тоқтаған кезде, индикатор шкаласындағы бөліктердің n санын есептейміз. n мен n_0 көрсетулерінің айырмасын шкала бөлігінің құнына көбейтіп, иілу жебесінің мм-мен өлшенген мәнін табамыз. λ мен P_1 - ді (3,4 тармақтар бойынша) кем дегенде үш рет өлшеп, олардың орташа мәнін анықтаймыз. Осы өлшеу кезінде анықталған серпімділік модулі есептеуге пайдаланылады. Өлшеу нәтижелері 12.1-кестеге жазылады.

5. P_1 жүгі үшін λ_{opt} - шамасының мәнін тапқанымыздай, (3,4 тармақтар) P_2 және P_3 жүктеріне сәйкес келетін λ_2 және λ_3 шамаларының $\lambda_{\text{до}}$ орташа мәні анықталады. Өлшеу нәтижелері 12.1-кестеге жазылады.

12.1-кесте.

№	Бірінші үлгі								
	$L, \text{ мм}$	$B, \text{ мм}$	$h, \text{ мм}$	$P_1 =$		$P_2 =$		$P_3 =$	
				$n - n_0$	$\lambda, \text{ мм}$	$n - n_0$	$\lambda, \text{ мм}$	$n - n_0$	$\lambda, \text{ мм}$
1									
2									
3									
орташа									

6. 3,4,5 тармақтардағы тәжірибелер басқа материалдан жасалған екінші шыбық үшін қайталаңады. Есептеу нәтижелері 12.2-кестеге жазылады.

12.2-кесте.

№	Екінші үлгі								
	$L, \text{ мм}$	$B, \text{ мм}$	$h, \text{ мм}$	$P_1 =$		$P_2 =$		$P_3 =$	
				$n - n_0$	$\lambda, \text{ мм}$	$n - n_0$	$\lambda, \text{ мм}$	$n - n_0$	$\lambda, \text{ мм}$
1									
2									
3									
орташа									

7. (12.4) формуламен $P_1 - \lambda_1$ әрбір жұбы үшін шыбықтың серпімділік модулі есептеледі. Есептеуді оңайлату үшін

$$\frac{L^3}{4Bh^3} = const$$

өрнегінің орташа мәнін есептеп алу керек. Сонда (12.4) формула мына түрде жазылады:

$$E = const \cdot \frac{P}{\lambda},$$

8. Бірінші шыбық үшін $E_{i\delta\delta}$ және $\Delta E_{i\delta\delta}$ шамаларының мәндері табылады. Өлшеу нәтижесін мына түрде жазамыз:

$$E = E_{i\delta\delta} \pm \Delta E_{i\delta\delta}, \frac{\partial \tilde{a}}{\partial \tilde{h}^2}.$$

9. 7, 8 тармақтарымен екінші шыбықтың материалы үшін серпімділік модулі анықталады.

10. Алынған нәтижелер кестелік мәндермен салыстырылады.

Бақылау сұрақтары:

1. Серпімділік деформацияның анықтамасы.
2. Гук заңы.
4. Серпімділік модулінің (E) физикалық мәні.
5. Деформацияның қандай түрлерін білесіңдер?

Лабораториялық жұмыс №13. Сұйықтың тұтқырлық коэффициентін Стокс әдісімен анықтау

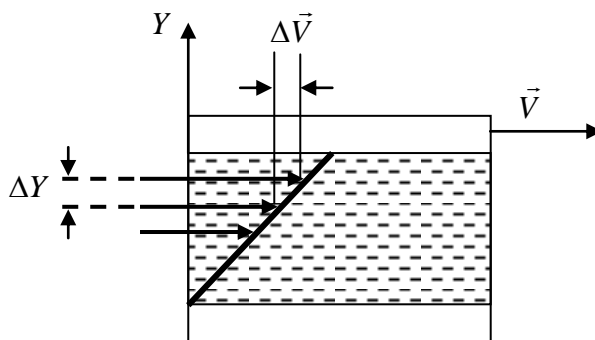
Жұмыстың мақсаты: қарастырылып отырған әдістің теориясымен танысу, өлшеу әдістерін меңгеру және кейбір себептердің эксперимент нәтижесіне тигізетін ықпалына талдау жасау.

Керекті құрал-жабдықтар: ішіне зерттелетін сұйық құйылған цилиндр пішінді шыны ыдыс, масштабты сызғыш, кішкене металл шарлар, секундомер.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Тұтқырлық деп - аққыш денелердің (сұйық пен газдың) бір қабатынан екінші қабатына дененің орын ауыстыруына кедергі жасайтын қасиетін айтамыз.

Сұйықтың жоғары және төменгі қабаттарын өзара параллель жазық екі пластина деп қарастырайық. (13.1-сурет).



13.1-сурет.

Сұйықты ойша жұқа қабаттарға бөлейік. Егер жоғары пластинаны төменгі пластинаға қатысты солдан оңға қарай жылжытсақ, онда оған жабысқан сұйық молекулалары пластинамен бірге дәл сондай жылдамдықпен қозғалады. Бұл молекулалар келесі қабаттың молекулаларын ілестіреді де, процесс осылайша одан әрі жалғаса береді. Төменгі пластинаға жанасып жатқан молекулалар қабаты тыныштықта болады да, басқа қабаттар бірінің бетімен бірі сырғи отырып, орын ауыстырады. Төменгі қабаттар алыстаған сайын молекулалар қабатының жылдамдығы арта түседі. Сұйықтың тұтқырлығы жанасқан қабаттардың бір-біріне қарағанда ығысу кедергі жасайтын күштің пайда болу нәтижесінде байқалады. Бұл күштің табиғатын былай түсіндіруге болады: әр түрлі жылдамдықпен қозғалған сұйық қабаттары бір-бірімен молекулалар алмасады. Сонда жылдам қозғалатын қабаттағы молекулалар біраз қозғалыс мөлшерін баяу қозғалатын қабатқа береді. Ал баяу қозғалатын қабаттан шапшаң қозғалатын қабатқа өткен молекулалардың қозғалыс мөлшері артады. Соның нәтижесінде шапшаң қозғалатын молекулалар жылдамдығы тежеліңкірейді. Сөйтіп, ішкі үйкеліс күші сұйық қабаттарының қозғалу жылдамдықтарын теңестіруге тырысады. Сұйықтың тұтқырлығынан пайда болған кедергінің шамасы сұйық қабаттары жылдамдықтарының айырымына және олардың ара-қашықтығына байланысты болады. Бір қабаттан екінші қабатқа өткен сұйық жылдамдығының өзгерісі артқан сайын, ішкі үйкелістің шамасы да артады. Сұйықтың көршілес екі қабаты жылдамдықтары айырымының сол қабаттардың жылдамдық бағытына түсірілген нормаль бойымен есептелген ара қашықтығына ΔY қатынасының шегі $\lim_{\Delta Y \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta V}{\Delta Y} \right) = \frac{dV}{dY}$ жылдамдық градиенті деп аталады.

Ламинарлық ағыс кезінде сұйықтың екі қабатының арасында әсер ететін ішкі үйкеліс күші олардың жанасу бетінің ауданы мен жылдамдық градиентіне тура пропорционал болады:

$$F = \eta S \left(\frac{dV}{dY} \right) - \text{(Ньютон формуласы)} \quad (13.1)$$

Мұндағы сұйықтың табиғатына және оның күйіне (температурасына) байланысты болатын шама η - ішкі үйкеліс коэффициенті немесе динамикалық тұтқырлық коэффициенті, болмаса жай ғана сұйықтың немесе газдың тұтқырлығы деп аталады.

Сұйықтың динамикалық тұтқырлығының оның тығыздығына қатынасын кинематикалық тұтқырлық дейді:

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

Егер (13.1) формуласынан $\frac{dV}{dY}$ және $S=1$ деп алсақ, онда $\eta = F$. Яғни тұтқырлық сан жағынан, бір-бірімен салыстырғанда жылдамдық градиенті 1-ге тең қозғалыстағы екі қабаттың жанасу бетінің әрбір бірлік ауданында пайда болатын ішкі кедергі күшіне тең. Си жүйесінде тұтқырлық бірлігі үшін модулі 1 м/с жылдамдық градиенті 1 м жанасу бетінде 1 Н үйкеліс күшін туғызатын тұтқырлық алынады. Бұл бірлік Паскаль-секунд ($1\text{ Па}\cdot\text{с}$) деп аталады.

Тұтқырлық коэффициенті температураға тәуелді. Әрі сұйық пен газ үшін бұл тәуелділіктің елеулі айырмашылығы бар. Сұйық температурасы жоғарылаған сайын оның тұтқырлығы күрт азаяды. Газда керісінше, температура жоғарылаған сайын тұтқырлық коэффициенті артады. Тұтқырлық коэффициентінің температураға байланысты бұлай өзгеруін сұйық пен газдың ішкі үйкеліс механизмінің әр түрлі болуынан деп түсіну керек.

Сұйықтың тұтқырлық коэффициентін кішкене шардың тұтқыр ортадағы қозғалысы бойынша анықтауға болады. Енді кішкене шардың тыныштықта тұрған тұтқыр сұйықтағы еркін түсуін қарастырайық.

Бұл жағдайда оған үш күш әсер етеді:

- ауырлық күші:

$$P = mg = \frac{1}{6\pi d^3 \rho g}. \quad (13.2)$$

мұндағы d - кішкене шардың диаметрі, ρ - кішкене шардың тығыздығы, g - еркін түсу үдеуі.

- кері итеруші күш $F_1 = \frac{1}{6\pi d^3 \rho_1 g}$ (Архимед заңы бойынша)

мұндағы ρ_1 - сұйық тығыздығы.

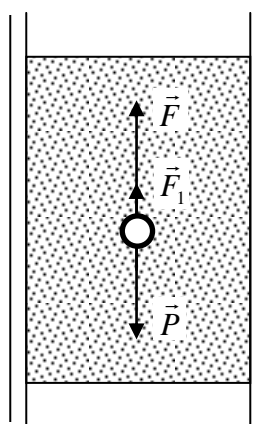
- сұйық қабаттардың арасындағы ішкі үйкеліс күшінің әсерінен пайда болатын, қозғалысқа қарсы бағытталған кедергі күші. Кішкене шардың бетіне жанасып тұрған сұйық қабаты оған жабысады да, шармен бірге сондай жылдамдықпен қозғалады. Шарға жақын іргелес жатқан сұйық қабаттары да қозғалысқа келеді. Бірақ кішкене шардан алыстаған сайын сұйық қабаттарының жылдамдығы кеми береді. Сондықтан ортаның кедергі күшін есептегенде, сұйық пен кішкене шар арасындағы үйкелісті ескермей-ақ, сұйық қабаттарының арасындағы үйкелісті есепке алу керек. Тәжірибе ортаның

кедергі күші дененің қозғалыс жылдамдығына, оның геометриялық пішініне, сызықтық өлшемдеріне, бетінің күйіне және ортаның тұтқырлығына байланысты болатынын көрсетеді. Егер кішкене шар жан-жаққа шексіз жайылып жатқан сұйық ішінде, ешқандай құйын тудырмай түсетін болса, онда Стокстың есептеуі бойынша кедергі күші мынаған тең:

$$F = 3\pi\eta Vd \quad (13.3)$$

мұндағы η – сұйықтың тұтқырлық коэффициенті, V - кішкене шардың жылдамдығы, d - шардың диаметрі.

Үш күш те вертикаль бойымен: ауырлық күші төмен, ал кері итеруші күш пен кедергі күші жоғары қарай бағытталған (13.2-сурет).



13.2-сурет.

