



«Тұран-Астана»  
университеті

# ФИЗИКА

*пәнінен есептер жинағы  
оқу құралы*

Ерсултанова З.С., Анегова А.Ж.



Астана, 2023

**Туран – Астана университеті**



**Ерсултанова З.С., Анетова А.Ж.**

**ФИЗИКА**  
пәнінен есептер жинағы  
оқу құралы

**Астана, 2023г.**

УДК 53.08  
ББК 22.3

**Рецензенттер:**

Л.Н. Гумилева атындағы Еуразиялық Ұлттық университеті.  
«Математикалық және компьютерлік модельдеу» кафедрасының  
меңгерушісі, ф-м.ғ.д, профессор  
А.А.Адамов;

Туран – Астана университеті. «Ақпараттық технологиялар» кафедрасының  
меңгерушісі, т. ғ. к., профессор Нуспеков Е. Л.

Ерсултанова З.С., Анетова А.Ж. Физика пәнінен есептер жинағы: Оқулық  
құралы / Астана: Туран – Астана университеті, 2023-92б.

«Физика пәнінен есептер жинағы» оқу құралында сабақтардың  
мақсаттары, пәннің тақырыптары бойынша тапсырмалар, тапсырмаларды  
орындау үлгісі, өз бетінше орындайтын тапсырмалар, бақылау сұрақтар,  
негізгі физикалық формулалар, әдебиеттер тізімі берілген.

Оқу құралы «Физика» пәнінің оқу жоспары мен жұмыс  
бағдарламасына  
сәйкес құрастырылған және техникалық мамандығының студенттеріне  
арналған.

УДК 53.08  
ББК 22.3  
ISBN 978-601-04-2402-9

Ерсултанова З.С., Анетова А.Ж. 2023ж.

## МАЗМҰНЫ

МАЗМҰНЫ.....	3
КІРІСПЕ .....	4
1. МАТЕРИАЛДЫҚ НҮКТЕ МЕН ҚАТТЫ ДЕНЕНІҢ ІЛГЕРМЕЛІ ЖӘНЕ АЙНАЛМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ КИНЕМАТИКАСЫ.....	5
2. МАТЕРИАЛДЫҚ НҮКТЕ МЕН ҚАТТЫ ДЕНЕНІҢ ІЛГЕРМЕЛІ ЖӘНЕ АЙНАЛМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ ДИНАМИКАСЫ.....	8
3. МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҰМЫС ЖӘНЕ ЭНЕРГИЯ. МЕХАНИКАДАҒЫ САҚТАЛУ ЗАҢДАРЫ. ....	12
4. МЕХАНИКАДАҒЫ САҚТАЛУ ЗАҢДАРЫ. ....	15
5. ГАЗДЫҢ МОЛЕКУЛА-КИНЕТИКАЛЫҚ ТЕОРИЯСЫ.....	18
6.ТЕРМОДИНАМИКА НЕГІЗДЕРІ. ....	21
7. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ОСТРОГРАДСКИЙ-ГАУСС ТЕОРЕМАСЫ. ...	25
8. ЭЛЕКТР ӨРІСІНДЕГІ ӨТКІЗГІШТЕР МЕН ДИЭЛЕКТРИКТЕР. ЭЛЕКТР ӨРІСІНІҢ ЭНЕРГИЯСЫ. ....	28
9. ТҰРАҚТЫ ЭЛЕКТР ТОҒЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ ЗАҢДАРЫ.....	31
10. МАГНИТОСТАТИКА. БИО-САВАР-ЛАПЛАС ЗАҢЫ.....	34
11. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ИНДУКЦИЯ ЗАҢЫ ЖӘНЕ ӨЗДІК ИНДУКЦИЯ. ....	38
ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 1 .....	41
ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 2.....	47
ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 3.....	50
ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 4.....	55
ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 5.....	59
ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 6.....	63
ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 7.....	71
ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 8.....	74
ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 9.....	78
ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 10.....	82
ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС №11. ....	86
ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС №12. ....	89
ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.....	92

## КІРІСПЕ

Техникалық ғылымдар үшін физиканың атқаратын ролі өте зор. Физика - техникалық мамандықтардың негізін қалайтын ғылым. Студенттерге физиканы оқыту болашақ маманның классикалық және қазіргі заманғы физика теорияларын, іргелі заңдарын, сондай-ақ физикалық зерттеулердің әдістерін пайдалану дағдылары мен біліктіліктерін, шығармашылық ойлауы мен ғылыми көзқарасын, типтік есептерді математикалық түрде тұжырымдап және оларды шешу дағдыларын қалыптастырады.

Пәнді игеруде қойылатын талаптар

«Физика» пәнін оқып-үйрену барысында студентер төмендегі мәселерді біліп шығуға міндетті:

- негізгі физикалық теориялар мен қағидаларды, зерттеудің физикалық әдістерін, олардың қолданылуының негізгі заңдары мен шектерін білу;
- теориялық білімдерді нақты физикалық тапсырмалар мен жағдайларды шешу үшін қолдана білу, физикалық эксперимент нәтижелерін талдау, компьютер пайдалану арқылы физикалық жағдайларды моделдеуді білу;
- физикалық эксперимент жүргізу, өлшеуіш аспаптармен жұмыс істеу және өлшеу нәтижелерін есептеу мен өңдеу дағдылары болуы қажет.

# 1. МАТЕРИАЛДЫҚ НҮКТЕ МЕН ҚАТТЫ ДЕНЕНІҢ ІЛГЕРМЕЛІ ЖӘНЕ АЙНАЛМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ КИНЕМАТИКАСЫ.

Сабақтың мақсаты: Физикалық модельдермен танысу. Ілгермелі және айналмалы қозғалыстың негізгі сипаттамаларын, қозғалыстың түрлерін білу, қозғалыс теңдеулерін есеп шығарғанда қолдана білу.

Тапсырмалар:

1.1. Автомобиль өзінің қозғалыс уақытының бірінші бөлігін 80км/сағ жылдамдықпен жүрді, ал уақытының екінші бөлігін 40км/сағ жылдамдықпен жүрді,автомобиль қозғалысының орташа жылдамдығы қандай?

1.2. Вертикаль жоғары лақтырылған дене қайтадан жерге 3с кейін түседі, дененің бастапқы жылдамдығын және қандай биіктікке көтерілгенін анықтаңдар. Ауаның кедергісі есепке алынбайды.

1.3. Поезд 36 км/сағ жылдамдықпен бірқалыпты баяу қозғала отырып, 20с өткеннен кейін тоқтайды. 1) поездың үдеуін, 2) аялдамаға дейінгі тежеуіш қашықтықты табу керек.

1.4. Дене біраз уақыт бойы тұрақты  $v_0 = 20$  м/с жылдамдықпен қозғалады. Сонан кейін оның қозғалысы бірқалыпты айнымалы болып, ол 10 с ішінде 300 м жол жүреді. Дененің соңғы жылдамдығы мен үдеуін табыңдар.

1.5.  $a = -0.5$  м/с<sup>2</sup> үдеумен бірқалыпты баяу қозғалып келе жатқан дене тежелгеннен кейін 20с кейін тоқтайды. Тоқтағанға дейін ол қанша жол жүрді? Оның бастапқы жылдамдығы қандай?

1.6. Дене  $H = 810$  м биіктіктен еркін түседі. Осы биіктікті түсетін уақыттары бірдей болатындай етіп үш бөлікке бөлу керек.

1.7. Велосипед доңғалағының радиусы 40 см. Егер доңғалақ минутына 100 айналым жасаса, велосипедшінің жылдамдығы қандай болады? Доңғалақтың бұрыштық жылдамдығы неге тең?

1.8. Дененің жүрген жолының  $S = At - Bt^2 - Ct^3$  уақытқа тәуелділік теңдеуі берілген. Мұндағы  $A = 2$  м/с,  $B = 3$  м/с<sup>2</sup> және  $C = 4$  м/с<sup>3</sup>. 1) жылдамдық пен үдеудің уақытқа тәуелділігін; 2) дененің жүріп өткен жолын және қозғалыс басталғаннан 2 с уақыт өткеннен кейін дененің жылдамдығы мен үдеуін табу керек; 3) әр 0,5с үшін уақыттың  $0 < t < 3$  интервалдағы жолдың, жылдамдықтың және үдеудің графиктерін салыңдар.

1.9. Нүкте радиусы 20 см шеңбердің бойымен  $= 5$  м/с<sup>2</sup> тұрақты тангенциал үдеумен қозғалады. Қозғалыс басталғаннан қанша уақыттан кейін нүктенің нормаль үдеуі  $a_n$  1) тангенциал үдеуге тең болады; 2) тангенциал үдеуден екі есе үлкен болады?

1.10. Радиусы  $R = 5$  м дөңгелек, дөңгелектің радиусының бұрылу бұрышының уақытқа тәуелділігі  $\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$  теңдеумен берілетіндей айналады. Мұндағы  $D = 1$  рад/с<sup>3</sup>. Дөңгелектің шеңберінде

жатқан нүкте үшін қозғалыстың әрбір секундтағы тангенциал үдеуінің  $\Delta a$ , өзгерісін табу керек.

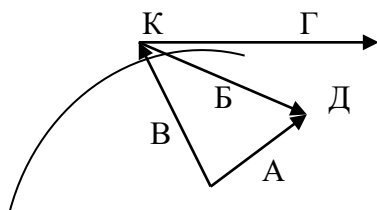
Тапсырмаларды орындауға нұсқаулар:

1-кесте - Негізгі формулалар

Формулалар	Шамалардың атаулары
$s = \frac{ds}{dt}, \alpha = \frac{dv}{dt}$	Жылдамдық және үдеу
$s = \sqrt{2gh}$	Бірқалыпты айнымалы түзусызықты қозғалыс жолы
$a_\tau = \frac{dv}{dt}$	Тангенциал үдеу (жанама)
$a_n = \frac{v^2}{R}$	Нормаль үдеу (центрге тартқыш)
$\alpha = \sqrt{\alpha_\tau^2 + \alpha_n^2}$	Толық үдеу
$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$	Бір қалыпты айналмалы қозғалыс кезіндегі бұрылу бұрышы
$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$	Бір қалыпты айнымалы қозғалыс кезіндегі шеңбер бойымен айналған нүктенің бұрыштық жылдамдығы
$\omega = \omega_0 + \varepsilon t$	Бір қалыпты айналмалы қозғалыстың бұрыштық жылдамдығы
$\varepsilon = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t} = \frac{d\omega}{dt}$	Бір қалыпты айналмалы қозғалыстың бұрыштық үдеуі
$s = \omega R$	Бұрыштық және сызықтық жылдамдық арасындағы байланыс

Бақылау сұрақтары:

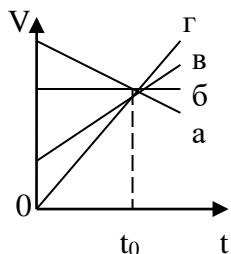
1. Айналмалы қозғалыс дегеніміз не ?
2. Нүктенің бастапқы және кейінгі орнын қосатын вектор.
3. КЕ қисық сызықты траекториямен қозғалатын нүктенің орын ауыстыруын векторлардың қайсысы сәйкес келеді?