Бастапқы кезде кішкене шардың жылдамдығы арта түседі, оның жылдамдығы артқан сайын кедергі күші де артады. Бір кезде ауырлық күші $|P|$, F және F_1 күштердің қосындысына тең келеді. Сол мезеттен бастап барлық күштердің қорытқы күші нөлге теңеледі, яғни

$$P - (F_1 + F) = 0. \quad (13.4)$$

Бұдан әрі қарай кішкене шар $V = V_0$ жылдамдықпен бірқалыпты қозғалады. (3.19.4) формуласынан және шамаларының мәндерін қойып, тұтқырлық коэффициентін табамыз:

$$\frac{1}{6\pi d^3 g \rho} = 3\pi\eta Vd + \frac{1}{6\pi d^3 \rho_1 g} \quad \text{немесе} \quad \frac{1}{6\pi d^3 g (\rho - \rho_1)} = 3\pi\eta Vd ,$$

бұдан

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_1)d^2 g}{18V} .$$

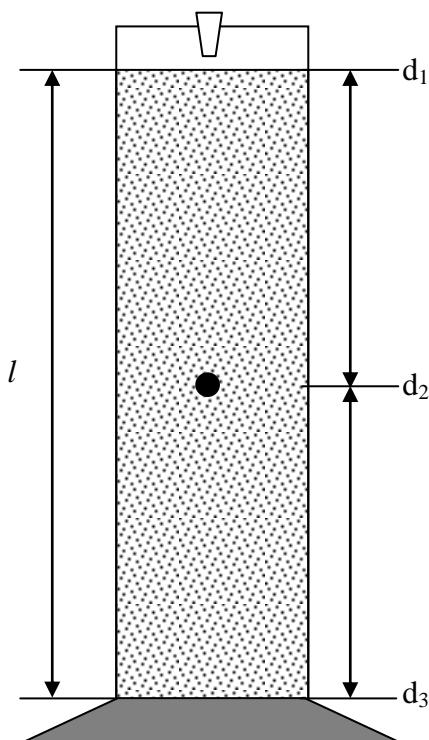
Кішкене шардың жылдамдығы қатынасымен алмастырып (мұндағы l – жол, τ - шардың бірқалыпты түсу уақыты), тұтқырлық коэффициентін есептеуге мүмкіндік беретін төмендегі өрнекті табамыз:

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_1)d^2 g \tau}{18l}. \quad (13.5)$$

Бұл формуланы диаметрі кішкене шар диаметрінен бірнеше есе үлкен цилиндр пішінді ыдыстың ортасы арқылы өтетін түзудің бойымен түскен кішкене шар үшін ғана пайдалануға болады. Осы теңдіктің оң жағында тұрған физикалық шамаларды біліп, тұтқырлық коэффициентін анықтауға болады.

Қондырғының сипаттамасы мен жұмыстың орындалуы

Стокс тәсілімен сұйықтың тұтқырлық коэффициентін анықтауға арналған прибор ішіне зерттелетін сұйық (глицерин, трансформатор майы және т.б.) құйылып, таянышқа бекітілген цилиндр пішіндес ыдыстан тұрады (13.3-сурет). Реттеуіш бұрандалар мен тіктеуіштің көмегімен цилиндр пішіндес ыдыс вертикаль орналастырылады. Цилиндрдің сыртқы бетіне горизонталь сақина түрінде (d_1, d_2, d_3) үш белгі түсірілген. l – екі белгінің ара-қашықтығы.



13.3-сурет.

Шар бірқалыпты қозғала бастайтын деңгейге сәйкес ең жоғары белгі сұйық бетінен 5-8 см төмен орналасқан. Кішкене шар цилиндрдің дәл ортасынан өтетін өстік түзудің бойымен қозғалу үшін цилиндрдің жоғарғы беті

ортасында тесігі бар сүзгіш тәріздес қақпақпен жабылған. Лабораториялық жұмысты орындау үшін ұсақ болат немесе қорғасын шарлар пайдаланылады.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Кішкене үш шардың диаметрін анықтаңыздар. Әрқайсысының диаметрі әр түрлі бағыт бойынша үш рет өлшенеді. Өлшеу нәтижелерін 13.1-кестеге жазыңыздар.

2. Шарды құйғыштың тесігі арқылы сұйыққа жәй ғана тастаңыздар. Шар түсер алдында бақылаушының көзімен жоғарғы белгі бір горизонталь түзудің бойында орналасуы керек. Шар жоғарғы белгінің тұсынан өте берген кезде секундомерді қосу керек. Сол мезетте бақылаушы дәл жоғарғыдай тәсілмен кішкене шардың екінші белгіден өтуін қадағалау керек. Шар екінші белгіден өте бергенде секундомерді тоқтату керек. Шардың түсу уақытын 13.1-кестеге жазыңыздар.

3. Масштабты сызғыштың көмегімен белгілердің ара-қашықтығын 1 мм дейінгі дәлдікпен өлшеңіздер.

4. Егер бақылаушы шардың екінші белгіден өтетін мезгілін байқамай жіберіп алса, онда бақылаушы бақылауды одан әрі жалғастырып, секундомерді үшінші белгіден өтер мезгілде тоқтатуы керек.

5. Үшінші белгі осы жұмыста пайдаланылатын шардың шекті шамаларын өлшеу үшін де қажет. Бұл жағдайда бақылаушыда екі секундомер болуы керек. Шар бірінші және екінші белгіден өтер мезгілде бірінші секундомер, ал екінші және үшінші белгіден өтер мезетте екінші секундомерді қосып-ажырату керек. Егер шардың d_1, d_2 және d_2, d_3 белгілері арасындағы жылдамдығы бірдей болса, онда өлшемдері осындай шарды пайдалануға болады. Егер бұл шарт орындалмаса, онда өлшемдері бұдан гөрі кішірек шар алу керек.

Өлшеу нәтижелерін өңдеу

Әрбір кішкене шар үшін тұтқырлық коэффициенті (13.5) формуламен есептеледі. Осыдан кейін бөлме температурасындағы тұтқырлық коэффициентінің орташа мәні есептеледі.

Заттардың тығыздығы: глицерин 1260 кг/м^3 ; қорғасындікі 1370 кг/м^3 ; болаттікі 7850 кг/м^3 .

Мына формулалармен салыстырмалы қатені есептеңдер:

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{\Delta g}{g} + \frac{2\Delta d}{d} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta\tau}{\tau} + \frac{(\Delta\rho + \Delta\rho_1)}{(\rho - \rho_1)}$$

Өлшеу нәтижесі былай жазылады:

$$\eta = \langle \eta \rangle \pm \langle \Delta\eta \rangle \text{ Па} \cdot \text{с}$$

13.1-кесте.

№	Шардың диаметрі, (мм)	Шардың орташа диаметрі, (мм)	Шардың түсу уақыты	Белгілердің ара қашықтығы	Тұтқырлық коэффициенті
	d', d'', d'''	$d_{орт}, мм$	$\tau, с$	$l, м$	$\eta, Па \cdot с$
1					
2					
3					

Бақылау сұрақтары:

1. Ішкі үйкеліс күшіне арналған Ньютон формуласын жазыңыздар?
2. Тұтқырлық деген не? Тұтқырлықтың СИ жүйесіндегі өлшеу бірлігі.
3. Сұйық ішінде түсіп келе жатқан кішкене шарға қандай күштер әсер етеді?
4. Шар белгілі бір уақыт мезетінен бастап қана бірқалыпты қозғала бастайды. Ол неліктен?
5. Шардың диаметрі артқан сайын, оның қозғалыс жылдамдығы қалай өзгереді?

Лабораториялық жұмыс №14. Тербелмелі қозғалыстың заңдылықтарын математикалық маятниктің көмегімен тексеру

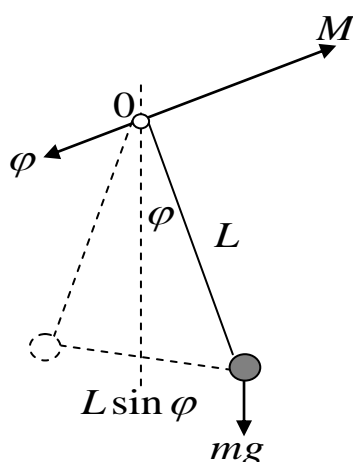
Жұмыстың мақсаты: Математикалық маятниктің тербеліс периодының теориялық формуласын тексеру және еркін түсу үдеуін анықтау.

Керекті құрал-жабдықтар: Математикалық маятник, жүктердің жиыны, секундомер, масштабты сызғыш.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Математикалық маятник деп салмақсыз және созылмайтын жіпке ілінген, массасы бір нүктеге жинақталған идеалданған системаны айтады. Ұзын жіңішке жіпке ілінген шағын ауыр шарик едәуір дәрежеде математикалық маятникке жақындайды.

Маятниктің тепе-теңдік қалыптан ауытқуын жіптің вертикальмен жасаған бұрышы арқылы сипаттаймыз (14.1-сурет).



14.1-сурет.

Маятник тепе-теңдік қалыптан ауытқыған кезде шама жағынан $mgL\sin\varphi$ -ге тең (m - маятниктің массасы, ал L - оның ұзындығы) айналдырушы мезет пайда болады. Ол маятникті тепе-теңдік қалпына келтіруге тырысатындай болып бағытталады және бұл жағынан квазисерпімді күшке ұқсас. Сондықтан ығысу мен квазисерпімді күш тәрізді M моменті мен бұрыштық ығысуына қарама-қарсы таңба жазу керек. Демек, айналмалы моментке арналған өрнек мына түрде жазылады:

$$M = -mgL\sin\varphi. \quad (14.1)$$

Маятник үшін айналмалы қозғалыс динамикасының формуласын жазамыз. Бұрыштық үдеуді $\ddot{\varphi}$ арқылы белгілеп және маятниктің инерция моменті mL^2 шамасына тең екендігін ескере отырып, мынаны аламыз:

$$mL\ddot{\varphi} = -mgL\sin\varphi. \quad (14.2)$$

Соңғы теңдеуді мына түрге келтіруге болады:

$$\ddot{\varphi} + \frac{g}{L}\sin\varphi = 0. \quad (14.3)$$

Әлсіз тербелістерді қарастырумен шектелеміз. Бұл жағдайда $\sin\varphi \approx \varphi$ деп ұйғаруға болады. Сонымен бірге

$$\frac{g}{L} = \omega_0^2, \quad (14.4)$$

белгілеуін енгізе отырып, біз төмендегі теңдеуге келеміз:

$$\ddot{\varphi} + \omega_0^2\varphi = 0, \quad (14.5)$$

бұл пружинаға ілінген шарикке арналған теңдеуіне ұқсас теңдеу. Оның шешімі

$$\varphi = a \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (14.6)$$

түрінде жазылады.

Демек, әлсіз тербеліс кезіндегі математикалық маятниктің бұрыштық ауытқуы гармониялық заң бойынша өзгереді.

(14.4) өрнегінен байқалғандай, математикалық маятниктің тербеліс жиілігі маятниктің ұзындығы мен ауырлық үдеуіне ғана байланысты болады, ал маятник массасына тәуелді болмайды. (14.4) формуласын ескеріп $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$

формуласы бойынша математикалық маятниктің белгілі өрнегі алынады:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}. \quad (14.7)$$

мұндағы L - маятник жібінің ұзындығы; g - еркін түсу үдеуі.

(14.7) формула бойынша анықталған тербеліс периодының, маятниктің массасына байланысты болмайтындығына мән беріңіздер.

(14.7) формуланы келесі түрде түрлендіреміз:

$$Y = \frac{T^2}{4\pi^2} = \frac{L}{g}. \quad (14.8)$$

Соңғы формуладан Y -тің L -ге тура пропорционалды байланыста болатынын, ал пропорционалдық коэффициент ретінде еркін түсу үдеуінің кері мәні алынатынын көруге болады.

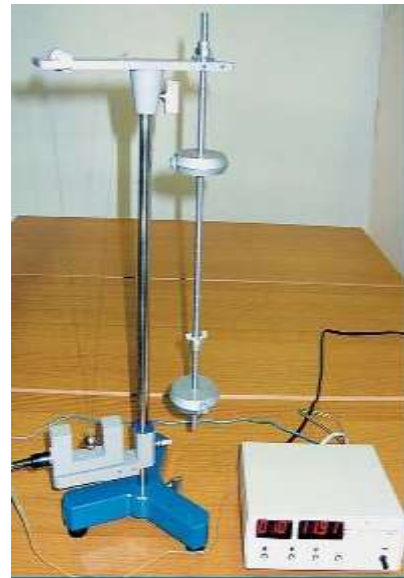
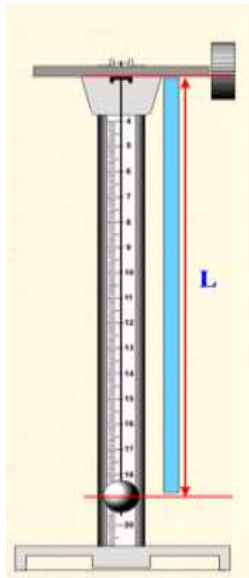
1. Тапсырма. Математикалық маятниктің тербеліс периодының теориялық формуласын тексеру.

Тәжірибелік қондырғы тербелістің периодтар санын және осы тербелістердің толық уақытын өлшеуге мүмкіндік жасайды. Қондырғыда (14.2-сурет) маятниктің ұзындығын және тербеліс амплитудасын өзгертуге болады. Біздің тәжірибелерде маятниктің ұзындығы келесі мәндерді қабылдайды: $100 \div 500$ мм. Таңдалып алынған жіптің ұзындығымен әрбір тәжірибені үш рет жасаңыздар. Бұл бізге тербеліс периодын есептеу кезіндегі жіберілетін кездейсоқ қатені табуға мүмкіндік береді.

Бес эксперименттен тұратын тәжірибені пайдалана отырып, әрбір таңдалып алынған маятниктің ұзындықтары үшін он тербелістің уақытын өлшеңіздер. Он тербеліс жасауға кеткен уақытты 10-ға бөліп, тербеліс периодын аласыздар. Өлшенген және есептелген мәндерді 14.1-кестеге енгізіңіздер.

Маятниктің әрбір ұзындығы үшін тербеліс периодының орташа мәнін және өлшеудің қателіктерін анықтаңыздар:

$$T = (\langle T \rangle \pm \Delta T) \text{ с.}$$



14.2-сурет.

Жіптің әрбір L ұзындығы үшін келесі шаманы есептеңіздер:

$$Y = \frac{(\langle T \rangle)^2}{4\pi^2}.$$

Осы шамаларды бөлек кестеге енгізіңіздер.

Шамаларды кестеден, Y -тің L -ге байланысты графигіне салыңыздар. (14.8) теориялық формула, осы шамалардың тура пропорционалды байланыста болатынын көрсетеді. Координата басы арқылы өтетін түзу сызық жүргізіңіздер және тәжірибелік нүктелер осы түзуге жақынырақ орналассын. Теориялық тұжырым орындалады ма?

2. Тапсырма. Еркін түсу үдеуін анықтау

(14.2) формуланы пайдаланып, еркін түсу үдеуін табуға болады. Ол үшін оны келесі түрде түрлендіреміз:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}. \quad (14.9)$$

1-ші тапсырма бойынша алынған маятниктің әр түрлі ұзындықтары үшін тербелістің орташа периодының тәжірибелік мәндерін біле отырып, (14.9) формула бойынша g -ды есептеңіздер.

Өлшеу нәтижелерін 14.1-кестеге енгізіп, оны толтырыңыздар.

14.1-кесте.

№	$L, \text{м}$	$t, \text{с}$	N	$T, \text{с}$	$g, \text{м/с}^2$	$\langle \Delta g, \text{м/с}^2 \rangle$	$\frac{\langle \Delta g \rangle}{\langle g \rangle}$	$g = (\langle g \rangle \pm \Delta g) \text{ м/с}^2$
1								
2								
3								
				$\langle T \rangle =$				

Еркін түсу үдеуінің орташа мәнін және өлшеудің абсолютті қателігін анықтаңыздар.

Нәтижені келесі түрде жазыңыздар:

$$g = (\langle g \rangle \pm \Delta g) \text{ м/с}^2. \quad (14.10)$$

1-ші тапсырма бойынша алынған, Y -тің L -ге байланысты графигінен, g -ды түзу сызықтың ордината өсіне α көлбеулік бұрышының тангенсі бойынша анықтаңыздар.

$$g = \frac{l}{Y} = \text{tg} \alpha. \quad (14.11)$$

(14.10) формула бойынша алынған еркін түсу үдеуі мен графикалық әдіс бойынша алынған (14.11) мәндерді салыстырыңыздар.

Алынған шамаларды кестелік мәнмен салыстырыңыздар.

Бақылау сұрақтары:

1. Математикалық маятник дегеніміз не?
2. Маятниктің қозғалысын анықтау үшін қандай күштерді ескереді?
3. Математикалық маятниктің тербеліс периодын есептеу үшін қандай жуықтаулар қолданылады?
4. Математикалық маятник қозғалысының сипаттамалары?
5. Математикалық маятникті қолдана отырып, графикалық әдіспен еркін түсу үдеуін есептеудің негізі неде?

Лабораториялық жұмыс №15. Серіппелі маятниктің тербеліс периодын анықтау

Жұмыстың мақсаты: Серіппелі маятниктің тербеліс периодын анықтайтын формуланы тексеру.

Керекті құрал-жабдықтар: Серіппе, жүктердің жиыны, секундомер, масштабты сызғыш.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Жердің ауырлық күшінде серіппеге ілінген жүк серіппелі маятникті құрайды. Серпімділік күші серіппенің деформациясына байланысты (егер деформация үлкен болмаса және серіппеміз серпімді материалдан жасалса):

$$F = -kx. \quad (15.1)$$

мұндағы: F - серпімділік күші;

x - серіппенің деформациясы;

k - серіппенің қатаңдық коэффициенті.

(15.1) формуладағы теріс (минус) таңбасы серпімділік күшінің бағыты деформацияға қарсы бағытталадығын көрсетеді. Серіппенің қатаңдық коэффициенті материалмен және серіппенің параметрлерімен сипатталады.

Теориялық есептеулер, серіппедегі жүктің тербеліс периоды T , жүктің m массасы және серіппенің қатаңдық коэффициентімен k анықталатындығын көрсетеді:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (15.2)$$

Бұл жағдайда, Жердің тартылыс күші тербеліс периодына ешқандай әсерін тигізбейді.

Қондырғының сипаттамасы мен жұмыстың орындалуы

Қондырғы ілінген ыдысы бар серіппеден тұрады. Ыдысқа жүктерді салуға болады. Электрондық уақытты өлшеуіш датчиктің жарық сәулелерін қиып өтетіндей, ыдысқа металл пластинка (жолақ) бекітілген. "Жіберу" ("Пуск") батырмасын басқан кезде, уақытты өлшеуіш, тербелістің толық уақытын (секундпен) және периодтар санын анықтайды. "Тоқтат" ("Стоп") батырмасын басқан кезде есептеу тоқтайды.

Қондырғы 50 г.-дық үш және екі массалары белгісіз жүктерден тұрады.

Жұмыстың мақсаты, серіппелі маятниктің тербеліс периодын анықтайтын формуланы тексеру, серіппенің қатаңдық коэффициентін және екі жүк пен ыдыстың белгісіз массаларын анықтау. Бұл есепті шешу үшін, біз графикалық әдісті қолданамыз.

(15.2) формуланы басқа түрде жазамыз:

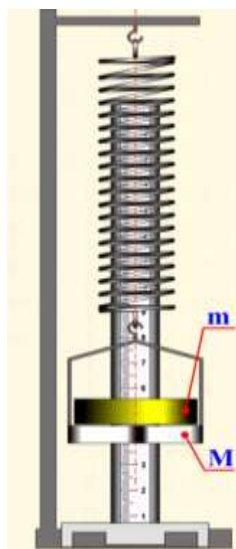
$$Y = \frac{T^2}{4\pi^2} = \frac{1}{k} m. \quad (15.3)$$

бұл жерден көріп отырғанымыздай, Y шамасы массаға m тура пропорционал. Қатаңдық коэффициентінің k кері шамасы, пропорционалдық коэффициент болып табылады.

Сонымен, егер (15.2) байланыс дұрыс болса, онда Y -тің m -ға байланысты графигінде, тәжірибелік нүктелер координата басы арқылы өтетін түзудің бойында жатады. Осы түзудің ордината өсіне көлбеуінің тангенс бұрышы, сан жағынан, серіппенің қатаңдық коэффициентіне k тең:

$$k = \frac{\Delta m}{\Delta Y}.$$

Сонымен қатар, тәжірибелік нүктелермен жүргізілген осы түзу арқылы дененің белгісіз массаларын табуға болады.



15.1-сурет.

Төмендегі жағдайлар бойынша, серіппелі маятниктің тербеліс периодын есептеңіздер:

1. Серіппеде тек ыдыс орналасқан.
2. Ыдысқа 50 г-дық жүк салынған.
3. Ыдысқа 100 г-дық жүк салынған.
4. Ыдысқа 150 г-дық жүк салынған.
5. Ыдысқа бірінші белгісіз жүк салынған.
6. Ыдысқа екінші белгісіз жүк салынған.

Орташа мән мен өлшеудің қателіктерін табу үшін, таңдап алынған массалармен тербеліс периодын есептейтін тәжірибені бес реттен қайталаңыздар.

Барлық шамаларды кестеге жазыңыздар. Кестеде келесі бағаналар болсын: таңдап алынған массалардың 10 тербеліс периодының уақыты, тербеліс периоды T және белгілі тербеліс периоды бойынша (15.3) формула арқылы есептелген Y шамасы.

Абсцисса өсінде серіппеге бекітілген массаларды, ал ордината өсінде тербеліс периодына байланысты Y -тің шамаларын алып, график салыңыздар.

Жоғарыда көрсетілген 1,2,3,4 жағдайларға сәйкес, тәжірибелік нүктелерді графикке салыңыздар. Абсцисса өсінен алынған белгілі бір нүкте, бос ыдыстың массасы m_0 (1-ші жағдай) ретінде алынады. Келесі нүкте (2-ші жағдай), абсцисса өсімен алдыңғы мәннен 50г. жылжиды ($m_1 = m_0 + 50 \text{ г.}$) Келесі нүкте тағы да 50г.-ға жылжиды ($m_2 = m_0 + 100 \text{ г.}$) және т.с.с. Ордината өсіне Y -тің сәйкес мәндері салынады.

Осы төрт тәжірибелік нүкте түзуге жақын жататындай етіп, түзу жүргізіңіздер.

Осы түзудің абсцисса өсімен қиылысу нүктесі масса санақ нүктесінің (0) басына сәйкес келеді. Осы нүктеден m_0 нүктесіне дейінгі арақашықтық (сәйкес масштабта) бос ыдыстың белгісіз массасын m_0 анықтауға мүмкіндік береді.

Осы графикті және 5-ші және 6-шы жағдайлар үшін есептелген Y -тің шамаларын пайдалана отырып, екі жүктің белгісіз массаларын анықтаңыздар.

Түзудің ордината өсіне көлбеуінің тангенс бұрышы серіппенің қатандық коэффициентін береді.

Осы тәжірибе бойынша қорытынды жасаңыздар.

Бақылау сұрақтары:

1. Серіппе үшін Гук заңы қалай тұжырымдалады? Қандай шектеулерде осы заң орындалады?

2. Гармоникалық тербеліс қандай заң бойынша болады?

3. Неге серіппедегі жүктің тербеліс периоды Жердің тартылыс күшіне байланысты емес?

4. Графикалық әдісті қолданбай, белгісіз масса мен серіппенің қатандық коэффициентін қалай табуға болады? Осы есептеулерге қажетті формуланы қорытып шығарыңыздар және белгісіз шамаларды есептеңіздер. Есептелген шамаларды графикалық әдіспен алынған шамалармен салыстырыңыздар.

5. Теориялық мәннің тәжірибелік мәннен ауытқуын тудыратын жүйелік қателіктер неге байланысты болады?

Лабораториялық жұмыс №16. Бір бостандық дәрежелі жүйенің тербелісін зерттеу

Жұмыстың мақсаты: сызықтық гармониялық осциллятордың тербелісін зерттеу.

Керекті құрал-жабдықтар: серіппелі маятник және жүктер, секундомер, суы бар ыдыс.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Тербелістер деп белгілі бір уақыт аралығында қайталанатын процестерді айтамыз. Тербелістердің қарапайым түрі - гармониялық тербелістер, яғни тербелетін шама синус пен косинус заңы бойынша өзгереді. Сызықтық гармониялық осциллятор ретінде пружинаға бекітілген дененің тербелісін қарастырайық: Тепе-теңдік күштердің X өсіне проекциясы:

$$mg - F_0 = 0. \quad (16.1)$$

Тепе-теңдік күйінен жүкті X -қа ығыстырсақ, онда пружинаның ұзаруы $\Delta l_0 + x$ болады, қорытқы күш f -тің X өсіне проекциясы $f = mg - k(\Delta l + x)$ (16.2). (16.1)-ді еске ала отырсақ $f = -kx$ Ньютонның II заңы бойынша тербелістің теңдеуінің екі жағын m -ға бөліп:

$$\frac{md^2x}{dt^2} = -kx \Rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0 \quad (16.3)$$

$\frac{k}{m} = \omega_0^2$ деп алып дифференциалдық теңдеуін шешуін мына түрде қарастырамыз:

$$x = a \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (16.4)$$

A - амплитуда, X - ауытқу, φ_0 - бастапқы фаза, $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ - меншікті жиілік. Тербеліс периоды T -ны анықтау үшін ω_0 -дің мәнін төменгі формулаға қоямыз:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (16.5)$$

T - еркін тербелістің периоды, k - серіппенің қаттылығы.

Тұтқыр ортадағы маятниктің тербелісін қарастырсақ. Ортаның кедергі күші жылдамдыққа пропорционал, ал бағыты жылдамдықтың бағытына қарама-қарсы. Кедергі күші $F_k = -k\mathcal{V} = -r\mathcal{V}$; r - кедергі коэффициенті.

Кедергі күші мен серпімді күшінің қосындысы $f = -kx - r\mathcal{V}$ тең болады.