1.1-сурет-3-сұраққа

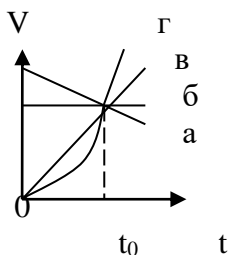
4. Нүкте қозғалысының жалпы теңдеуін көрсетіңіздер

5. Шеңбер бойымен үдемелі қозғалған материалдық нүктенің бұрыштық жылдамдығы қалай бағыттылған?
6. Дененің жүрген жолының уақытқа тәуелділігі  $s = A + Bt + Ct^3$  теңдеуі арқылы берілген болса, дене қалай қозғалады?
7. Қозғалыс графиктері суретте көрсетілген денелердің қайсысы  $t_0$  уақытта ең үлкен жол жүреді?



1.2-сурет-7-сұраққа

8. Қозғалыс графиктері суретте көрсетілген денелердің қайсысы  $t_0$  уақытта ең аз жол жүреді?



1.3-сурет-8-сұраққа

9. Қозғалмайтын ості дене мына заң бойынша  $\varphi = A + Bt + Ct^2$ ,  $B=20\text{рад|с}$ ,  $c=-2\text{рад|с}^2$  айналады.  $t=4\text{с}$  уақыт кезіндегі осьтегі нүктенің бұрыштық жылдамдығын табу керек:
10. Сызықтық жол бұрыштық жолмен қандай қатынаста?



## 2. МАТЕРИАЛДЫҚ НҮКТЕ МЕН ҚАТТЫ ДЕНЕНІҢ ІЛГЕРМЕЛІ ЖӘНЕ АЙНАЛМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ ДИНАМИКАСЫ.

Сабақтың мақсаты: Күштер классификациясымен танысу. Ілгермелі және айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі теңдеулерін есеп шығаруға қолдана білу.

Тапсырмалар:

2.1. Биіктігі  $h = 3$  м, горизонтпен  $30^\circ$  бұрыш құрайтын көлбеу жазықтың бойымен тыныштықтағы дене сырғанап түсу үшін қанша уақыт керек? Егер көлбеу жазық горизонтпен  $10^\circ$  бұрыш құраса және дене бірқалыпты қозғалса.

2.2. Массасы  $m=20$  кг денені  $F=120$  Н күшпен горизонталь беттің бойымен тартады. Егер күш горизонтпен  $60^\circ$  бұрыш құраса, онда дене бірқалыпты қозғалады. Ал егер осы күш горизонтпен  $30^\circ$  бұрыш құраса, онда дене қандай үдеумен қозғалады?

2.3. Массалары бірдей екі дене бір-бірімен қатаңдық коэффициенті  $k = 200$  Н/м салмақсыз серіппемен қосылған. Денелер теп-тегіс жазық бетте орналасқан. Бір денеге  $F_{||}=20$  Н жазық бойымен бағытталған күш әсер етеді. Серіппенің  $\Delta l$  ұзаруын анықтаңдар.

2.4. Салмақтары әр түрлі екі гирді бір-бірімен жіп арқылы жалғастырып, инерция моменті  $J=50$  кг\*м<sup>2</sup> және радиусы  $R=20$  см блоктың үстінен асырылып тасталынған. Блок үйкеліспен айналады және оның үйкеліс күшінің моменті  $M_{\text{үй}}=98,1$  н\*м. Блок тұрақты бұрыштық үдеумен  $\varepsilon=2,36$  рад/сек<sup>2</sup> айналады деп, блоктың екі жағындағы жіптің керулерінің айырымын  $T_1-T_2$  табу керек.

2.5. Инерция моменті  $245$  кг\*м<sup>2</sup> маховик дөңгелегі  $20$  айн/с жасай отырып айналады. Дөңгелекке айналдырушы момент әсері тоқтағаннан кейін бір минут өткесін ол тоқтап қалады. Мыналарды: 1) үйкеліс күшінің моментін, 2) күштің әсері тоқтатылғаннан кейінгі дөңгелектің тұрып қалғанына дейінгі жасаған айналым санын табу керек.

2.6. Салмақтары  $P_1=20$  Н және  $P_2=10$  Н екі гир бір-бірімен жіп арқылы жалғастырылып, салмағы  $P=10$  Н блоктан асырылып тасталынған. Мыналарды: 1) гирлердің қозғалысының үдеулерін  $a$ , 2) гирлер ілінген жіптің  $T_1$  және  $T_2$  керілулерін табу керек. Блокты біртекті дискі деп аламыз. Үйкеліс есепке алынбайды.

2.7. Радиусы  $R=0,2$  м біртекті дискінің құрсауына  $F=98,1$  Н тұрақты жанама күш түсірілген. Дискі айналған уақытта оған үйкеліс күшінің моменті  $M_{\text{үйк}}=5$  Нм әсер етеді, дискі  $100$  рад/с<sup>2</sup> тұрақты бұрыштың жылдамдықпен айналады деп есептеп, дискінің  $P$  салмағын табу керек.

2.8. Радиусы  $R=0,2$  м және салмағы  $P=0,5$  Н біртекті дискі, оның центрінен өтетін өске қатысты айналады, дискінің бұрыштық жылдамдығының уақытқа тәуелділігі  $\omega=A+Bt$  теңдеуімен берілген,

мұндағы  $\omega = 1 \text{ рад/с}^2$ , дискінің құрсауына түсірілген жанама күштің шамасын табу керек, үйкеліс есепке алынбайды.

2.9. Инерция моменті  $I = 63,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  маховик  $\omega = 31,4 \text{ рад/с}$  тұрақты бұрыштық жылдамдықпен айналады, маховикті  $t = 20 \text{ с}$  ішінде тоқтататын  $M$  тежеуіш моментін табу керек.

2.10. Радиусы  $R = 0,5 \text{ м}$  барабанға, салмағы  $P = 1 \text{ Н}$  жүгі бар жіп оралған. Егер жүктің төмен түсу үдеуі  $a = 2,04 \text{ м/с}^2$  болса, онда барабанның инерция моменті қандай болады?

### Тапсырмаларды орындауға нұсқаулар

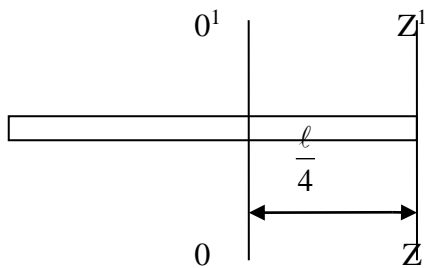
#### 2-кесте - Негізгі формулалар

Ньютонның 2 заңы	$F = ma = \frac{dp}{dt}$
Сырғанау үйкеліс күші	$F_{mp} = fN$
Ауырлық күші	$F = mg$
Гравитациялық өрістің кернеулігі	$G = \frac{F}{m}$
Гравитациялық өрістің потенциалы	$\varphi = \frac{U}{m} = -G \frac{M}{R}$
Гравитациялық өрістің кернеулігі мен потенциалы арасындағы байланыс	$G = -\text{grad } \varphi$
Жүйенің (дененің) инерция моменті	$J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$
Штейнер теоремасы	$J = J_c + ma^2$
Айналмалы қозғалыстың кинетикалық энергиясы	$T_{\text{сп}} = \frac{J\omega^2}{2}$
Күш моменті	$M = [r \times F]$
Айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі теңдеуі	$M = I\varepsilon = \frac{dL}{dt}$

Бақылау сұрақтары:

1. Ньютонның екінші заңы қай жағдайда қолданылмайды?
2. Қандай жағдайда қалыпты реакция автомобиль салмағына тең болады?
3. Қозғалмайтын нүктеге қатысты күш моменті.
4. Импульс моменті
5. Айналу оське қатысты нүктенің инерция моменті
6. Айналмалы қозғалыстың негізгі теңдеуін жазыңдар.

7. Егер жұқа стержіннің  $OO^1$  осіне қатысты инерция моменті  $I_0 = \frac{ml^2}{12}$  болса, Штейнер теоремасын қолданып, осы стержінің  $zz^1$  осіне қатысты инерция моментінің есептеп шығарыңыз.



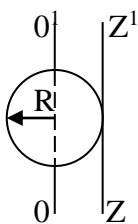
2.1-сурет-7-сұраққа

8. Егер жұқа біртекті стержінің инерция центрі арқылы өтетін  $OO^1$  осіне қатысты инерция моменті  $I_0 = \frac{ml^2}{12}$  болса, Штейнер теоремасын қолданып, осы стержіннің  $zz^1$  осіне қатысты инерция моментін есептеп шығарыңыз.



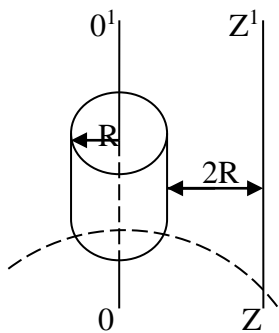
2.2-сурет-8-сұраққа

9. Тұтас біртекті шардың инерция центрі арқылы өтетін  $OO^1$  осіне қатысты инерция моменті  $I_0 = \frac{2mR^2}{5}$  болса, Штейнер теоремасын қолданып, осы стержіннің  $zz^1$  осіне қатысты инерция моментін есептеп шығарыңыз.



2.3-сурет-9-сұраққа

10. Біртекті тұтас цилиндрдің инерция центрі арқылы өтетін  $OO^1$  осіне қатысты инерция моменті  $I_0 = \frac{mR^2}{2}$  болса, Штейнер теоремасын қолданып, осы стержінің  $ZZ^1$  осіне қатысты инерция моментін есептеп шығарыңыз.



2.4-сурет-10-сұраққа

### 3. МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҰМЫС ЖӘНЕ ЭНЕРГИЯ. МЕХАНИКАДАҒЫ САҚТАЛУ ЗАҢДАРЫ.

Сабақтардың мақсаты: Механикалық жұмыс пен энергияның физикалық мағынасын ашып түсіндіру.

Тапсырмалар:

3.1. Горизонталь жазықтықтың бетімен сырғанамай домалап келе жатқан салмағы 20 Н дискінің жылдамдығы 4 м/с. Дискінің кинетикалық энергиясын табу керек.

3.2. Массасы 50 г шар резеңке жіпке ілулі тұр. Жіптің бастапқы ұзындығы 30 см. Егер шар  $\pi = 180$  айн/мин, жылдамдықпен айналып тұрса, жіп қанша ұзарар еді?  $k = 980$  Н/м деп алындар.

3.3. Ғарыш кемесінің Жер бетінен биіктігі 1500 км. Оның жылдамдығын табындар.

3.4. Массасы 2 кг қозғалыстағы дененің жылдамдығын 2 м/с-тен 5 м/с-ке дейін өсіру үшін және бастапқы жылдамдығы 8 м/с болғанда тоқтап қалу үшін, қандай жұмыс істеу керек?

3.5. Биіктігі  $H = 25$  м мұнарадан 15 м/с жылдамдықпен горизонталь бағытта тас лақтырылған. Қозғалыс басталғаннан 1 с өткеннен кейінгі тастың кинетикалық және потенциалдық энергиясын табу керек. Тастың массасы  $m = 0,2$  кг. Ауаның кедергісі есепке алынбайды.

3.6. Горизонталь жазықтықтың бетімен сырғанаусыз домалап келе жатқан салмағы 0,2 Н дискінің жылдамдығы 4 м/с. Дискінің кинетикалық энергиясын табу керек.

3.7. Массасы  $m = 5$  кг дискінің құрсауына  $F = 20$  Н тұрақты жанама күш түсірілген. Күштің әсер етуінің басынан  $t = 5$  с өткеннен кейінгі дискінің кинетикалық энергиясы қандай болатындығын анықтау керек.

3.8. Дене 20 Н күштің әсерінен түзу сызықтың бойымен 40 м жол жүрді. Істелінген жұмыстың шамасын табындар.

3.9. Массасы 4 кг денені тік жоғары қарай 20 м биіктікке көтергенде, 480 Дж жұмыс істелінеді. Жүк қандай үдеумен қозғалады?

3.10. Массасы 200 кг жүк  $h$  биіктіктен 10 секундта құлап түсті. Осы уақыт ішінде ауырлық күшінің жасайтын жұмысын табындар.

3.11. Ұзындығы 60 см жіпке шар ілінген. Шардың ауытқуы оның ұзындығына тең болуы үшін шардың горизонталь жылдамдығы неге тең болуы керек?

3.12. Салмағы 40 Н жүк 10 м биіктікке  $2 \text{ м/с}^2$  үдеумен көтеріледі. Осы кезде істелінген жұмысты табындар.

3.13. Горизонтқа  $30^\circ$  бұрыш жасап, массасы 50 кг жүкті бірқалыпты сүйрей отырып, 25 м жол жүрілді. Сырғанау үйкеліс коэффициенті 0,4 тең. Істелінген жұмыстың шамасын табындар.

3.14. Массасы 4000 кг тікұшақ бірқалыпты үдемелі қозғала отырып, 2 мин ішінде 200 м биіктікке көтерілген. Двигательдің жұмысын табындар.

3.15. Тепловоздың тарту күші 240 кН, ал қуаты 2200 кВт болса, ол екі станцияның аралығын ( $l=50$  км) қанша уақытта жүріп өтеді?

3.16. «ИЖ-Планета-3» мотоциклінің қуаты 13кВт. Мотоциклдің жылдамдығы 60 км/сағ болса, онда оның двигателінің тарту күшінің шамасы қандай болады?

3.17. Көтергіш кран салмағы 29,4кН жүкті 120с уақытта 15м биіктікке көтереді. Көтергіш кран моторының қуатын табындар.

Тапсырмаларды орындауға нұсқаулар

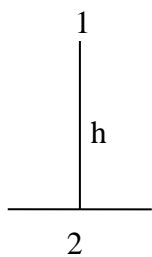
3-кесте - Негізгі формулалар

Айнымалы күштің жұмысы	$A = \int_s F \cos \alpha ds$
Лездік қуат	$N = \frac{dA}{dt}$
Кинетикалық энергия	$T = \frac{mv^2}{2}$
Жер бетінен белгілі биіктіктегі дененің потенциалдық энергиясы	$\Pi = mgh$
Серпімді деформацияланған дененің потенциалдық энергиясы	$\Pi = \frac{kx^2}{2}$
Тұйықталған жүйенің толық механикалық энергиясы	$E = T + \Pi$

Бақылау сұрақтары:

1. Механикалық жұмыс
2. Күш векторы мен орын ауыстырудың арасындағы бұрыш  $\alpha$  өзгермеген жағдайда шамасы жағынан тұрақты болатын күштің жұмысы қандай формуламен анықталады?
3. Жердің ауырлық өрісінде орын ауыстырған дененің жұмысы қандай формуламен анықталады.
4. Потенциалдық энергия
5. Кинетикалық энергия.

6. Дене 1-нүктесінен жерге еркін түседі. 1-және 2-нүктелеріндегі потенциалдық және кинетикалық энергияның мәндері қандай?



3.1-сурет-6-сұраққа

7. Серпімді деформацияланған дененің потенциалдық энергиясы қандай формуламен анықталады?

8. Консервативтік күштер.

9. Механикалық энергияның сақталу заңы.

10. Соқтығу серпімсіз деп аталады, егер...

## 4. МЕХАНИКАДАҒЫ САҚТАЛУ ЗАҢДАРЫ.

Сабақтардың мақсаты: Импульстің, Толық механикалық энергияның, Импульс моментінің сақталу заңдарын есеп шығаруға қолдану.

Тапсырмалар:

4.1. Массасы 200 г шар 10 м/с жылдамдықпен қабырғаға перпендикуляр қозғалып соғылады. Шардың қабырғаға әсер күшін табу керек, егер соқтығысу уақыты 0,01 с. болса. Шар қабырғаның ішінде қалды деп есептейміз.

4.2 Массалары  $m_1 = 2,4 \cdot 10^4$  кг және  $m_2 = 1,6 \cdot 10^4$  кг екі платформа  $v_1 = 0,5$  м/с,  $v_2 = 1$  м/с жылдамдықтармен бір-біріне қарама қарсы қозғалады. Екеуі соқтығысқаннан кейін қандай жылдамдықпен қозғалады? Соқтығысты абсолютті серпімсіз соқтығыс деп қарастырындар.

4.3. Массасы 5кг мылтықтан, 600 м/с жылдамдықпен массасы  $5 \cdot 10^{-3}$  кг оқ ұшып шығады. Мылтықтың серпілу (тебу) жылдамдығын табу керек.

4.4. Гранат 10м/с жылдамдықпен ұшып келе жатып екі осколқаға жарылды. Салмағы тұтас гранаттың салмағының 60 процентіне тең үлкен бөлігі, өзінің бұрынғы бағытымен, бірақ 25 м/с-қа тең артық жылдамдықпен қозғала береді. Гранаттың кішкене бөлігінің жылдамдығын табу керек.

4.5. Салмағы  $P_1=20$ Н дене салмағы  $P_2=15$ Н екінші денеге қарсы қозғалады да онымен серпімсіз соғылады. Соғылысудың алдындағы денелердің жылдамдықтары  $v_1=1$  м/с және  $v_2=2$  м/с-ке тең болады. Үйкеліс коэффициентін  $k=0,05$ -ке тең десек, соғылысқаннан кейін денелер қанша уақыт қозғалар еді?

4.6. Салмағы 20Н дене 3 м/с жылдамдықпен қозғалып келе жатып, салмағы 30Н, 1 м/с жылдамдықпен қозғалған екінші денені қуып жетеді. 1) Соғылу серпімсіз болады; 2) соғылу серпімді болады деп алып, соғылысқаннан кейінгі денелердің жылдамдығын табу керек. Денелер бір түзудің бойымен қозғалады. Соққы – центрлік.

4.7. Горизонталь бағытта ұшып келе жатқан оқ өте жеңіл, әрі қатты стерженьге ілінген шарға тиеді де, соның ішінде қалып қояды. Оқтың массасы шардың массасынан 1000 есе кем. Стерженнің ілінген нүктесінен шар центріне дейінгі аралық 1 м-ге тең. Шар мен стержень оқтың соққысынан  $10^0$  бұрышқа бұрылды деп алып, оқтың жылдамдығын табу керек.

4.8. Болат тақтаның үстіне 1м биіктіктен құлап түскен болат шарик, оның үстінен  $v_2=0,75v_1$  жылдамдықпен қайта секіріп кетеді, мұндағы  $v_1$ -оның тақтағы ұшып жеткен жылдамдығы. 1) Ол қандай биіктікке көтеріледі? 2) Шариктің қозғалыс басынан тақтаның бетіне екінші рет түскеніне дейін қанша уақыт өтеді?



4.9. Массасы  $m=20\text{г}$  болат шарик  $h_1=1\text{м}$  биіктіктен болат плитаның бетіне түсіп, одан кері секіріп  $h_2=81\text{ см}$  биіктікке көтеріледі. Мыналарды: 1) соғылысу уақытындағы плитаның алған күш импульсін, 2) соғылысу уақытындағы бөлініп шыққан жылу мөлшерін табу керек.

4.10. Массасы  $m_1$  қозғалып келе жатқан дене массасы  $m_2$  қозғалмайтын денеге келіп соғылады. 1) Центірлік серпімді соғылысу уақытында бірінші

дененің жылдамдығы 1,5 есе кему үшін массалардың  $m_1/m_2$  қатынасы неге тең болу керек?

2) Егер бірінші дененің бастапқы  $W_1$  кинетикалық энергиясы 1 кДж-ге тең болса, онда екінші дене қандай  $W_2$  кинетикалық энергиямен қозғала бастайды?

4.11. Массасы 600 кг, жылдамдығы 1 м/с горизонталь қозғалып бара жатқан платформаның үстіне 200 кг құм құйылды. Платформаның жылдамдығын анықтаңдар.

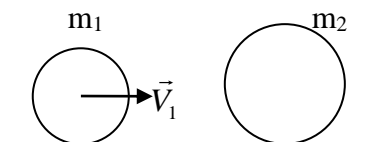
Тапсырмаларды орындауға нұсқаулар

4-кесте - Негізгі формулалар

Қозғалыс мөлшері (импульс)	$p = mv$
Импульстің сақталу заңы (тұйықталған жүйе үшін)	$p = \sum_{i=1}^n m_i v_i = \text{const}$
Толық механикалық энергияның сақталу заңы (тұйықталған жүйе үшін)	$T + \Pi = E = \text{const}$
Қатты дененің импульс моменті (қозғалыс мөлшерінің моменті)	$L = \sum_{i=1}^n m_i v_i r_i = I\omega$
Импульс моментінің сақталу заңы	$I\omega = \text{const}$

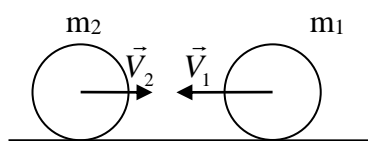
Бақылау сұрақтары:

1. Импульс дегеніміз....
2. Толық механикалық энергия.
3. Импульстің сақталу заңы.
4. Импульс моментінің сақталу заңы.
5. Толық механикалық энергияның сақталу заңы.
6. Соқтығу серпімсіз деп аталады, егер..
7. Шарлардың абсолютті серпімді соғылысуы үшін импульс пен энергияның сақталу заңың көрсетіңіз  $m_2 \gg m_1, v_2 = 0$



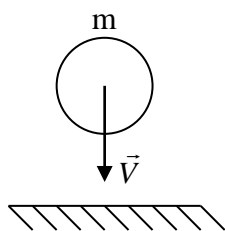
4.1-сурет-7-сұраққа

8. Шарлардың абсолютті серпімді соғылысуы үшін импульс пен энергияның сақталу заңың көрсетіңіз  $m_1 = m_2, v_1 \approx v_2$



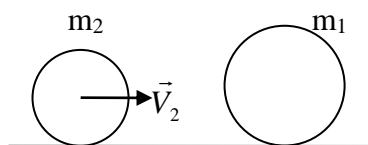
4.2-сурет-8-сұраққа

9. Мына денелердің абсолютті серпімді соғылысуы үшін импульс пен энергияның сақталу заңың көрсетіңіз.