Ньютонаң II заңы бойынша $\frac{md^2x}{dt^2} = -kx - r\dot{x}$; $\mathcal{G} = \frac{dx}{dt}$ ескеріп, тербелістің теңдеуін аламыз: $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{r}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m}x = 0$ (16.6). Қосымша белгілеуді қолданып, (16.6) теңдеуді төмендегідей өрнектейміз:

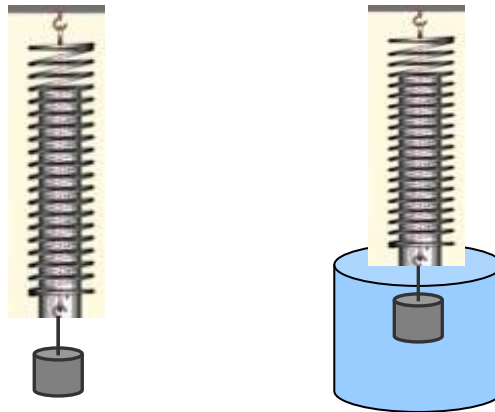
$$\frac{r}{m} = 2\beta.$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad (16.7) \text{ теңдеу өшетін тербелістің теңдеуі.}$$

Бұл екінші ретті дифференциалдық теңдеуінің шешуі:

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0).$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \text{ - өшетін тербелістің циклдік жиілігі.}$$



а).

б).

16.1-сурет.

Теңдеудің шешуі уақыт өтумен бірге амплитудасы азая беретін тербелісті кескіндейді. Бір-бірінен қашықтығы T периодына тең болатын амплитудалардың тізбектес екі мәнінің қатынасының логарифмі тербеліс өшуінің логарифмдік декременті деп аталады.

$$\delta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T. \quad (16.8)$$

β - өшу коэффициенті.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Вертикаль штативке орнатылған серіппе массалары m , $2m$, $3m$ жүктерді кезекпен іліп, олардың әсерінен серіппенің ұзаруын: $x_1 = l_1 - l_0$, $x_2 = l_2 - l_0$, $x_3 = l_3 - l_0$ өлшеңіздер (16.1, а-сурет).

2. Жүктердің mg ауырлық күшін серпімділік $F = -kx$ күшіне тең деп алып, $mg = -kx$ серпімділік күшінің X деформацияға тәуелділік графигін сызыңыздар. Графиктен серіппенің қатаңдығын табыңдар.

3. Массасы m , $2m$, $3m$ жүкті кезекпен іліп, маятниктің тербелісі T периодын табу үшін n тербеліс санын, t уақытын секундомермен өлшеп, $T = \frac{t}{n}$ периодын табу керек. Ол үшін әр тәжірибені үш рет қайталап орташа периодты есептеңдер:

$$\langle T \rangle = \frac{\sum_{i=1}^m T_i}{|n|}.$$

4. Массалары $2m$, $3m$ жүктер үшін маятниктің периодтары T_2 , T_3 анықтаңдар, әр тәжірибені үш рет қайталап $\langle T_2 \rangle$, $\langle T_3 \rangle$ орташа мәнін есептеңдер. Экспериментальдық $\langle T_1 \rangle$, $\langle T_2 \rangle$, $\langle T_3 \rangle$ мәндерін формуламен табылған периодтармен салыстырыңдар.

5. δ -логарифмдік декрементін анықтау үшін, жалғасқан екі тербелістің A_1 және A_2 амплитудаларының мәндерін өлшеп, мына формулаға $\delta = \ln \frac{A_1}{A_2}$ қойып δ -ның сан мәнін есептеңіздер.

6. Маятникке $2m$ жүктерді іліп, оларды суға толық батырып, тепе-теңдіктегі серіппенің l_0 ұзындығын белгілеп алыңыздар (16.1, б-сурет). Серіппені 20-30 мм созып, оны A_1 амплитудаға тең деп алыңыздар.

7. Серіппені жіберіп бір периодтан кейін екінші тербелістің A_2 амплитудасын анықтап, логарифмдік декрементін есептеңіздер.

8. Тәжірибені 3÷5 рет қайталап $\langle \delta \rangle$ орташа мәнін табыңдар. $\delta = \beta T_0$ және $\beta = \frac{r}{2m}$ формулаларын пайдаланып, r кедергі коэффициентін анықтаңыздар:
 $r = \frac{2m\delta}{T_0}.$

Лабораториялық жұмыс №17. Физикалық маятниктің еркін өшпелі тербелісі

Жұмыстың мақсаты: Физикалық маятник арқылы еркін өшпелі тербелісті оқып үйрену.

Керекті құрал-жабдықтар: Физикалық маятник, фотоэлемент бар датчик, миллиметрлік өлшеуіш сызғыш, секундомер, оптикалық системасы бар жарықтандырғыш лампа, шкала, қырлы призмалар.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Энергия алған физикалық маятниктің тепе-теңдіктің маңындағы тербелісін еркін деп атауға келісілген (соққы арқылы - кинетикалық, тепе-теңдіктен ауытқыту арқылы - потенциалды).

Еркін тербеліс - өшпелі, себебі жүйенің алған энергиясы ортаның кедергі күшін жеңуге жұмсалады.

Тербеліс амплитудасының кему заңы маятникке әсер ететін үйкеліс күшінің нақты сипатына байланысты болады.

Қарастырылып отырған жағдайда кедергі күші, яғни сол күш моменті жылдамдыққа пропорционал деп ұйғаруға болады:

$$M_{\text{өш}} = -\mu \frac{d\varphi}{dt}. \quad (17.1)$$

мұндағы μ - үйкеліс коэффициенті. φ - маятниктің бұрыштық орын ауыстыруы.

Амплитуданың аз мәндері үшін маятниктің өшпелі тербелісінің теңдеуі:

$$J_z \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -r \frac{d\varphi}{dt} - mg\varphi, \quad (17.2)$$

немесе

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2\beta \frac{d\varphi}{dt} + \omega_0^2 \varphi = 0$$

мұндағы: m - маятник массасы;

J_z - айналыс z өсіне қатысты маятниктің инерция моменті;

r - ауырлық центрі (масса центрі) мен айналыс өсінің арасы;

$\beta = \frac{r}{2J_z}$ - өшу коэффициенті;

$\omega_0 = \sqrt{\frac{mga}{J_z}}$ - маятник тербелісінің меншікті бұрыштық жиілігі.

(17.2) теңдеудің мына шарт үшін $\beta^2 < \omega_0^2$, (яғни ортаның кедергі күші әлсіз) шешуі былай жазылады:

$$\varphi = \varphi_0 e^{-\beta t} \cos(\omega_1 t + \theta), \quad (17.3)$$

мұндағы: $\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ - еркін тербелістің бұрыштық жиілігі;

$\varphi = \varphi_0 e^{-\beta t}$ - өшпелі тербеліс амплитудасының лездік мәні;

φ_0, θ - бастапқы амплитуда және бастапқы фаза ($X = 0$).

Өшпелі тербелісті талдағанда өшу коэффициенті β мен қатар жүйенің төзімділігі Q маңызы зор. Төзімділік Q толық бір тербеліс ішінде энергияның кему мөлшерін көрсетеді:

$$Q = \frac{2\pi E}{A_{\text{өээ}}} = \frac{\omega_0^2}{2\beta\omega_1}, \quad (17.4)$$

мұндағы: E - системаның толық энергия қоры; $A_{\text{өээ}}$ - толық бір тербеліс кезінде жоғалған энергия қоры.

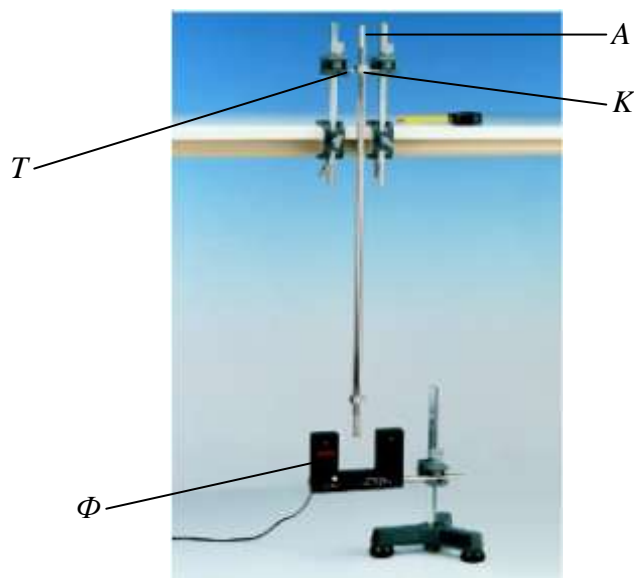
Тербелістің амплитудасы φ_0 үлкен болмаған жағдайда және ортаның үйкелісі әлсіз болғанда ($\beta < \omega_0$) $\omega_1 \approx \omega_0$, сондықтан

$$Q \approx \frac{\omega_1}{2\beta} = \frac{\omega_0}{2\beta}. \quad (17.5)$$

Сонымен, физикалық маятник арқылы тербеліс төзімділігін анықтау үшін өшу коэффициенті β және маятниктің еркін тербелісінің бұрыштық жиілігі ω_0 шамаларын өлшеу керек.

Жұмыстың орындалу әдістемесі

Бұл тәжірибе универсалды маятник қондырғысы көмегімен жүргізіледі. (17.1-сурет).



17.1-сурет.

Бұл жағдайда маятниктің бір дискісін немесе тіпті екі дискісінде стерженьнен босатып алуға болады. Арнайы кронштейннің (K) үйкеліс бетін азайту үшін маймен өнделген аспаға (T) маятниктің тіреу призмасы арқылы ілеміз. Оның екінші ұшын фотоэлемент датчикінен (\hat{O}) дәл өтетіндей етіп орналастыру керек. Фотоэлемент датчикі толық тербеліс саны мен оған кеткен уақытты үлкен дәлдікпен өлшейді. Маятниктің өшпелі тербелісін бақылау үшін маятниктің жоғарғы шетіне айна (\hat{A}) бекітілген. Айнаға арнайы оптикалық лампа арқылы жарық сәулесін түсіреміз. Айнадан шағылған жарық сәулесі шкалада "ебелек" бейнесін береді. Оның шкала бойындағы тербелісі маятниктің тербелісімен бара-бар. "Ебелектің" шкала бойымен ығысу шамасы:

$$d \approx 2L\varphi, \quad (17.6)$$

мұндағы L - айнадан шкалаға дейінгі қашықтық, φ - маятниктің бұрыштық ығысуы.

Маятник тербелісінің өшуін арттыру үшін оның дискісінің үстіне арнайы металл пластинкадан жасалған призмаларды қоюға болады.

Бұл металл призмалардың үстіңгі қырының маятник тербеліс жазықтығына жасайтын бұрышын өзгерту арқылы системаның төзімділігін өзгертуге болады.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Өшпелі тербелістің бұрыштық жиілігін анықтау үшін, ω_0 толық тербеліске кететін уақытты өлшеу керек. Маятниктің бастапқы тепе-тендіктен ауытқу шамасын шкаладағы 12÷15 бөліктен асырмаған дұрыс. (Әрбір бөлік 2 см.) Бұрыштық жиілік мына формуламен анықталады:

$$\omega_1 = \frac{2\pi N}{t}$$

мұндағы: N - толық тербеліс саны; t - уақыт.

2. Өшу коэффициенті (β) тербеліс амплитудасының уақытқа тәуелділігін сипаттайтын графиктен табылады. Алғашқы тепе-тендіктен ауытқыды шкаладағы 15 бөлікке тең етіп алу керек. Өшпелі тербелістегі "ебелек" шкаланың 13, 11, 9,5 және 3 бөліктерін өткен мезетке сәйкес уақытты анықтаңдар.

Бұл тәжірибеде қондырғының өз секундомері қолайсыз болса, дәлдігі $\pm 0,01$ с. тең электрлік секундомерді пайдалануға болады. Алынған мәліметтерді 17.1-кестеге толтырыңыздар.

17.1-кесте.

φ	15	13	11	9	7	5	3	$\ln \frac{\varphi_0}{\varphi}$	β
t									

3. Тербеліс амплитудасының уақытқа байланыстылығы мына өрнекпен берілгендіктен:

$$\varphi = \varphi_0 e^{-\beta t},$$

X өсіне t -нің мәнін, ал Y өсіне $\ln \frac{\varphi_0}{\varphi}$ мәнін салсақ, тәжірибелік нүктелер бір түзу бойына орналасады (өлшеу қатесінің өзгеру интервалында). Ал түзудің бұрыштық коэффициенті β шамасын анықтайды.

4. Маятниктің өшпелі тербелісінің төзімділігін есептеңдер.

Бақылау сұрақтары:

1. Еркін өшпелі тербелістің шартты периоды деген не?
2. (17.5) формуланы қорытып шығарыңдар.

Лабораториялық жұмыс №18. Дыбыстың ауада тарау жылдамдығын өзара перпендикуляр тербелістерді қосу әдісімен табу

Жұмыстың мақсаты: Дыбыс толқынының ұзындығын анықтау әдісімен танысу және дыбыс генераторын, осциллографты пайдалана білуге дағдыландыру.

Керекті құрал-жабдықтар: электрондық осциллограф, дыбыс генераторы, динамик, микрофон, масштабты орындық.