4.3-сурет-9-сұраққа

10. Шарлардың абсолютті серпімсіз соғылысуы үшін импульс пен энергияның сақталу заңың көрсетіңіз  $m_1 \ll m_2, v_1 = 0$



4.4-сурет-10-сұраққа

## 5. ГАЗДЫҢ МОЛЕКУЛА-КИНЕТИКАЛЫҚ ТЕОРИЯСЫ.

Сабақтың мақсаты: Менделеевтің периодтық кестесін дұрыс пайдалана отырып кез келген газдың салыстырмалы молекулалық массасын анықтай білу. Зат мөлшерін есептей білу. Газ заңдарын, Менделеев-клайперон теңдеуін есеп шағаруға қолдану.

Тапсырмалар:

5.1. Массасы 5,4 кг күмістің зат мөлшерін анықтаңдар.

5.2. Тұрақты қысымдағы кейбір екі атомдағы газдың меншікті жылу сыйымдылығы 3,5 кал/г\*град-қа тең. Осы газдың бір киломолинің массасы неге тең болады?

5.3. Қимасының ауданы  $S = 4 \text{ мм}^2$ , ұзындығы  $l = 10 \text{ см}$ , тығыздығы  $\rho = 1,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  графит стержнде қанша көміртегі атомы бар?

5.4. Көлемі  $V_1 = 4 \text{ л}$ . массасы  $m = 0,012 \text{ кг}$  газ  $t_1 = 177 \text{ }^\circ\text{C}$  температурада жабық ыдыста орналасқан. Қандай  $t_2$  температурада газдың тығыздығы  $\rho_2 = 5,3 \text{ кг/м}^3$  болады?

5.5. Бөлмеде  $t_1 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$  температурада газ баллондағы манометр  $p = 240 \text{ кПа}$  қысым көрсетеді. Даладағы манометрдің көрсеткіші  $p = 40 \text{ кПа}$  азайды. Атмосфералық қысым  $p_0 = 100 \text{ кПа}$  болғандағы сырттағы ауаның температурасын табыңдар.

5.6. Азот пен сутегі қоспасының температурасы  $t = 47 \text{ }^\circ\text{C}$ , қысымы  $p = 2 \text{ атм.}$ , ал тығыздығы  $\rho = 0,3 \text{ г/л}$ . Осы қоспаның молекулаларының концентрациясын табыңдар.

5.7. Сутегі молекуласының  $0^\circ\text{C}$  температурадағы квадраттық жылдамдығының орташа мәнін табыңдар.

5.8. Газ молекуласының орташа квадраттық жылдамдығы  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 400 \text{ м/с}$ . Массасы 1 кг осы газдың қалыпты қысымдағы көлемін табыңдар.

5.9. Сыйымдылығы  $V = 3 \text{ л}$  А ыдыстың ішінде қысымы  $p_0 = 2 \text{ ат}$  газ бар, екі ыдыстың ішіндегі температура бірдей, егер А және В ыдыстарды түтік арқылы жалғастырсақ, онда газға түсетін қысым қандай болады?

5.10. Ыдыстың ішінде көмір қышқыл газы бар. Кейбір температурада көмір қышқыл газы молекулаларының оттегі және көміртегі тотғына диссоциациялану дәрежесі 25 процентке тең болады, осы жағдайда ыдыстың ішіндегі қысым, көмір қышқыл газы молекулаларының диссоциацияланбаған уақыттағы қысымынан неше есе үлкен болатынын табу керек?

5.11 Массасы 1 г су буының ішіндегі молекуланың саны қанша?

5.12. Кейбір газдың тығыздығы  $6 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$ -ге, ал осы газ молекулаларының орташа квадраттық жылдамдығы  $500 \text{ м/с}$ -қа тең. Газдың ыдыс қабырғасына түсіретін қысымын табу керек.

5.13. Көлемі 2л ыдыстың ішінде 680 мм сын бағ. қысымдағы 10г оттегі орналасқан, мыналарды: 1) газдың молекуласының орташа

квадраттық жылдамдығын; 2)ыдыстың ішіндегі молекуланың санын; 3)газдың тығыздығын табу керек.

5.14. 7<sup>0</sup>С температурадағы 1 кг азоттың ішіндегі молекулалардың айналмалы қозғалысының энергиясы неге тең?

Тапсырмаларды орындауға нұсқаулар

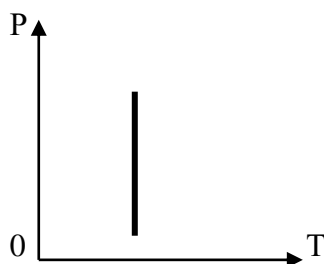
5-кесте - Негізгі формулалар

Изотермалық процесс	$pV=const, \text{ егер } T, m=const$
Изобаралық процесс	$\frac{V}{T} = const, \text{ егер } p, m=const$
Изохоралық процесс	$\frac{P}{T} = const, \text{ егер } V, m=const$
Дальтон заңы	$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$
Клайперон – Менделеев теңдеуі кез келген газ массасы үшін	$pV = \frac{m}{M} RT = \nu RT$
Молекула -кинетикалық теорияның негізгі теңдеуі	$p = \frac{1}{3} nm_0 \langle v_{ке} \rangle^2 = \frac{2}{3} nE$
Молекуланың орташа квадраттық жылдамдығы	$\langle v_{ке} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$
Молекуланың орташа арифметикалық жылдамдығы	$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$
Молекуланың ықтималдық жылдамдығы	$v_B = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$
Барометрлік формула	$n = n_0 e^{-Mgh/(RT)}$
Молекуланың еркін жүрісінің орташа ұзындығы	$\langle l \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle z \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}}$
1 секундтағы молекулалардың орташа соқтығысу саңы	$\langle z \rangle = \sqrt{2\pi d^2 n} \langle v \rangle$
Фурьенің жылу өткізгіштік заңы	$Q = -\lambda \frac{dT}{dx} St$
Диффузия үшін Фик заңы	$M = -D \frac{d\rho}{dx} St$
Ішкі үйкеліс үшін (тұтқырлық) Ньютон заңы	$F = -\eta \frac{dv}{dx} S$
Молекуланың орташа кинетикалық энергиясы	$\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT$

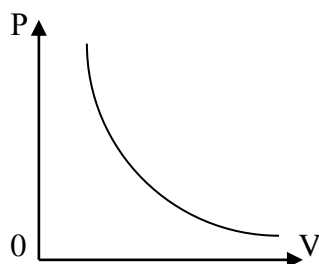
Бақылау сұрақтары:

1. Идеал газдардың анықтамасын беріңіз.
2. Идеал газ күйінің теңдеулері.

3. Сутегінің бір молекуласының ілгермелі қозғалысының энергиясының формуласы.
4. Оттегінің бір молінде қанша молекула бар?
5. Ауа оттегі мен азоттың молекулаларынан тұрады. Бұл газдар үшін берілген температурада ілгермелі қозғалыстың орташа энергиясы бірдей бола ма?
6. Цельсия шкаласы бойынша абсолют ноль температура (температураның абсолют ноі) неге тең?
7. Зат мөлшерінің анықтамасы.
8. Қандай процестің газ күйінің өзгерісі графиктерде берілген?



5.1-сурет-8-сұраққа



5.2-сурет-8-сұраққа

9. Температураның молекула- кинетикалық түсініктемесінің мәні.
10. Егер молекулалар концентрациясы 3 есе артса, жылдамдығы 3 есе кемісе, онда газ қысымы қалай өзгереді?

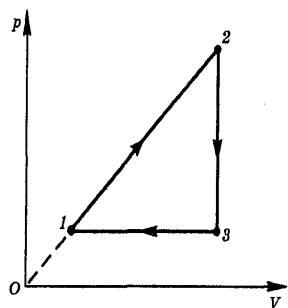
## 6. ТЕРМОДИНАМИКА НЕГІЗДЕРІ.

Сабақтың мақсаты: Термодинамиканың 1-2-3-заңдарының физикалық мағыналарын, мәндерін түсіндіру. Термодинамиканың 1-заңын изопроцестерге қолдана білу. Энтропияның мағынасын түсіну және энтропияны есеп шығаруға қолдану.

Тапсырмалар:

6.1. Изобаралық ұлғаю процесі кезінде идеал газ  $A = 4000$  Дж жұмыс жасады. Егер қысым тұрақты кездегі газдың молярлық жылу сыйымдылығы  $C_p = 21$  Дж/(моль К) болса, онда газдың алған жылу мөлшері қандай?

6.2. Массасы  $m = 0,2$  кг азот  $t_1 = 20$  °С температурада  $t_2 = 20$  °С жылу өткізбейтін поршнді цилиндрде орналасқан. Азот ұлғайып  $A' = 4470$  Дж жұмыс жасайды. Азоттың меншікті жылу сыйымдылығы  $c_v = 745$  Дж/(кг К). Ішкі энергияның өзгерісі мен газдың ұлғайғаннан кейінгі  $t_2$  температурасын табыңдар.



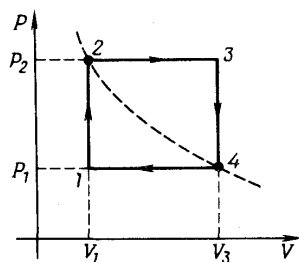
6.3. Массасы  $m$  идеал газ  $T$  температурада изохоралық суығанда қысым  $n$  рет кемиді. Сонан кейін тұрақты қысымда газ ұлғаяды. Ақырғы күйінде оның температурасы бастапқы температураға тең болады. Газдың молярлық массасы  $M$ . Газдың істеген жұмысын анықтаңдар

жұмысын анықтаңдар

6.1-сурет-6.4- есепке

6.4. Цилиндрде поршень астында газ бар. Оның күйі суретте көрсетілгендей өзгереді.  $(P, T)$  және  $(V, T)$  координаталарында газ күйінің өзгерісін көрсетіңдер. Қандай процестерде газ жылу мөлшерін алатынын және беретінін, бұл жағыдайларда температура қалай өзгередінін, газдың қандай жұмыс жасайтынын анықтаңдар.

6.5. Цилиндрде поршень астында газ бар. Оның күйі суретте көрсетілгендей өзгереді.  $(p, T)$  және  $(V, T)$  координаталарында газ күйінің өзгерісін көрсетіңдер. Егер 2 және 4 нүктелері бір изотерманың бойында жатса, онда

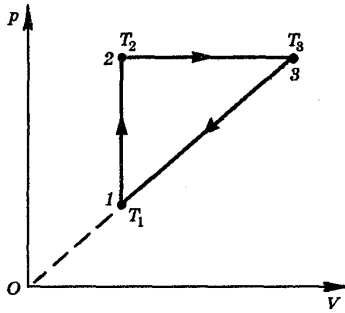


газ бір циклде қандай жұмыс жасайды?

6.6. Цилиндрде поршень астында газ бар. Оның күйі суретте көрсетілгендей өзгереді.  $(p, T)$  және  $(V, T)$  координаталарында газ күйінің өзгерісін көрсетіңдер. Қандай процестерде газ жылу алатынын және беретінін, бұл жағыдайларда температура қалай өзгередінін, газдың қандай жұмыс жасайтынын

анықтаңдар.

6.2-сурет-6.5-есепке



6.3-сурет-6.6-есепке

6.7. Карноның циклі бойынша жұмыс істейтін идеал жылу машинасы, әрбір цикл ішінде жылытқыштан 600 ккал атады. Жылытқыштың температурасы  $400^{\circ}\text{K}$ , ал суытқыштың температурасы  $300^{\circ}\text{K}$ . Машинаның бір циклдегі істейтін жұмысын және осы бір циклдегі суытқышқа беретін жылу мөлшерін табу керек.

6.8. Идеал жылу машинасы Карноның циклі бойынша жұмыс істейді. Бір цикл ішінде 3000 Дж-ға тең жұмыс істелінді, суытқышқа 3,2 ккал жылу берілді деп алып, циклдің п.э. коэффициентін анықтау керек.

6.9 Карноның циклі бойынша жұмыс істейтін идеал жылу машинасы бір циклдің ішінде  $7,35 \cdot 10^4$  Дж жұмыс істейді. Жылытқыштың температурасы  $100^{\circ}\text{C}$ , ал суытқыштың температурасы  $0^{\circ}\text{C}$ . Мыналарды: 1) машинаның п.э. коэффициентін, 2) бір циклдің ішінде машинаның жылытқыштан алатын жылу мөлшерін, 3) бір циклдің ішінде суытқышқа берілетін жылу мөлшерін табу керек.

6.10. Идеал газдың бір киломоли, екі изохора және екі изобардан тұратын цикл жасайды. Сонымен бірге газдың көлемі  $V_1 = 25 \text{ м}^3$  –ден  $V_2 = 50 \text{ м}^3$ -ге дейін, ал қысым  $p = 1 \text{ атм}$ -дан  $p = 2 \text{ атм}$ -ға дейін өзгереді. Егер изотермалық ұлғаюда көлем екі есе өсті десек, Карноның циклдегі изотермалар қарастырылып отырған циклдің ең үлкен және ең кіші температурасына сәйкес келеді осындай жасалынған циклдің істейтін жұмысы Карноның циклдегі істелінген жұмыстан неше есе кем болады?

6.11. 8г гелийдің  $V_1 = 10 \text{ л}$  көлемнен  $V_2 = 25 \text{ л}$  көлемге дейін изобаралы ұлғайғандағы энтропияның өзгерісін табу керек.

6.12. 6г оттегінің қысымы  $10 \text{ н/м}^2$  –ден  $0,5 \cdot 10 \text{ н/м}^2$ -ге дейін изотермалы ұлғайғандағы энтропияның өзгерісін табу керек.

6.13. 10,5г азот  $V_1 = 2 \text{ л}$  көлемнен  $V_2 = 5 \text{ л}$  көлемге дейін изотермалы ұлғаяды. Осы процестегі энтропияның өсуін табу керек.

6.14. 10г оттегі  $t_1 = 50^{\circ}\text{C}$  – ден  $t_2 = 150^{\circ}\text{C}$ -ге дейін қыздырылады. Қыздыру: 1) изохоралы және 2) изобаралы өтеді деп алып, энтропияның өзгерісін табу керек.

Тапсырмаларды орындауға нұсқаулар

6-кесте - Негізгі формулалар

Термодинамиканың бірінші бастауы	$dQ = dA + dU$
Тұрақты көлемді газдың молярлық жылу сыйымдылығы	$C_v = \frac{i}{2} R$

Тұрақты қысымдағы газдың молярлық жылу сыйымдылығы	$C_p = \frac{i+2}{2} R$
Газ жұмысы	$dA = pdV$
Изобаралық процесс кезде газдың ұлғаю жұмысы	$A = p(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$
Изотермалық процесс кезде газдың ұлғаю жұмысы	$A = Q = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2}$
Адиабаталық процестің теңдеуі (Пуассон теңдеуі)	$pV^\gamma = const$ $TV^{\gamma-1} = const$ $Tp^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = const$
Адиабата көрсеткіші	$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$
Адиабата процесс кезінде газдың ұлғаю жұмысы	$A = \frac{m}{M} C_v (T_1 - T_2) = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]$
Айналмалы процесс үшін пайдалы әсер коэффициенті (п.ә.к)	$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1}$
Карно циклінің п.ә.к-і	$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$
Реал газ үшін Ван – дер – Вальс теңдеуі	$\left( p + \frac{a}{V_m^2} \right) (V_m - b) = RT$
Реал газдың кез келген массасы үшін Ван – дер – Ваальс теңдеуі	$\left( p + \frac{v^2 a}{V^2} \right) (V - vb) = vRT$

Бақылау сұрақтары:

1. Изохоралық процесс үшін термодинамиканың бірінші заңын жазыңдар.
2. Изотермалық процесс үшін термодинамиканың 1-заңының формуласы.
3. Идеал двигатель қыздырғыштан алған әрбір килоджоуль энергияның есесінен 350 Дж механикалық жұмыс атқарады. Идеал двигательдің ПӘК-ін анықтаңыз
4. Идеал газдық адиабаталық ұлғаю кезінде ішкі энергиясы қалай өзгереді?
5. Массасы  $m_1$  су  $T_1$  температурада және массасы  $m_2$  температурада алынып араластырылған. Араластырылған судың  $T$  температурасын анықтау керек.
6. Тұрақты қысымында газ көлемі  $\Delta V$ -ға ұлғайды. Осы жағдайда  $p^* \Delta V$  қандай физикалық шаманы көбейтіндісі көрсетеді:



7. Двигатель Карно циклі бойымен жұмыс істейді. Салқындатқыштық  $17^{\circ}\text{C}$  тұрақты қыздырғыш температурасынын  $127^{\circ}\text{C}$  ден  $447^{\circ}\text{C}$ -ге жоғарлатқанда, жылу двигателінің ПӘКі қалай өзгертінін анықтаныз.
8. Изотермалық процесте газға берілген энергия неге жұмсалады
9. Изобарлық процеске сәйкес келетін формуланы жазыңдар.
10. Адиабаталық процесс.

## 7. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ОСТРОГРАДСКИЙ-ГАУСС ТЕОРЕМАСЫ.

Сабақтың мақсаты: Электр өрісі және оның негізгі сипаттамаларын, кез келген зарядталған дененің электр өрісін анықтай білу. Остроградский-Гаусс

теоремасын кез келген зарядталған дененің электр өрісін есептеуге қолдана білу. Электр өрісінің жұмысын анықтай білу.

Тапсырмалар:

7.1. Вакуумде массалары  $m = 0,5$  г екі бірдей шарик ұзындықтары  $L = 0,3$  м бір нүктеде бекітілген жіптерде ілінген. Шариктерге бірдей зарядтар берілгенде олар бір-бірінен  $r = 0,1$  м. қашықтыққа ажырасады. Әр шариктің зарядын анықтандар.

7.2. Бірдей үш теріс заряд  $q = -9 \cdot 10^{-9}$  Кл тең қабырғалы үшбұрыштың төбелерінде орналасқан. Жүйе тепе-теңдік күйде болу үшін қандай зарядты үшбұрыштың центріне орналастыру керек?

7.3. Бірдей төрт оң заряд  $q = 3 \cdot 10^{-9}$  Кл қабырғасы  $a = 10$  см. квадраттың төбелерінде бекітілген. Үш заряд тарапынан төртінші зарядқа әсер ететін күшті табындар.

7.4. Қабырғасы  $l$  квадраттың төбесінде бірдей  $q$ . зарядтар орналасқан. Квадраттың центрінен  $d = 2l$  қашықтықта кернеулік неге тең: 1) диагональ бойында; 2) қабырғаға параллель квадраттың центрінен өтетін түзудің бойында?

7.5. Бірдей үш заряд  $q = -2 \cdot 10^{-8}$  Кл, қабырғасы  $a = 10$  см тең қабырғалы үшбұрыштың төбелерінде орналасқан. Кез келген зарядтың біреуін қарсы жатқан қабырғаның ортасына көшіру үшін қандай жұмыс жасауға болады?

7.6. Зарядының сызықтық тығыздығы  $2 \cdot 10^{-9}$  Кл/см оң зарядталған шексіз ұзын жіп электр өрісін туғызады. Осы өрістің әсерінен жіпке 1 см қашықтықтан жіптен 0,5 см қашықтыққа дейін жақындаған электрон қандай жылдамдық алады?

7.7. Атас зарядталған екі ұзын жіп бір-бірінен  $a=10$  см қашықтықта орналасқан. Жіптердегі зарядтардың сызықтық тығыздығы  $\tau_1=\tau_2=10^{-7}$  Кл/см. Әрбір жіптен 10 см қашықтықта тұрған нүктедегі қорытқы электр өрісінің кернеулігінің бағыты мен шамасын табу керек.

7.8. Радиусы 1 см зарядталған шардың центрінен 10 см қашықтықта тұрған өріс нүктесінің потенциалын табу керек. Есепті мына шарттар бойынша: 1) шардың үстіндегі зарядтың беттік тығыздығы  $10^{-11}$  Кл/см<sup>2</sup>-ге тең болғанда, 2) шардың потенциалын 300 в-ке тең деп шығару керек.

7.9.  $2 \cdot 10^{-8}$  Кл нүктелік зарядты шексіздіктен радиусы 1 см, зарядының беттік тығыздығы  $\sigma=10^{-9}$  Кл/см<sup>2</sup> шардың бетінен 1 см қашықтықта тұрған нүктеге дейін алып келу үшін қандай жұмыс істелінеді?

7.10. Шексіз ұзын зарядталған жіптен  $r_1=4$  см қашықтықта  $q=0,66$  нКл нүктелік заряд орналасқан. Өріс әсерінен заряд  $r_2=2$  см қашықтыққа

дейін орнын ауыстырады. Осы уақыттағы істелінген жұмыс  $A=50 \cdot 10^{-7}$  Дж. Жіп зарядының сызықтық тығыздығын табу керек.

Тапсырмаларды орындауға нұсқаулар

7-кесте - Негізгі формулалар

Кулона заңы	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon \cdot r^2}$
Электр өрісінің кернеулігі	$E = \frac{F}{Q_0}$
Суперпозиция принципі	$E = \sum_{i=1}^n E_i$
Нүктелік зарядтың электр өрісінің кернеулігі	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{\epsilon \cdot r^2}$
Электростатикалық өріс кернеулігінің ағыны	$d\Phi_E = EdS \cos \alpha$
Тұйықталған бет арқылы өтетін кернеулік ағыны үшін Остроградский – Гаусс теоремасы	$\oint_S EdS = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon} \sum_{i=1}^n Q_i = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon} \int_V \rho dV$
Тұйықталған контур бойымен электростатикалық өрістің кернеулік векторының циркуляциясы	$\oint_L Edl = 0$
Зарядтың сызықтық тығыздығы	$\tau = \frac{dQ}{dl}$
Зарядтың беттік тығыздығы	$\sigma = \frac{dQ}{dS}$
Зарядтың көлемдік тығыздығы	$\rho = \frac{dQ}{dV}$
Электростатикалық өрістің потенциалы	$\varphi = \frac{W}{Q_0}$
Суперпозиция принципі	$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i$
Нүктелік зарядтың электростатикалық өрісінің потенциалы	$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{\epsilon \cdot r}$
Электростатикалық өрістің кернеулігі мен потенциалы арасындағы байланыс	$E = -grad\varphi$
Электр өрісінде зарядты тасымалдау жұмысы	$A = Q(\varphi_1 - \varphi_2)$ $A = QEl \cos \alpha$

Бақылау сұрақтар:

1. Электр зарядтарының сақталу заңының тұжырымдалуы.
2. Зарядтың сызықтық тығыздығы.
3. Электр өрісінің кернеулігін анықтайтын формула.
4. Нүктелік зарядтың электр өрісі кернеулігінің формуласы.
5. Потенциал градиенті.