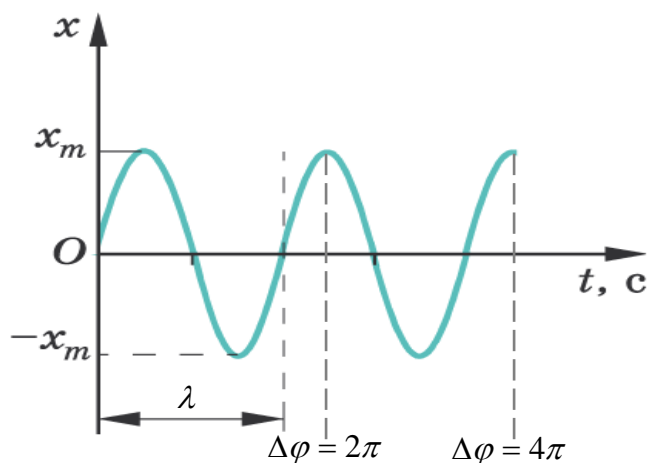
Теориядан қысқаша мағлұматтар

Жиілігі белгілі толқын көзінен тараған дыбыстың жылдамдығы: $\vartheta = \lambda \nu$, мұндағы λ - толқын ұзындығы, яғни бірдей фазада тербелуші іргелес екі нүктелердің ара қашықтығы немесе толқынның бір периодқа тең уақытта тарайтын қашықтығы (18.1-сурет).

ν - тербелістер жиілігі - уақыт бірлігінде болатын тербеліс саны. Тербеліс жиілігі периодқа кері шама, яғни $\nu = \frac{1}{T}$, демек $\lambda = \vartheta T$. r кесіндісіндегі 1, 2

нүктелері тербелістерінің фаза айырымы мына қатынас түрінде өрнектеледі.

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{r}{\lambda} \text{ немесе } \lambda = 2\pi \frac{r}{\Delta\varphi}.$$



18.1-сурет.

Дыбыс толқынының екі нүктесінің тербеліс фазаларының айырымын өзара перпендикуляр тербелістерді қосу әдісін пайдаланып анықтауға болады: $x = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$ және $y = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$ периодтары бірдей өзара перпендикуляр екі тербелісті қосқанда, материялық нүктенің қозғалыс траекториясы эллипс болады. Эллипс теңдеуінің түрі төмендегідей:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (18.1)$$

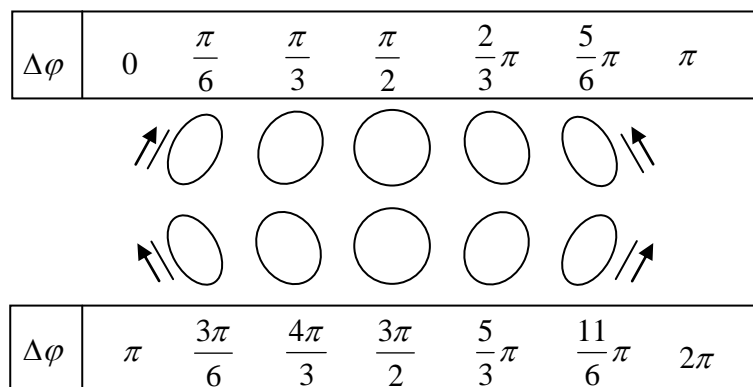
(18.1) теңдеуден, (xOy) жазықтығындағы эллипстің формуласының $(\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1))$ фазалар айырымына тәуелді екені көрініп тұр. Дербес түрде, φ_1 және φ_2 бастапқы фазалары бірдей болғанда (яғни $\Delta\varphi = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$) эллипс, бірінші және үшінші квадранттардан өтетін түзуге айналады (18.2-сурет), $\Delta\varphi = \pi, 3\pi, \dots$ болғанда екінші және төртінші квадранттардан өтетін түзу шығады. Егер де фазалар айырымы $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$ болса, (18.1) теңдеу өске келтірілген эллипс теңдеуіне айналады, яғни:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1.$$

Жеке жағдайда, тербелістердің амплитудалары тең болғанда ($A_1 = A_2$) эллипс шеңберге айналады.

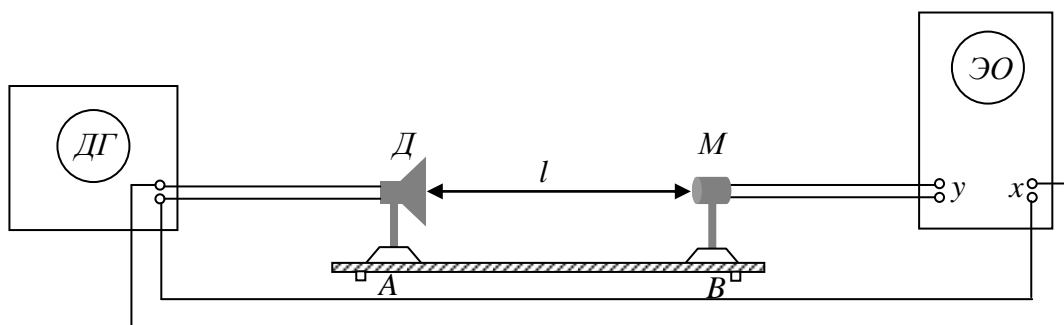
Сонымен периодтары және амплитудасы бірдей өзара перпендикуляр екі тербелісті қосқанда қорытқы тербеліс траекториясының түрі, сол

тербелістердің ($\Delta\varphi$) фазалар айырымына тәуелді болады. Мысалы, (x, y) координаталар өстерінің бойымен өтетін өзара перпендикуляр, жиіліктері бірдей екі тербелісті қосқанда, 18.2-суретте кескінделгендей траектория шығады. Егер қосылатын тербелістер фазаларының айырымын біртіндеп өзгертсек, траектория (мысалы түзу сызық) жоғарыда айтылған формаларды біртіндеп қабылдап бұрылады. Фазалар айырымы 2π өзгергенде траектория әуелгі формасына қайта келеді (18.2-сурет). Демек, траекторияның түріне және орнына қарай екі тербелістің фазалар айырымын анықтауға болады.



18.2-сурет.

Берілген жұмыста $ДГ$ дыбыс көзінен және $М$ микрофоннан шыққан екі өзара перпендикуляр тербелістер қосылады. Бір тербеліс дыбыс көзінен тікелей EO электрондық осциллографқа беріледі. Екінші тербеліс дыбыс көзінен $Д$ динамикке беріледі. Динамиктің алдына $М$ микрофон қосылады (18.3-сурет).



18.3-сурет.

Микрофонға жеткен дыбыс толқындары, оның мембранасын тербеліске келтіреді де, осының нәтижесінде онда жиілігі динамикке берілген электрлік жиілікке тең тербелістер пайда болады да, ол осциллографқа беріледі. Осциллографтың экранында пайда болатын траекторияның түрі микрофон мен дыбыс генераторынан берілген электрлік тербелістердің фазалар айырымына тәуелді болады. Ал фазалар айырымы динамик пен микрофонның l ара

қашықтығына тәуелді. Егер микрофонды қозғау арқылы l -ді өзгертсек, онда траекторияның формасы өзгереді (бұрылады).

Динамик пен микрофонның арасы дыбыс толқынының ұзындығындай шамаға артқанда, осциллографқа берілетін тербеліс фазаларының айырымы 2π -ге өзгереді. Демек, бұл кезде траектория толық бір айналады. Сонымен, осциллограф экранындағы траекторияны әуелгі қалпына қайта келетіндей етіп алынған микрофонның іргелес екі орнының ең кіші аралығы λ - дыбыс толқынының ұзындығына тең болады: $\lambda = l_{\min}$ - осциллографтағы траекторияның түрі, төмендегі шартты қанағаттандыратын барлық жағдайлар үшін қайталана береді: $l = n\lambda$, мұндағы l - осциллограф экранындағы траектория n рет түзу сызық болып қайталанған кезіндегі микрофонның орын ауыстырған жолы. Сонымен, дыбыстың ауадағы жылдамдығы жүргізіліп отырған эксперименттің шарттары бойынша мына формуламен есептеледі:

$$g = \frac{lv}{n}.$$

Алынған қорытындыны кестелік мәндермен салыстыру үшін, дыбыстың қалыпты жағдайлардағы тарау жылдамдығы шамасын есептеу керек:

$$g = g_0 \sqrt{\frac{273}{273+t}}. \quad (18.2)$$

мұндағы t - Цельсий шкаласы бойынша алынған ауаның бөлмедегі температурасы.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. 18.3-сурет бойынша тізбекті құрастырып, өлшеу орындығындағы микрофонды динамикке таяу орнатыңыздар.

2. Осциллографтың (ЭО) «Диапазон частот» тетігін «Вкл.» деген күйге келтіріңіздер.

3. Осциллографтың (ЭО) «Усиление» тетігін вертикаль және горизонталь бойынша максимум күшейтуге келтіріңіздер.

4. Дыбыс генераторын (ДГ) электр тізбегіне қосып, «Диапазон частот» тетігі арқылы керекті жиілікті таңдап алыңыздар.

5. Осциллографтың «яркость», «фокус», «смещение у» және «смещение х» тетіктерін қозғап реттеу арқылы суретті керекті жарықтыққа, айқындыққа жеткізіп оны экранның центріне қою керек.

6. Дыбыс генераторындағы (ДГ) «Амплитуда выход» арқылы траектория горизонталь бойынша 2-3 см мөлшерде болатындай кернеу таңдап алыңыздар.

7. Микрофонды (М) динамиктен (Д) біртіндеп қашықтатып, орындықтағы микрофонның орнын белгілей отырып, траектория толық бір айналып әуелгі күйіне қайта келгендегі $\lambda = l_{\min}$ қашықтығын табыңыздар.

8. Микрофонды одан әрі жылжытып, экрандағы суреттің (түзу сызық) қайталануына сәйкес микрофонның орындықтағы жаңа орындарын тауып траекторияның n - қайталану санын жазып және сол n үшін l қашықтықты анықтаңыздар.

Ескерту: динамиктен микрофонды қашықтатқан сайын микрофондағы электрлік тербелістердің амплитудасы кішірейеді де, траектория горизонталь бағытта созылады. Сондықтан микрофонның қашықтауына сәйкес динамиктегі дыбыстың жоғарылығын реттеуішті бұрып, дыбысты біртіндеп күшейту керек.

9. Микрофонды қайтадан динамикке біртіндеп жақындату арқылы өлшеуді қайталаныздар.

10. Әр түрлі жиіліктер үшін дыбыстың ауадағы тарау жылдамдығын 7-9 тармақтар бойынша кемінде 5 рет қайталап табыңыздар.

11. Өлшеулер дәлдігін анықтаңыздар. Өлшегеннен табылған шамаларды 18.1-кестеге толтырыңыздар.

18.1-кесте.

№	l_{\min}	n	l	g	Δg	$\frac{\Delta \bar{g}}{\bar{g}} \cdot 100\%$	$g = \bar{g} + \Delta \bar{g}$
1							
2							
3							
4							
5							

12. (18.2) формула бойынша 0°C кезіндегі дыбыс жылдамдығын есептеңіздер. Кестедегі мәнімен салыстырып неліктен айырмашылық шыққанын түсіндіріңіздер.

Бақылау сұрақтары:

1. Дыбыс жылдамдығының физикалық мағынасы неде?
2. Дыбыс жылдамдығы неге байланысты?
3. Дыбыс толқындары қалай таралады?
4. (1) теңдеуді қорытып шығарыңдар.

Лабораториялық жұмыс №19. Дыбыстың ауада таралу жылдамдығын анықтау

Жұмыстың мақсаты: дыбыс жылдамдығын анықтау әдісімен танысу және өлшеу құралдарын пайдалана білуге дағдыландыру.

Керекті құрал-жабдықтар: микрофон, дыбысты күшейткіш, «Кобра» блогы, екі металл стержень, өлшегіш сызғыш.

Теориядан қысқаша мағлұматтар

Дыбыс тербелістері таралатын негізгі орта ауа болғандықтан, дыбыс толқындарын газда таралатын кума толқындар есебінде қарауға болады. Дыбыс тербелістері соншалық тез болғандықтан, газдың сығылуы мен сиреуін адиабаталық процесс деп есептеуге болады, сондықтан газ күйінің өзгеруі Пуассон формуласымен $PV^\gamma = const$ беріледі. Пуассон формуласын дифференциалдап, кума толқындардың серпімді ортада таралу жылдамдығын

$g = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ (мұндағы, E - ортаның Юнг модулі, ρ - ортаның тығыздығы)

пайдалана отырып, дыбыс толқындарының ауада таралу жылдамдығы үшін төмендегідей формуланы алуға болады:

$$g = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad (19.1)$$

мұндағы $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ - Пуассон тұрақтысы, ρ - ортаның тығыздығы, P - ауаның қысымы.