6. Электростатикалық өрістің бір нүктесінен екінші нүктесіне орын ауыстырған зарядтың жұмысы.
7. Кернеулік пен потенциал арасындағы байланысты өрнектейтін формула.
9. Сегнетэлектриктер.
10. Өткізгіштің электр сыйымдылығы.

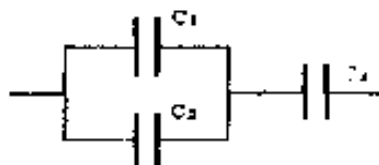
## 8. ЭЛЕКТР ӨРІСІНДЕГІ ӨТКІЗГІШТЕР МЕН ДИЭЛЕКТРИКТЕР. ЭЛЕКТР ӨРІСІНІҢ ЭНЕРГИЯСЫ.

Сабақтың мақсаты: Электр өрісіндегі өткізгіштер мен диэлектриктердің қасиеттерін қарастырып, сипаттамаларын анықтау.  
Электр өрісінің энергиясын анықтауға есептер шығару.

Тапсырмалар:

8.1. Электрон жазық конденсатордың бір пластинасынан екінші пластинасына дейін ұшып жетеді. Пластиналардың арасындағы потенциал айырмы 3 кВ-қа тең; ара қашықтығы 5мм. Табу керек: 1) электронға әсер ететін күшті, 2) электронның үдеуін, 3) электронның екінші пластинаға жеткендегі жылдамдығын, 4) конденсатордың пластиналарындағы зарядтың беттік тығыздығын.

8.2. Конденсаторлар системаларының сыйымылығын табу керек. (8.1-сурет). Конденсаторлардың әрқайсысының сыйымдылығы 0,5 мкФ-ға тең.



8.1-сурет-8.2-есепке

8.3. Екі конденсатордың өзара сыйымдылықтары электрометрдің көмегімен салыстырылды. Ол үшін оларды  $U_1=300\text{В}$  және  $U_2=100\text{В}$  әр түрлі потенциалдарға дейін зарядтайды да екі конденсаторды да параллель жалғастырады. Осы уақыттағы электрометрмен өлшеген конденсатордың қабаттарының арасындағы потенциал айырмы  $U=250\text{В}$ -қа тең болып шықты. Сыйымдылықтардың  $\frac{C_1}{C_2}$  қатынасын табу керек.

8.4. Ауданы  $100\text{ см}^2$ -ге тең жазық конденсатордың пластиналары бір-біріне  $30 \cdot 10^{-3}\text{ Н}$  күшпен тартылады. Пластиналардың арасындағы кеңістік слюдамен толтырылған. Табу керек: 1) пластина бетіндегі зарядтарды, 2) пластиналардың арасындағы өрістің кернеулігін, 3) өрістің бірлік көліміндегі энергияны.

8.5. Жазық конденсатор пластиналарының арасындағы кеңістік шынымен толтырылған. Пластиналардың ара қашықтығы 4мм-ге тең. Пластиналарға берілген кернеу 1200В. Табу керек: 1) шынының ішіндегі өрісті, 2) конденсатордың пластиналарындағы зарядтың беттік тығыздығын, 3) шынының үстіндегі байланысқан зарядтың беттік тығыздығын.

8.6. Конденсатор ауданы  $200\text{ см}^2$ -ге тең екі пластинадан тұрады.

Ол пластиналардың арасында қалыңдығы 0,1 см болатын слюда бар. Конденсатордың сыйымдылығын табу керек.

8.7. Сыйымдылықтары  $C_1=30\text{мкФ}$  және  $C_2=4\text{мкФ}$  болатын екі конденсатор берілген. Оларды параллель жалғағанда конденсаторлар батареясының сыйымдылығы қандай болады? Тізбектей жалғағанда ше?

8.8. Сыйымдылықтары бірдей екі конденсатор параллель жалғанған. Осы конденсаторлар батареясын аккумулятордың плюсіне ( $U=2\text{В}$ ) қосқанда, әрбір конденсатордың астарларындағы заряд  $q=10^{-4}\text{Кл}$  болса, батареяның сыйымдылығы неге тең болады?

8.9. Жазық конденсатордың пластиналарының арасындағы потенциал айырмасы 90В-қа тең. Әрбір пластинаның ауданы  $60\text{см}^2$  және заряды  $10^{-9}\text{Кл}$ . Пластиналардың бір-бірінен арақашықтығы қандай?

8.10. Горизонталь жазық конденсатордың өрісінде  $2,22 \cdot 10^{-10}\text{Кл}$  заряды бар сабын көпіршігі тепе-теңдік күйде тұр. Көпіршіктің массасы 0,01г, ал пластиналардың араларының қашықтығы 5см-ге тең деп алып, конденсатор пластиналарының арасындағы потенциал айырмасын табу керек.

8.11. 792В потенциалға дейін зарядталған шариктің зарядының беттік тығыздығы  $3,33 \cdot 10^{-7}\text{Кл/м}^2$  тең. Шариктің радиусын табу керек?

8.12. Сыйымдылығы  $2,5 \cdot 10^{-4}\text{мкФ}$  конденсатор жасау керек. Ол үшін қалыңдығы 0,05 мм парафинделген қағаздың үстінен конденсатордың екі жағына да станиоль дөңгелек жабыстырылады. Осы станиоль дөңгелектің диаметрі қандай болуы керек?

### Тапсырмаларды орындауға нұсқаулар

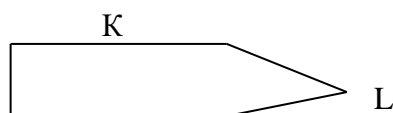
#### 8-кесте - Негізгі формулалар

Жеке өткізгіштің электр сыйымдылығы	$C = \frac{Q}{\varphi}$
Конденсатордың электр сыйымдылығы	$C = \frac{Q}{U}$
Жазық конденсатордың электр сыйымдылығы	$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$
Сфералық өткізгіштің электр сыйымдылығы	$C = 4\pi \varepsilon \varepsilon_0 R$
Бірнеше қабатты конденсатордың электр сыйымдылығы	$C = \frac{\varepsilon_0 S}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \dots + \frac{d_n}{\varepsilon_n}}$
Цилиндрлік конденсатордың электр сыйымдылығы	$C = \frac{2\pi \varepsilon \varepsilon_0 l}{\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)}$
Сфералық конденсатордың электр сыйымдылығы	$C = \frac{4\pi \varepsilon \varepsilon_0 R_1 R_2}{(R_1 + R_2)}$

Параллель қосылған конденсаторлардан тұратын батареяның электр сыйымдылығы	$C = \sum_{i=1}^n C_i$
Тізбектей қосылған конденсатордан тұратын батареяның электр сыйымдылығы	$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$
Зарядталған өткізгіштің энергиясы	$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{Q^2}{2C} = \frac{Q\varphi}{2}$
Зарядталған конденсатордың энергиясы	$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C} = \frac{QU}{2}$
Энергияның көлемдік тығыздығы	$\omega = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2}$

Бақылау сұрақтары:

1. Электр диполі деп нені айтамыз?
2. Дипольдің электр моменті деп..
3. Сегнетэлектриктер деп...
4. Зарядталған өткізгіштің бетіне жақын орналасқан К және L нүктелерінде өрістің кернеуліктерінің арасында қандай қатынас бар.



8.2-сурет-4-сұраққа

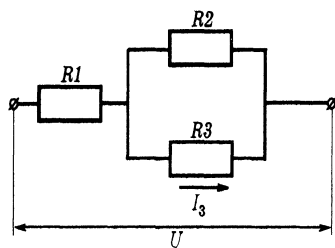
5. Металдан жасалған кубик кернеулігі  $E_0$  болатын электр өрісінде орналасқан. Металл кубиктің ішіндегі электр өрісінің кепнеулігі  $E$  мен  $E_0$  кернеулігінің арасында қандай қатынас бар?
6. Өткізгіштің электр сыйымдылығы деп...
7. Параллель қосылған конденсаторлардың электр сыйымдылығының формуласын көрсетіңіз.
8. Тізбектей қосылған конденсаторлардың электр сыйымдылығының формуласын көрсетіңіз.
9. Шардың сыйымдылығының формуласын көрсетіңіз?
10. Электр өрісінің энергиясы

## 9. ТҰРАҚТЫ ЭЛЕКТР ТОҒЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ ЗАҢДАРЫ.

Сабақтың мақсаты: Тұрақты электр тогының анықтамасын және негізгі сипаттамаларын білу. Ом және Джоуль-Ленц заңдарының интегралдық, дифференциалдық түрлерін және Кирхгоф ережелерін есеп шығаруда қолдана білу.

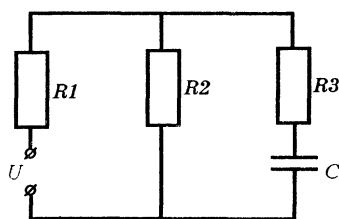
Тапсырмалар:

9.1. Суретте көрсетілген тізбекте  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 40$  Ом, кернеу  $U = 120$  В. Резистордың  $R_3$  кедергісін анықтаңдар, егер резистордағы ток  $I_3 = 2$  А болса



9.1-сурет-9.1-есепке

9.2. Суретте көрсетілген тізбектегі  $C$  конденсатор пластиналарының заряды қандай? Резисторлардың кедергілері  $R_1$ ,  $R_2$  және  $R_3$ , ал кернеу  $U$ .



9.2-сурет-9.2-есепке

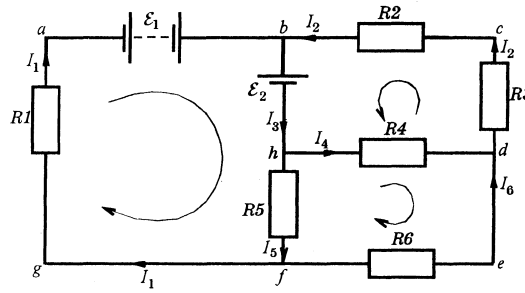
9.3. Бірдей екі кедергі  $r = 100$  Ом бір-бірімен параллель жалғанған, ал оларға  $R = 200$  Ом кедергі тізбектей жалғанып, тұрақты ток көзіне қосылған. Параллель қосылған кедергілердің ұшына сыйымдылығы  $C = 10$  мкФ конденсатор қосылған. Егер конденсатордағы заряд  $q = 2,2 \cdot 10^{-4}$  Кл болса, онда ток көзінің ЭҚК қандай? Ток көзінің ішкі кедергісі мен сымдардың кедергілерін ескерілмейді.