Менделеев-Клапейрон $PV = \frac{m}{\mu} RT$ тендеуіне сүйене отырып, ауа тығыздығын $\rho = \frac{m}{V} = \frac{P\mu}{RT}$ деп жазып, сонан соң ρ -ның мәнін (19.1) формулаға қойып дыбыс толқындарының таралу жылдамдығы үшін төмендегідей формуланы алуға болады:

$$g = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}} \quad (19.2)$$

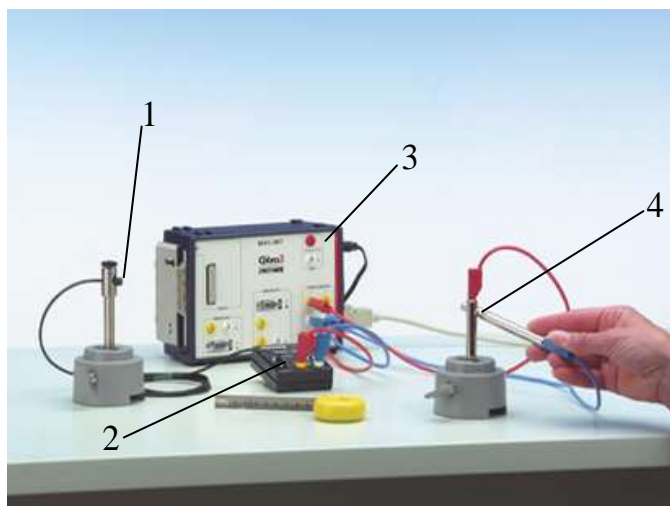
Сонда, берілген газ үшін дыбыс толқындарының таралу жылдамдығы абсолют T температурасының квадрат түбіріне тура пропорционал және газдың P қысымына тәуелді емес.

(19.2) формуланы пайдаланып абсолют температурадағы ($T = 273^0 K$) ауадағы дыбыс жылдамдығының шамасын бағалайық. Мұнда: ауа үшін Пуассон тұрақтысы $\gamma = 1,40$, ал малярлық массасы $\mu = 29$, универсал газ тұрақтысы $R = 8,31 \cdot 10^3 \text{ Дж/кмоль} \cdot \text{град}$ -қа тең.

$$\vartheta = \sqrt{\frac{\gamma R T}{\mu}} = \sqrt{\frac{1,40 \cdot 8,31 \cdot 10^3 \cdot 273}{29}} = 331 \text{ м/с}$$

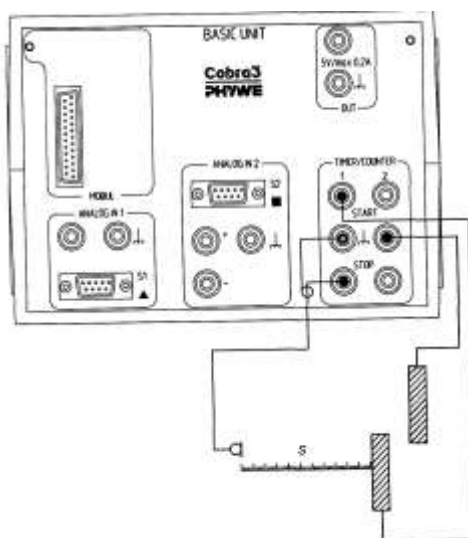
Қондырғының сипаттамасы мен жұмыстың орындалуы

Эксперименттік қондырғының сыртқы көрінісі 19.1-суретте көрсетілген. Мұндағы, 1 – микрофон, 2 – дыбысты күшейткіш, 3 - «Кобра 3» блогы, 4 – екі металл стержень.



19.1-сурет.

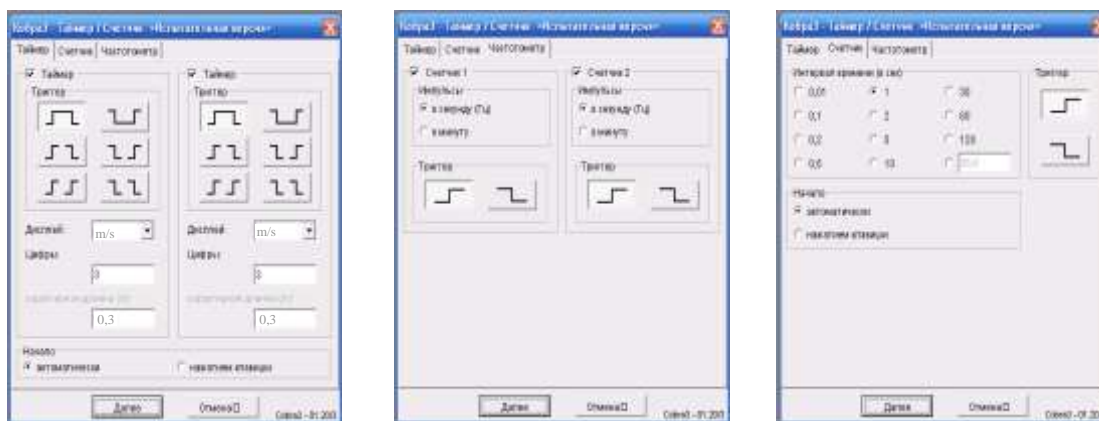
Эксперименттік қондырғыны жұмысқа дайындау үшін 19.2-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек құрастыру керек. Ол үшін өлшеу орындығына бекітілген микрофонмен байланысқан күшейткіштің шығысын «Кобра 3» блогының «Timer-1» кірісіне сымдар арқылы жалғаймыз. Дыбыс шығаратын көзі ретінде алынған екі металл стерженді жалғағыш сымдар арқылы «Кобра 3» блогына 19.2-ші суреттегі сұлбадағыдай етіп жалғаймыз.



19.2 -сурет.

Металл стерженнің біреуін өлшеу орындығына бекітеміз. «Кобра 3» блогын дербес компьютерге «USB» порт арқылы жалғаймыз. Дербес компьютерді электр желісіне қосамыз.

Өлшеулер жүргізу үшін «Windows» ортасында «Таймер/Счетчик» бағдарламасын іске қосып 19.3-суретте көрсетілгендей жұмысшы режимді таңдап аламыз.



19.3 -сурет.

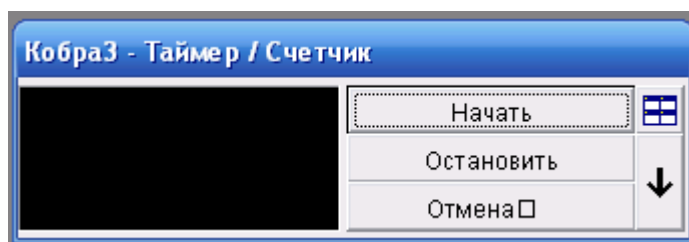
Екі металл стерженді бір-біріне тигізген кезде дыбыс импульстері пайда болады және тізбек тұйықталып «Timer-1» іске қосылады. Бұл кезде дыбыс S қашықтықты жүріп өтіп микрофон мембранасын тербеліске келтіреді де тізбек айырылып «Timer-1» тоқтайды. S қашықтықты біле отырып таймердің көрсетуіндегі t мәнін $\vartheta = \frac{S}{t}$ өрнегіне қойып дыбыс жылдамдығын есептейміз.

Тәжірибені өткізу үшін өлшеу орындықтарына микрофон мен стерженді бірдей деңгейге орнату керек. Тәжірибе кезінде бөгде дыбыс болмау керек.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Эксперименттік қондырғыны 19.2-суретте көрсетілген сұлба бойынша жинаңыздар;
2. Өлшеу орындықтарына орнатылған микрофон мен металл стерженді стол бетіне бірдей деңгейде орналастырыңыздар;
3. Өлшеу орындықтарының бір-бірінен ара қашықтығын $S = 0,3 \text{ м}$ тең етіп алыңыздар;
4. Өлшеу жүргізу үшін «Windows» ортасында «Таймер/Счетчик» бағдарламасын іске қосыңыздар;
5. 3.26.3-суретте көрсетілгендей жұмысшы режимді таңдап алу үшін:
 - «Дисплей» батырмасының мәнін м/с күйіне;
 - «Цифры» батырмасының мәнін 3 Гц дыбыс жиілігі күйіне;
 - «Характерная длина (m)» батырмасының мәнін 0,3 м (өлшеу орындықтарының ара қашықтығы) күйіне келтіру керек;

6. Екі металл стерженді бір-біріне соғып, «Начать» батырмасын басыңыздар (19.4-сурет);



19.4-сурет.

7. «Остановить» батырмасын басып, «Timer-1» көрсетуін жазып алыңыздар (19.5-сурет);



19.5-сурет.

8. Тәжірибеден алынған t мәнін $\mathcal{S} = \frac{S}{t}$ формуласына қойып дыбыс жылдамдығын есептеңіздер;

9. Тәжірибені кемінде 5-рет қайталап, өлшеу дәлдігін анықтаңыздар;

10. Өлшенген, есептеуден табылған шамаларды 19.1-кестеге енгізіп толтырыңыздар;

19.1-кесте.

№	S	t	\mathcal{S}	$\langle \mathcal{S} \rangle$	$\langle \Delta \mathcal{S} \rangle$	$\frac{\langle \Delta \mathcal{S} \rangle}{\langle \mathcal{S} \rangle} 100\%$	$\mathcal{S}_{\text{тажир}} = \langle \mathcal{S} \rangle \pm \langle \Delta \mathcal{S} \rangle$	$\mathcal{S}_{\text{теор}}$
1								
2								
3								
4								
5								

11. $g_{теор} = g_0 \sqrt{\frac{273}{t + 273}}$ формуласы бойынша дыбыс жылдамдығын

есептеңіздер. Шыққан нәтижені тәжірибенің мәнімен салыстырып, неліктен айырмашылық шыққанын түсіндіріңіздер.

12. Өлшеу орындықтарын бір-бірінен $S = 0,4 \div 0,7$ м аралықтарына қойып 4-ші және 8-ші тармақтар бойынша тәжірибені қайталаңыздар.

Ескерту. Таңдап алынған S қашықтығының мәніне «Таймер/Счетчик» бағдарламасындағы «Характерная длинна (m)» батырмасының мәнін сәйкес етіп қою керек. Мысалы, $S = 60$ см болса «Характерная длинна (m)» батырмасының мәнін 0,6 етіп қою керек.

Бақылау сұрақтары:

1. Қандай толқындар дыбыс толқындары деп аталады?
2. Толқынның жылдамдығы, жиілігі, ұзындығы және теңдеуі?
3. Резонанс дегеніміз не?

Лабораториялық жұмыс №20. Гельмгольц резонаторы арқылы дыбыс толқындарының резонансын зерттеу

Жұмыстың мақсаты: резонанс жиілігінің резонатор көлеміне тәуелділігін анықтау.

Керекті құрал-жабдықтар: микрофон, дыбыс күшейткіш, «Кобра» блогы, ұзындығы 300 мм, диаметрі 12 мм шыны түтік, түбі шар тәріздес колба (көлемі $V = 500$ мл \div 100 мл).

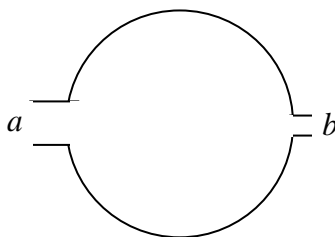
Теориядан қысқаша мағлұматтар

Дыбыс тембріне сапалы сипаттама беру үшін күрделі дыбыс тербелістерін оның гармониялық құраушыларына жіктеу, яғни оның спектрін анықтау керек. Мұндай жіктеуді резонанс құбылысын пайдаланып жүргізуге болады. Егер меншікті тербелістерінің жиілігі бірдей, бірінен бірі біраз қашықтыққа орналастырылған екі камертон алып, біреуін қатты тербетсе, екіншісінде одан гөрі бәсеңдеу тербеліс пайда болады. Бұған көз жеткізу үшін бірінші камертонның тербелісін кенеттен тоқтатады, яғни оның ашаларын қолмен қыса қояды. Осы кезде екінші камертонның нашарлау шыққан дыбысы естіледі. Егер екінші камертонның меншікті тербелісінің жиілігі бірінші камертонның меншікті тербелісінің жиілігінен басқаша болса, онда жоғарыда айтылған құбылыс нашарлау байқалады да, сонда бұл екі камертонның меншікті тербелістері жиілігінің айырмасы неғұрлым көп болса, құбылыс та соғұрлым нашарлау болады. Мұның себебі: бірінші камертонның шығаратын дыбыс толқыны екінші камертонға келіп жеткенде онда мәжбүр тербелістерді қоздырады. Мәжбүр тербелістер амплитудасы резонанс кезінде ең үлкен мәнге

жетеді. Екінші камертон тербелістері аздап өше бастағанда іс жүзінде резонанс құбылысы екі камертонның меншікті тербелістерінің жиіліктері бірдей болған кезде байқалады, бұл жағдайда резонанс құбылысы айқын байқалады. Резонансқа негіздей отырып, күрделі дыбыс тербелісіне былайша анализ жасауға болады: тербелістерінің меншікті жиіліктері ω_i әр түрлі және тербелістері аздап өшетін бірнеше камертон алу қажет, онда күрделі дыбыс тербелісі меншікті тербеліс жиілігі ω_i біз қарастырып отырған күрделі тербелістердің бірі болатын тербелістің ω_k жиілігімен бірдей болып келетін камертондарды ғана тербелуге мәжбүр етеді.

Дыбысқа анализ жасау үшін камертондардың орнына тербелістерінің меншікті жиіліктері белгілі және өшуі шамалы басқа жүйелерді пайдалануға болады.

Дыбысқа алғаш рет анализ жасаған Гельмгольц ауалы қуысы бар резонаторларды қолданған (20.1-сурет). Мұндай резонаторлар жұқа металл сфералардан тұрады. Оның екі тесігі болады: олардың үлкені a , кішісі b . Резонатордың негізгі a тесігі арқылы дыбыс тербелістері резонатордың ішіне енеді, кішкене b тесігін құлаққа ұстап тыңдау арқылы мәжбүр тербелістердің күштілігі анықталады.



20.1-сурет.

Гельмгольц резонаторлары тербелістерінің меншікті ω_0 жиілігінің мәні шамамен мынаған тең:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{d}{V}},$$

мұндағы d - тесіктің (a) диаметрі, ал V - резонатор қуысының көлемі.

Зерттеліп отырған күрделі дыбыс тербелісінің құрамына енетін жай тон тербелістерінің ω_0 меншікті жиіліктері қандай резонатордың жиілігіне жуық келетін болса, сол резонаторды соғұрлым қатты тербелтеді.

Күрделі дыбыс спектрін бірнеше резонаторлар арқылы біртіндеп «тыңдау» және олардың мәжбүр тербелістерінің қаттылығын ести отырып айыру жолымен анықтауға болады.

Қазіргі кезде техника дыбыс құрамын электр акустикалық әдістің неғұрлым жетілген түрімен анықтауға мүмкіндік береді, алайда бұл да мәжбүр тербелістерді бақылау принципіне негізделген.

Қондырғының сипаттамасы мен жұмыстың орындалуы

Эксперименттік қондырғының сыртқы көрінісі 20.2-суретте көрсетілген. Мұндағы, 1 – микрофон, 2 – дыбыс күшейткіш, 3 - «Кобра» блогы, 4 – ұзындығы 300 мм, диаметрі 12 мм шыны түтік, 5 – түбі шар тәріздес колба (көлемі $V = 500 \text{ мл} \div 100 \text{ мл}$).



20.2-сурет.

Эксперименттік қондырғыны жұмысқа дайындау үшін 20.3-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек құрастыру керек. Ол үшін микрофонмен байланысқан күшейткіштің шығысын «Кобра» блогының «Analog 2» кірісіне өткізгіш сымдар арқылы жалғаймыз. «Кобра» блогын дербес компьютерге «USB» порт арқылы жалғаймыз. Дербес компьютерді электр желісіне қосамыз.

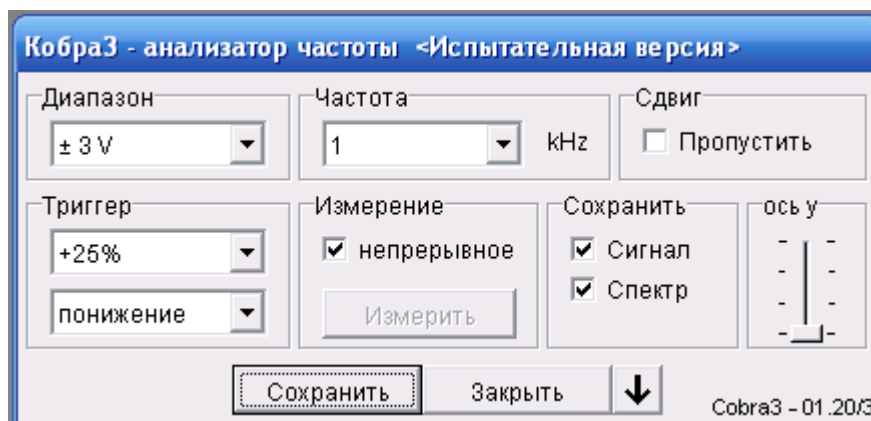


20.3-сурет.

Өлшеулер жүргізу үшін «Windows» ортасында «Анализатор частот» бағдарламасын іске қосып 20.4-суретте көрсетілгендей жұмысшы режимді таңдап алу керек.

20.4-суретте көрсетілгендей жұмысшы режимді таңдап алу үшін:
- «Диапазон» батырмасының мәнін $\pm 3V$ күйіне;

- «Триггер» батырмасының мәндерін +25%, «понижение» күйіне;
 - «Частота» батырмасының мәнін 1кГц күйіне келтіру керек;
- Одан кейін «Сохранить» батырмасын басыңыздар.



20.4-сурет.

«Windows» ортасында әмбебап ойнатқыш арқылы «Media» бумасындағы кез-келген тректі таңдап алып ойнатамыз. Сол кезде дыбыс дербес компьютердің дыбыс зорайтқышы арқылы сыртқа естіледі. Дыбыс зорайтқыштан шыққан дыбыс толқындары түтік кигізілген шыны колбаның ішіндегі ауада тербеліс тудырады. Егер колба ішінде пайда болатын ауаның тербеліс жиілігі дыбыс зорайтқыш шығарып тұрған дыбыс тербелістерінің жиілігімен сай келсе, онда ауада резонанс құбылысы пайда болады.

Дыбыс зорайтқыштан шыққан дыбыс толқыны түтіктің жоғарғы жағынан кері шағылады және осы кезде толқынның фазасы керіге өзгереді. Шағылған дыбыс толқыны жоғары қарап тарап келе жатқан толқынға қарсы жүреді. Шағылған дыбыс толқыны мен алға қарап тараған толқын арасында интерференция құбылысы пайда болады да, осының арқасында тұрғын толқын түзіледі. Пайда болған тұрғын толқынның жиілігі төмендегі формуламен есептеледі:

$$v = \frac{g}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi r^2}{(l + \frac{1}{2} \pi r^2)} \frac{1}{V}}$$

мұндағы g - дыбыс жылдамдығы, l - түтіктің ұзындығы, r - түтіктің радиусы, V - колбаның көлемі.

Тәжірибе кезінде бөгде дыбыс болмау керек.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Эксперименттік қондырғыны 20.2-суретте көрсетілгендей етіп жинаңыздар;
2. Түбі шар тәріздес колбаның ауыз қуысын жоғары қаратып штативке бекітіңіздер;

3. Ұзындығы 300 мм өлшеуіш шыны түтікті төмен қаратып шыны колбаның ішіне енгізіңіздер;

4. Микрофонды өлшеуіш шыны түтіктің ішімен ашық ұшына дейін тік төмен түсіріңіздер;

5. Дыбыс күшейткіштегі дыбыстың қаттылығын реттейтін потенциометрдің тұтқасын ортасына бұрап қойыңыздар;

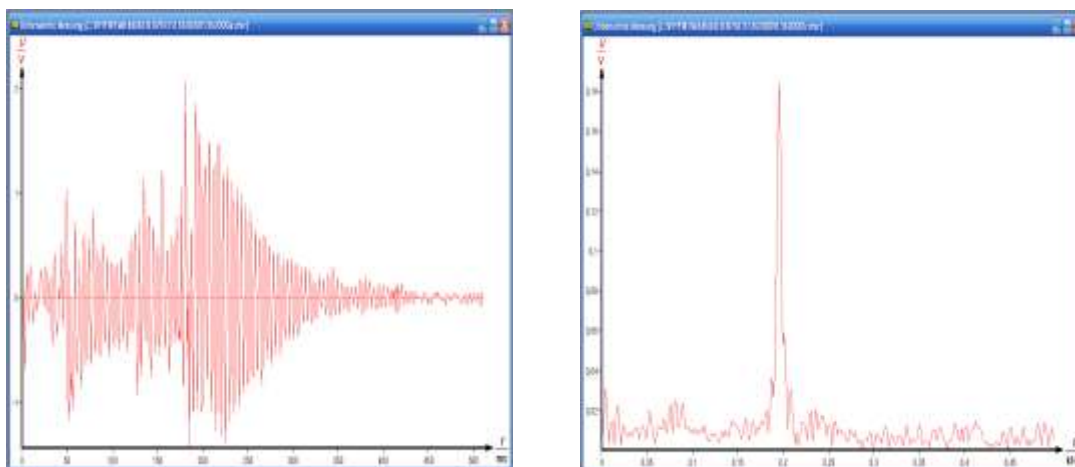
6. Өлшеу жүргізу үшін «Windows» ортасында «Анализатор частот» бағдарламасын іске қосыңыздар;

7. 20.4-суретте көрсетілгендей жұмысшы режимді таңдап алыңыздар;

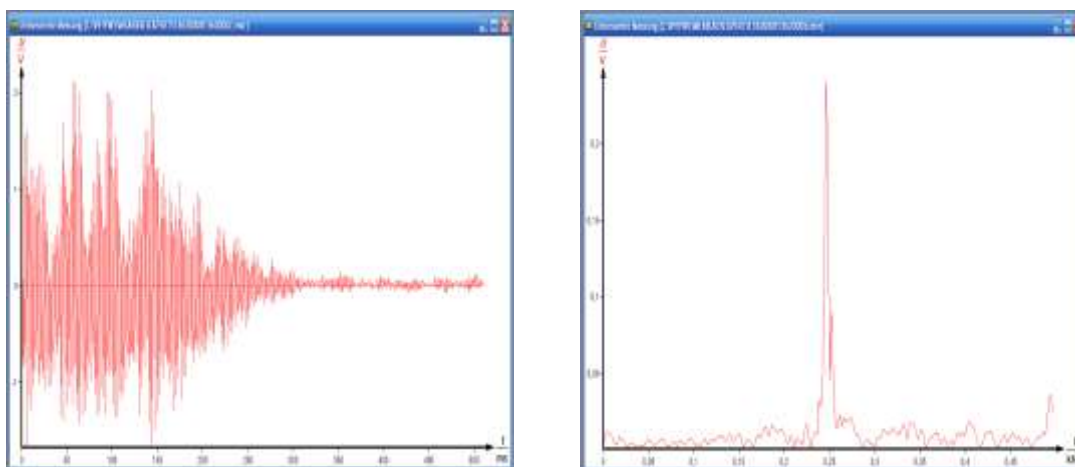
8. «Windows» ортасындағы әмбебап ойнатқыштың «Play» батырмасын басу арқылы дыбыс трекін жіберіңіздер;

9. «Анализатор частот» бағдарламасының «Сохранить» батырмасын басу арқылы пайда болған дыбыс толқынының акустикалық сипаттамаларын сақтаймыз;

10. Сандық талдау жасау үшін колбаға алдын-ала мөлшері градуирленген мензурка арқылы (судың көлемі колбаның жарты көлемін толтыру керек) су құямыз;



20.5-сурет. Бос колбадағы дыбыс толқындарының акустикалық сипаттамасы



20.6-сурет. Жартылай су толтырылған колбадағы дыбыс толқындарының акустикалық сипаттамасы

11. 6-шы және 9-шы тармақтар бойынша тәжірибені қайталаңыздар;
12. Сапалық талдау жасау үшін екі тәжірибенің нәтижесінде алынған дыбыс толқындарының акустикалық сипаттамаларын салыстырыңыздар (мысалы 20.5, 20.6 суреттер).

Бақылау сұрақтары:

1. Резонанс дегеніміз не?
2. Дыбыстың қандай сипаттамаларын білесіңдер?
3. Дыбыс қаттылығы дыбыс толқынының амплитудасына қалай тәуелді болады?