9.4. Генератордың ЭҚК  $\xi = 12$  В, ішкі кедергісі  $r_1 = 0,2$  Ом. Ол ЭҚК  $\xi_1 = 10$  В, ішкі кедергісі  $r_2 = 0,6$  Ом аккумулятор батареясын зарядтайды. Батареяға кедергісі  $r_3 = 3$  Ом лампочка параллель қосылған. Батареядағы, лампочкадағы, генератордағы ток күшін табыңдар.

9.5. Екі элементтің ЭҚК-тері тең  $\xi = 2$  В, бір-бірімен параллель қосылған және сыртқы  $R$  кедергімен тұйықталған. Элементтердің ішкі кедергілері 1 Ом және 2 Ом. Сыртқы кедергіні табыңдар, егер бірінші элементтен өтетін ток  $I_1 = 1$  А болса.



9.6. Суретте көрсетілген электр тізбегінің әр тармағындағы токты табыңдар.  $\xi_1 = 6,5 \text{ В}$ ;  $\xi_2 = 3,9 \text{ В}$  және барлық кедергілер бірдей  $10 \text{ Ом}$  –ға тең болса.



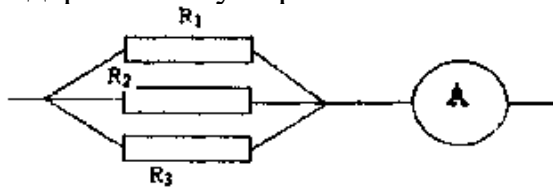
9.3-сурет-9.6-есепке

9.7. Кедергісі  $40 \text{ Ом}$  пеш салу үшін радиусы  $2,5 \text{ см}$  фарфор цилиндрге диаметрі  $1 \text{ мм}$  нихром сымның канша орамын орау керек?

9.8. Біреуі мыстан, ал екіншісі алюминийден жасалған екі цилиндр формалы өткізгіштегі сымдардың ұзындықтары да, кедергілері де бірдей. Мыс сымы алюминий сымына қарағанда неше есе ауыр келеді?

9.9. Э.Қ.К.  $E=2\text{В}$  элементінің ішкі кедергісі  $0,5 \text{ Ом}$  болады. Тізбектегі ток  $I=0,25\text{А}$  болғандағы элементтің ішіндегі потенциалдың кемуін анықтау керек. Осы шарттар бойынша тізбектің ішкі кедергісін табу керек.

9.10. Суретте көрсетілген схемада  $R_2 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 15 \text{ Ом}$ , ал кедергісі арқылы өтетін ток күші  $I = 0,3 \text{ А}$ -ге тең. Амперметрдің көрсетуі  $I = 0,8 \text{ А}$ .  $R_1$  кедергісін табу керек.



9.4-сурет-9.10-есепке

Тапсырмаларды орындауға нұсқаулар

9-кесте - Негізгі формулалар

Ток күші	$I = \frac{dQ}{dt}$
Ток тығыздығы	$j = \frac{I}{S}$
Біртекті өткізгіштің кедергісі	$R = \rho \frac{l}{S}$
Тізбектегі электр қозғаушы күш (ЭҚК)	$\varepsilon = \frac{A}{Q_0}$
Тізбектің біртекті бөлігі үшін Ом заңы	$I = \frac{U}{R}$
Тізбектің біртектісіз бөлігі үшін Ом заңы	$I = \frac{\varepsilon + U}{R + r}$

Тұйық тізбек үшін Ом заңы	$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$
Ом заңының дифференциал түрі	$j = \sigma E = \frac{1}{\rho} E$
Ток қуаты	$P = \frac{dA}{dt} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$
Ток көзінің ПӘКі	$\eta = \frac{R}{R + r}$
Джоуль – Ленц заңы	$dQ = IUdt = I^2 Rdt = \frac{U^2}{R} dt$
Джоуль – Ленц заңының дифференциал түрі	$\omega = jE = \sigma E^2 = \frac{1}{\rho} E^2$

Бақылау сұрақтары:

1. Тұрақты электр тогы және оның негізгі сипаттамалары.
2. Электр тізбегінің біртекті бөлігі үшін, біртектісіз бөлігі үшін және тұйықталған тізбек үшін Ом заңы.
3. Тармақталған тізбек үшін Кирхгоф ережесі.
4. Ом заңының дифференциал түрі.
5. Джоуль-Ленц заңының дифференциал түрі.
1. Электр тогының бар болу шарттары.
4. Электр тогы өткізгіштерінің төрт типі: 1. металдар; 2. жартылай өткізгіштер; 3. электролит ерітінділері; 4. плазма берілген. Осы өткізгіштердің қайсысында ток жүрген кезде зат тасымалы болмайды?
6. Электр тогы.
7. Элементар электр тогы дегеніміз не?
9.  $Q = \frac{U^2}{R} t$  берілген өрнекпен қандай заң өрнектеледі?
10.  $\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E}$  берілген өрнекпен қандай заң өрнектеледі?

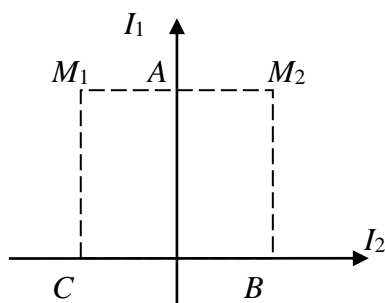
## 10. МАГНИТОСТАТИКА. БИО-САВАР-ЛАПЛАС ЗАҢЫ

Сабақтың мақсаты: Магнит өрісі және оның негізгі сипаттамаларын білу. Био-Савар-Лаплас заңын кез келген тогы бар өткізгіштің магнит өрісін есептеуге қодана білу.

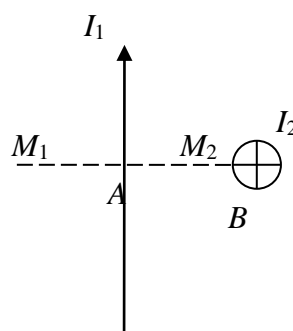
Тапсырмалар:

10.1. Түзу өткізгіштен өтетін токтың шамасы 12 А, ал бір нүктедегі магнит өрісінің кернеулігі 12,7 А/м. Осы нүктедегі магнит индукциясын және нүктеден өткізгішке дейінгі қашықтықты анықтаңдар.

10.2. Радиусы 5,8 см айналмалы токтың центрінде магнит индукциясы  $1,3 \cdot 10^{-4}$  Тл. Центрдегі магнитөрісінің кернеулігін және өткізгіштегі токты анықтаңдар.



10.1-сурет -10.4- есепке



10.2-сурет -10.5-есепке

центріндегі магнит өрісінің кернеулігі 120 А/м. Ток жүретін шеңбердің диаметрін және центрдегі анықтаңдар.

магнит индукциясы

10.4. Түзу сызықты шексіз ұзын екі өткізгіш бір-біріне перпендикуляр болып орналасады да бір жазықтықта жатады (10.1-сурет).  $I_1=2A$  және  $I_2=3A$ -ға тең деп алып,  $M_1$  және  $M_2$  нүктелеріндегі магнит өрісінің кернеулігін табу керек. Қашықтықтар:  $M_1A=M_2A=1$  см-ге тең,  $BM_1=CM_2=2$  см-ге тең.

10.5. Түзу сызықты шексіз ұзын екі өткізгіш бір-біріне перпендикуляр болып орналасып және өз ара

перпендикуляр жазықтықта жатады. (10.2-сурет).  $I_1=2A$  және  $I_2=3A$ -ға тең деп алып,  $M_1$  және  $M_2$  нүктелердегі магнит өрісінің кернеулігін табу керек. Қашықтықтар:  $M_1A=M_2A=1$  см ал  $AB=2$  см.

10.6. Ұзындығы 1 м сымнан квадрат рамка жасалған. Осы рамка арқылы күші 10А ток өтеді. Рамканың центріндегі магнит өрісінің кернеулігін табу керек.

10.7. Шексіз ұзын провод осы проводқа жанама дөңгелек тұзақ жасайды. Проводтың бойымен күші 5А ток өтеді. Тұзақтың центріндегі магнит өрісінің кернеулігін 41 А/м-ге тең деп алып, тұзақтың радиусын табу керек.

10.8. Бірдей потенциал айырмасымен үдетілген протон мен электрон біртекті магнит өрісіне ұшып кіреді. Протон траекториясының  $R_1$  кысықтық

радиусы электрон траекториясының  $R_2$  қисықтық радиусынан неше есе үлкен болады?

10.9. Біртекті магнит өрісінің күш сызықтары, ауданы  $25 \text{ см}^2$  раманың жазықтығымен  $30^\circ$ -қа тең бұрыш жасайды. Магнит өрісінің индукциясы

$4 \text{ мТл}$  болса, раманы қиып өтетін магнит ағынының мөлшері қандай болады?

10.10. Индукциясы  $9,1 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$  біртекті магнит өрісіне  $1,92 \cdot 10^7 \text{ м/с}$  жылдамдықпен электрон кірді. Жылдамдық векторы магнит индукциясына перпендикуляр. Электрон қозғалатын шеңбердің радиусын анықтаңдар. ( $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ ,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ ).

10.11. Ұзындығы  $1 \text{ м}$  сымнан квадрат рамка жасалған. Осы рамка арқылы күші  $10 \text{ А}$  ток өтеді. Рамканың центріндегі магнит өрісінің кернеулігін табу керек.

10.12. Шексіз ұзын провод осы проводқа жанама дөңгелек тұзақ жасайды. Проводтың бойымен күші  $5 \text{ А}$  ток өтеді. Тұзақтың центріндегі магнит өрісінің кернеулігін  $41 \text{ А/м-ге}$  тең деп алып, тұзақтың радиусын табу керек.

10.13. Бірдей потенциал айырмасымен үдетілген протон мен электрон біртекті магнит өрісіне ұшып кіреді. Протон траекториясының  $R_1$  қисықтық радиусы электрон траекториясының  $R_2$  қисықтық радиусынан неше есе үлкен болады?

10.14.  $U=6 \text{ кВ}$  потенциал айырмасымен үдетілген электрон біртекті магнит өрісіне оның бағытына  $\alpha=30^\circ$  бұрышпен ұшып кіреді де спираль бойымен қозғала бастайды. Магнит өрісінің индукциясы  $B=1,3 \cdot 10^{-2} \text{ Вб/м}^2$ . Табу керек: 1) спираль орамының радиусын, 2) спиральдің қадамын.