ҚОСЫМШАЛАР

1-кесте. Шамалардың СИ және СГС жүйелеріндегі бірліктері

Шама	Шаманың бірлігі		Қатынасы СИ / СГС
	СИ	СГС	
Ұзындық	м	см	10^2
Уақыт	с	с	1
Жылдамдық	м/с	см/с	10^2
Үдеу	м/с ²	см/с ²	10^2
Тербеліс жиілігі	Гц	Гц	1
Айналу жиілігі	с ⁻¹	с ⁻¹	1
Бұрыштық жылдамдық	рад/с	рад/с	1
Бұрыштық үдеу	рад/с ²	рад/с ²	1
Масса	кг	г	10^3
Тығыздық	кг/м ³	г/м ³	10^{-3}
Күш	Н	дин	10^5
Қысым, кернеу	Па	дин/см ²	10
Импульс	кг·м/с	г·см/с	10^5
Күш моменті	Н·м	дин·см	10^7
Энергия, жұмыс	Дж	эрг	10^7
Қуат	Вт	эрг/с	10^7
Энергия ағынының тығыздығы	Вт/м ²	эрг/(с·см ²)	10^3
Импульс моменті	кг·м ² /с	г·м ² /с	10^7
Инерция моменті	кг·м ²	г·см ²	10^7
Тұтқырлық	Па·с	П	10
Температура	К	К	1

2-кесте. Ондық еселік пен бірлік үлестерді түрлендіретін жалғаулар

Еселік			Үлестік		
жалғау	белгіленуі	көбейткіш	жалғау	белгіленуі	көбейткіш
экса	Э	10^{18}	атто	а	10^{-18}
пета	П	10^{15}	фемто	ф	10^{-15}
тера	Т	10^{12}	пико	п	10^{-12}
гига	Г	10^9	нано	н	10^{-9}
мега	М	10^6	микро	мк	10^{-6}
кило	к	10^3	милли	м	10^{-3}
гекто	г	10^2	сант	с	10^{-2}
дека	да	10^1	деци	д	10^{-1}

3-кесте. Кейбір сұйықтардың қасиеттері

Сұйықтар	Тығыздығы, кг/м ³	20 °С-ғы меншікті жылу сыйымдылығы		20 °С –ғы беттік керілу коэффициенті, н/м
		Дж/кг. град	кал/г.град	
Бензол	880	1720	0,41	0,03
Су	1000	4190	1	0,073
Глицерин	1200	2430	0,58	0,064
Кастрол майы	900	1800	0,43	0,035
Керосин	800	2140	0,051	0,03
Сынап	13600	138	0,0033	0,5
Спирт	790	2510	0,6	0,02

4-кесте. Кейбір қатты заттардың қасиеттері

Заттар	Тығыздығы, кг/м ³	Балқу температурасы, °С	Меншікті жылу сыйымдылығы, Дж/кг. град	Меншікті балқу жылу, Дж/кг	Ұзындықтың жылулық ұлғаю коэффициенті, град ⁻¹
Алюминий	2600	659	890	3,22*10 ⁵	2,3*10 ⁻⁵
Темір	7900	1530	500	2,72*10 ⁵	1,2*10 ⁻⁵
Жез (латунь)	8400	900	386	-	1,9*10 ⁻⁵
Мұз	900	0	2100	3,35*10 ⁵	-
Мыс	8600	1100	395	1,76*10 ⁵	1,6*10 ⁻⁵
Қалайы	7200	232	230	5,86*10 ⁵	2,7*10 ⁻⁵
Платина	21400	1770	117	1,13*10 ⁵	0,89*10 ⁻⁵
Тығын	200	-	2050	-	-
Қорғасын	11300	327	126	2,26*10 ⁴	2,97*10 ⁻⁵
Күміс	10500	960	234	8,8*10 ⁴	1,9*10 ⁻⁵
Болат	7700	1300	460	-	1,06*10 ⁻⁵
Мырыш	7000	420	391	1,17*10 ⁵	2,9*10 ⁻⁵

5-кесте. Серпімділік тұрақтылары. Беріктік шегі

Материал	Юнг модулі, E, ГПа	Жылжу модулі, G, ГПа	Пуассон коэффициенті, μ	Үзілу беріктік шегі, σ_m , ГПа	Сығылу, β , ГПа ⁻¹
Алюминий	70	26	0,34	0,10	0,014
Мыс	130	40	0,34	0,30	0,007
Қорғасын	16	5,6	0,44	0,015	0,022
Темір(болат)	200	81	0,29	0,60	0,006
Шыны	60	30	0,25	0,05	0,025
Су	-	-	-	-	0,49

6-кесте. Дистилляцияланған судың әр түрлі температурадағы беттік керілу коэффициентінің мәндері

t°, C	$\alpha_0, H/m$
15	$7,326 \cdot 10^{-2}$
16	$7,331 \cdot 10^{-2}$
17	$7,296 \cdot 10^{-2}$
18	$7,282 \cdot 10^{-2}$
19	$7,267 \cdot 10^{-2}$
20	$7,252 \cdot 10^{-2}$
21	$7,257 \cdot 10^{-2}$
22	$7,222 \cdot 10^{-2}$
23	$7,267 \cdot 10^{-2}$
24	$7,192 \cdot 10^{-2}$
25	$7,175 \cdot 10^{-2}$

7-кесте. Дистилляцияланған судың температураға байланысты алынған динамикалық тұтқырлық коэффициенті мен тығыздығының мәндері

t°, c	$\eta_0, Па$	$\rho_0, кг/м^3$
15	$1,140 \cdot 10^{-3}$	999,13
16	$1,110 \cdot 10^{-3}$	998,97
17	$1,082 \cdot 10^{-3}$	998,80
18	$1,055 \cdot 10^{-3}$	998,62
19	$1,029 \cdot 10^{-3}$	998,43
20	$1,005 \cdot 10^{-3}$	998,23
21	$0,980 \cdot 10^{-3}$	998,02
22	$0,957 \cdot 10^{-3}$	997,80
23	$0,936 \cdot 10^{-3}$	997,57
24	$0,915 \cdot 10^{-3}$	997,32
25	$0,995 \cdot 10^{-3}$	997,07

8-кесте. Астрономиялық шамалар

Ғарыштық дене	Орташа радиус, м	Масса, кг	Орташа тығыздық, $10^3 кг/м^3$	Өс маңындағы айналу периоды, тәулік
Күн	$6,95 \cdot 10^8$	$1,99 \cdot 10^{30}$	1,41	25,4
Жер	$6,37 \cdot 10^6$	$5,98 \cdot 10^{24}$	5,52	1,00
Ай	$1,74 \cdot 10^6$	$7,35 \cdot 10^{22}$	3,30	27,3

9-кесте. Астрономиялық шамалар

Күн жүйесінің планеталары	Күннен орташа ара қашықтық, 10^6	Күн маңында айналу периоды, жыл	Жер массасы бірлігіндегі масса
Меркурий	57,87	0,241	0,056
Венера	108,14	0,615	0,817
Жер	149,50	1,000	1,000
Марс	227,79	1,881	0,108
Юпитер	777,8	11,862	318,35
Сатурн	1426,1	29,458	95,22
Уран	2867,7	84,013	14,58
Нептун	4494	164,79	17,26

10-кесте. Негізгі физикалық тұрақтылар

Физикалық шамалар	Сан мәндері
Тартылыс тұрақтысы G	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{сек}^2$
1 киломольдегі молекулалардың саны (Авогадро саны) N_A	$6,025 \cdot 10^{26} \text{ кмоль}^{-1}$
Қалыпты жағдайдағы нақты газдың 1 кмолінің көлемі V_0	$22,4 \text{ м}^3$
Универсал газ тұрақтысы R	$8,31 \cdot 10^3 \text{ Дж/кмоль} \cdot \text{град}$
Больцман тұрақтысы k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/град}$
Фарадей саны F	$9,65 \cdot 10^7 \text{ к/кг} \cdot \text{эқв}$
Стефан-Больцман тұрақтысы σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}^4$
Планк тұрақтысы h	$6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{сек}$
Электронның заряды e	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ к}$
Электронның тыныштық массасы m_e	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Протонның тыныштық массасы m_p	$1,672 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Нейтронның тыныштық массасы m_n	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Вакуумдағы жарықтың таралу жылдамдығы c	$3 \cdot 10^8 \text{ м/сек}$

11-кесте. Стюдент коэффициенті ($t_{\alpha,n}$)

n	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,6$	$\alpha=0,7$	$\alpha=0,8$	$\alpha=0,9$	$\alpha=0,9$ 5	$\alpha=0,9$ 8	$\alpha=0,9$ 99
2	1,00	1,38	2,0	3,1	6,3	12,7	31,8	636,6
3	0,82	1,06	1,3	1,9	2,9	4,3	7,0	31,6
4	0,77	0,98	1,3	1,6	2,4	3,2	4,5	12,9
5	0,74	0,94	1,2	1,5	2,1	2,8	3,7	8,6
6	0,73	0,92	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4	6,9
7	0,72	0,90	1,1	1,4	1,9	2,4	3,1	6,0
8	0,71	0,90	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	5,4
9	0,71	0,90	1,1	1,4	1,9	2,3	2,9	5,0
10	0,70	0,88	1,1	1,4	1,8	2,3	2,8	4,8
15	0,69	0,87	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	4,1
20	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	3,9
40	0,68	0,85	1,1	1,2	1,7	2,0	2,4	3,6

ӘДЕБИЕТТЕР

1. Савельев И.В. Жалпы физика курсы. I том. Механика, тербелістер мен толқындар, молекулалық физика. - Алматы: Мектеп, 1989. – 508 бет.
2. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Жалпы физика курсы. I том. Механиканың физикалық негіздері. Молекулалық физика. Тербелістер мен толқындар. – Алматы: Мектеп, 1971. – 500 бет.
3. Қойшыбаев Н. Жалпы физика курсы. I том. Механика. – А., 2006. – 497 бет.
4. Абдулаев Ж. Жалпы физика курсы. - Алматы: Ана тілі, 1991.
5. Абдулаев Ж. Механикаға кіріспе. - Алматы: Мектеп, 1988.
6. Жұбанов М. Физиканың негізгі заңдары. - Алматы: Мектеп, 1989. – 152 бет.
7. Майсова Н.Н. Практикум по курсу общей физики. - М., «Высшая школа», 1970. – 448 с.
8. Физической практикum. Механика и молекулярная физика. /Под. ред. В.И.Ивереновой. - М.: Наука, 1967. – 352 с.
9. Түркменбаев Ә.Б. Физика курсының лабораториялық практикумы. – Алматы, 2007. – 136 б.
10. Түркменбаев Ә.Б. Физика пәні бойынша лабораториялық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқау. – Ақтау, 2007. – 46 б.
11. Власов А.Д., Мури́н Б.П. Единица физических величин в науке и технике. Справочник. - М.: Энергоатом издат, 1990. – 176 с.
12. Енохович А.С. Справочник по физике и технике. - М.: Просвещение, 1983. - 255с.
13. Трофимова Т.И. Физика в таблицах и формулах. - М: Дрофа, 2002. – 432 с.
14. Зайдель, А.Н. Ошибки измерений физических величин: Учеб. пособие. - СПб.: Лань, 2005. – 112 с.

МАЗМҰНЫ

Лабораториялық жұмыс №1. Ілгерілемелі қозғалыстың кинематика мен динамика заңдарын Атвуд машинасында зерттеу	3
Зертханалық жұмыс №2. Еркін құлаған дененің үдеуін анықтау	10
Зертханалық жұмыс №3. Көлбеу жазықтық бойымен денелердің қозғалысын оқып үйрену	14
Зертханалық жұмыс №4. Обербек маятнигімен қатты дененің айналмалы қозғалысының негізгі заңын тексеру	17
Зертханалық жұмыс №5. Максвелл маятнигінің инерция моментін анықтау	21
Зертханалық жұмыс №6. Дискінің инерция моментін анықтау	26
Зертханалық жұмыс №7. Импульстің сақталу заңын шарлардың соқтығуы арқылы тексеру	32
Зертханалық жұмыс №8. Механикалық энергияның сақталу заңын тексеру	37
Зертханалық жұмыс №9. Серпімділік күшінің дененің деформациясына тәуелділігін зерттеу	41
Зертханалық жұмыс №10. Айналдыру әдісімен физикалық маятниктің ауырлық центрін анықтау	46
Зертханалық жұмыс №11. Домалау үйкелісі	50
Зертханалық жұмыс №12. Иілу деформациясы арқылы серпімділік модулін анықтау	55
Зертханалық жұмыс №13. Сұйықтың тұтқырлық коэффициентін Стокс әдісімен анықтау	59
Зертханалық жұмыс №14. Тербелмелі қозғалыстың заңдылықтарын математикалық маятниктің көмегімен тексеру	65
Зертханалық жұмыс №15. Серіппелі маятниктің тербеліс периодын анықтау	70
Зертханалық жұмыс №16. Бір бостандық дәрежелі жүйенің тербелісін зерттеу	73
Зертханалық жұмыс №17. Физикалық маятниктің еркін өшпелі тербелісі	76
Зертханалық жұмыс №18. Дыбыстың ауада тарау жылдамдығын өзара перпендикуляр тербелістерді қосу әдісімен табу	79
Зертханалық жұмыс №19. Дыбыстың ауада таралу жылдамдығын анықтау	84
Зертханалық жұмыс №20. Гельмгольц резонаторы арқылы дыбыс толқындарының резонансын зерттеу	88
ҚОСЫМШАЛАР	94
ӘДЕБИЕТТЕР	98