Тапсырмаларды орындауға нұсқаулар:

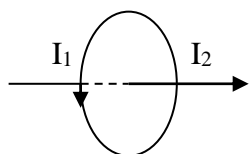
#### 10-кесте - Негізгі формулалар

Магнит моменті	$p_m = IS$
Магнит өрісінде тоғы бар рамкаға әсер етуші айналу моменті	$M = p_m B \sin \alpha$
Магнит өрісінің индукциясы мен кернеулігінің арасындағы байланысы	$B = \mu \mu_0 H$
Тоғы бар өткізгіштің элементі үшін Био – Саварр – Лаплас заңы	$dB = \frac{\mu \mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \alpha}{r^2}$
Тоғы бар түзу өткізгіштің магнит өрісінің индукциясы	$B = \frac{\mu \mu_0}{2\pi} \frac{I}{r}$
Тоғы бар орамның центріндегі магнит индукциясы	$B = \frac{\mu \mu_0}{2} \frac{I}{R}$
Айналмалы токтың осіндегі магнит өрісінің индукциясы	$B = \frac{\mu \mu_0}{2} \frac{IR^2}{(R^2 + a^2)^{3/2}}$

Ұзындығы шектелген түзу тоғы бар өткізгіштің магнит өрісінің индукциясы	$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r_0} (\cos\varphi_1 - \cos\varphi_2)$
Соленоид ішіндегі магнит өрісінің индукциясы	$B = \mu\mu_0 nI$
Лоренц күші	$F_L = qvB \sin\alpha$
Ампер күші	$F_A = IlB \sin\alpha$
Параллель екі тоғы бар өткізгіштердің өзара әсер күші	$F = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} l$
Тоғы бар контурдың магнит моменті	$p_m = IS$
Айналу күш моментінің модулі	$M = p_m B \sin\alpha$
Толық күш заңы	$\oint_L Bdl = \mu_0 \mu \sum_{i=1}^n I_i$
Бет арқылы өтетін магнит индукциясының ағыны	$d\Phi_B = BdS \cos\alpha$
Магнит өрісі үшін Гаусс теоремасы	$\oint_S BdS = 0$
Магнит өрісінде тоғы бар өткізгішті тасымалдау жұмысы	$dA = Id\Phi$

Бақылау сұрақтары:

1. Магнит өрісі және оның негізгі сипаттамалары: ортаның магнит өтімділігі, кернеулік, магнит индукциясы.
2. Био-Савар-Лаплас заңы.
3. Магнит өрісінде қозғалып бара жатқан зарядталған бөлшектің кинетикалық энергиясына Лоренц күші қалай әсер етеді?
4. Қандай жағыдайда тоғы бар өткізгішке магнит өрісінде әсер ететін күштің бағыты дұрыс емес?
5. Электрон магнит өрісіне магнит индукциясы векторына параллель ұшып кіреді. Магнит өрісінде электрон қалай қозғалады?
6. Тоғы бар орамның магнит моменті қандай формуламен өрнектеледі?
7.  $I_1$  тоғы бар дөңгелек контур өсімен  $I_2$  тоғы бар шексіз ұзын түзу өткізгіш өтеді. Түзу токтың магнит өрісі дөңгелек контурға қалай әсер етеді?



10.3-сурет-7-сұраққа

8. Максвелл теңдеулерінің қайсысы кеңістікте магнит өрісі өзгергенде құйынды электр өрісінің пайда болатының сипаттайды?
9. Магниттік гистерезис құбылысы неге тән?

10. Ферромагнетикті Кюри температурасына дейін қыздырсак, қалай өзгереді?
11. Тоғы бар орамның орталығында магнит өрісінің кернеулігін қандай формуламен табуға болады?
12. Мына математикалық өрнек арқылы жазылатын заңды көрсетіңіз:  
$$\oint H_e d\ell = I$$
13. Магнит өрісінің жұмысы мен энергиясы.
14. Диа-пара-ферромагнетиктер.

## 11. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ИНДУКЦИЯ ЗАҢЫ ЖӘНЕ ӨЗДІК ИНДУКЦИЯ.

Сабақтың мақсаты: Электромагниттік индукция мен өздік индукцияның ұқсастығын және айырмашылығын көрсету. Электромагниттік индукция заңын есеп шығаруға қолдана білу.

Тапсырмалар:

11.1. 1000 орамнан тұратын соленоидтан өтетін магнит ағынының шамасы 1 мс уақыт аралығында 5 мВб ден 2 мВб-ге дейін өзгерді. Соленоидтағы индукцияның ЭҚК анықтаңдар.

11.2. Ұзындығы  $l = 0,5$  м, диаметрі  $d = 5$  см, орам саны  $N = 1500$  катушкада бір секунд ішінде ток күшінің шамасы 0,2 А өсті. Катушкаға қимасының ауданы  $S_K = 3 \text{ мм}^3$  мыс сымнан ( $\rho = 17 \text{ нОм}\cdot\text{м}$ ) жасалған сақина кигізілді. Сақинада пайда болған индукциалық ток күшін анықтаңдар.

11.3. Соленоидта токтың шамасы 1А ден 10А-ге дейін өзгергенде оның магнит ағыны  $6\cdot 10^{-3}$  Вб шамаға артады. Соленоидтағы өздік индукцияның орташа мәнін анықта, егер орам саны 400, уақыт аралығы 0,1 с болса.

11.4. Егер катушкада 62 мс уақытта токтың мәні 2,8 А дейін әлсіресе, онда катушкада ЭҚК 14 В өздік индукция пайда болады. Катушканың индуктивтілігін анықтаңдар.

11.5. Қимасы  $1 \text{ мм}^2$  мыс сымнан жасалған квадрат рамка магнит өрісінде орналасқан. Магнит өрісінің индукциясы  $B = B_0 \sin \omega t$  заңы бойынша өзгереді, мұндағы  $B_0 = 0,01$  Тл,  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , ал  $T = 0,02$  с. Рамканың ауданы  $25 \text{ см}^2$ . Рамканың жазықтығы магнит өрісінің бағытына 2) перпендикуляр. Табу керек: 1) рамкала пайда болатын индукция ЭҚК-ң, 2) рамка арқылы өтетін ток күшінің, 3) рамкадан өтіп шығатын магнит ағынының уақытқа тәуелділігін және олардың ең үлкен мәндерін.

11.6. Индуктивтілігі 0,02 Гн катушка арқылы 1)  $I = I_0 \sin \omega t$  заңы бойынша өзгереді ток өтеді. Мұндағы  $I_0 = 5$  А,  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ,  $T = 0,02$  с. Табу керек: 1) катушкада пайда болатын индукция ЭҚК-ң, 2) катушканың магнит өрісі энергиясының уақытқа тәуелділігін.

11.7. Екі катушканың өз ара индуктивтілігі 0,005 Гн. Бірінші катушкадағы ток күші  $I = I_0 \sin \omega t$  заңы бойынша өзгереді. Мұндағы  $I_0 = 10$  А,  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ,  $T = 0,02$  с. Табу керек: 1) екінші катушкада индукцияланатын ЭҚК-ң уақытқа тәуелділігін, 2) осы ЭҚК-ң ең үлкен мәнін.

11.8. Магнит индукциясы 0,5 Тл болатын магнит өрісінде ұзындығы 40 см өткізгіш қозғалып барады. Өткізгіш қандай жылдамдықпен қозғалғанда, оның электр қозғаушы күші 2 В болады?

11.9. Соленоидтан өтіп жатқан токтың жылдамдығы секундына 50 А-ге өзгеріп отырса, соленоидтың ұштарында электр қозғаушы күші 0,08 В-ке тең өздік индукция пайда болады. Соленоидтың индуктивтілігін табындар.

11.10. 500 орамнан тұратын соленоидтан өтіп жатқан магнит ағыны  $d\Phi/dt=60\text{мВб/с}$  жылдамдықпен азайып барады. Соленоидтағы идукциясының электр қозғаушы күшін табындар.

11.11. Магниттелмеген өзекке оралған соленоид 100 орамнан тұрады. Оның индуктивтілігі 0,003 Гн. Осы соленоидтан  $I = 1$  А ток өткенде пайда болатын магнит ағынын табындар.

Тапсырмаларды орындауға нұсқаулар:

11-кесте - Негізгі формулалар

Фарадей заңы	$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$
Өздік индукцияның электр қозғаушы күші (ЭҚК)	$\varepsilon_s = -L\frac{dI}{dt}$
Ұзындығы шексіз соленоидтің индуктивтілігі	$L = \mu\mu_0 n^2 V$
Магнит өрісінің энергиясы	$W = \frac{LI^2}{2}$
Магнит энергиясының көлемдік тығыздығы	$w = \frac{W}{V} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{BH}{2}$

Бақылау сұрақтары:

1. Контурмен шектелген бетті, қиып магнит ағыны

$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0,3\text{Вб/с}$  жылдамдығымен бірқалыпты өзгереді. Контурда пайда болған

индукция ЭҚК-і қандай болады?

2. Егер тізбекті 0,2 с ішінде айырғанда катушкада 10 В-қа болатын өздік индукциясының орташа ЭҚК-і пайда болса, катушканы қиып өтетін магнит ағыны қандай болады?

3. Контурдағы өзіндік индукция ЭҚК-нің шамасы неге байланысты?

4. Индукцияның ЭҚКін өрнектейтін формуланы көрсетіңіз.

5. Контурда пайда болған индукцияның ЭҚКі деп...

6. Тоғы бар катушканың энергиясының формуласы



7. Индуктивтілігі 4 Гн, өздік индукцияның ЭҚКі 20 В болу үшін катушка токтың өзгеру жылдамдығы қандай болу керек?
8. Тізбекті токқа қосқанда (тұйықтау тоғы) тізбектегі токтың өзгеру заңының формуласы қандай?
9. Контурдің индуктивтілігі неге тәуелді?
10. Қандай өрнекпен электр қозғаушы күші өрнектеледі?

## ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 1

### ӨЛШЕУ ӘДІСТЕРІ МЕН ҚАТЕЛІКТЕРДІ ЕСЕПТЕУДІ ИГЕРУ

*Жұмыстың мақсаты:* Өлшеу нәтижелерін бағалау және қателіктерді есептеу әдістерімен танысу.

*Тапсырма:* Теориялық материалдарды талдап, эксперимент бөлімінде тәжірибені орындап, есептеу жұмысын орындап, бақылау сұрақтарға жауап беріп жұмысты қорғау.

*Құрал жабдықтар:* Сымның меншікті кедергісін анықтауға арналған қондырғы, штангенциркуль.

#### 1.1 ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕМЕ

Кез келген физикалық шаманы өлшеу дегеніміз оны өлшеу бірлігі ретінде қабылданған эталонмен салыстыру. Мысалы, ұзындық бірлігіне метр алынады. Ал кез келген бір кесіндінің ұзындығын өлшеу үшін біз сол кесіндінің бойына метр неше рет орналасатынын анықтаймыз. Осылай таңдап алынған эталонмен салыстыру арқылы өлшеуді тікелей өлшеу дейді. Өлшеуіш құралдар жеткілікті дәлдікпен жасалғанымен өлшеу кезінде қате кетуі мүмкін. Сондықтан барлық өлшенген шамалардың абсолют дәл мәнін таптық деуге болмайды. Жүргізілген өлшеулердің мақсаты іздеп отырған шамалардың жуық мәндерін табумен қатар өлшеулер кезінде кеткен қателердің шамасын анықтап, оны есептей білу болып табылады.

Берілген зертханалық жұмыста бізге керек шама (өткізгіштің меншікті кедергісі) тура өлшенбейді. Өткізгіштің  $\rho$  меншікті кедергісін формуладан өрнектеуге болады

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1.1)$$

мұндағы  $R$  – сымның бөлігінің кедергісі, оны Ом заңы арқылы анықтауға болады

$$R = \frac{U}{I} \quad (1.2)$$

$l$  – сымның ұзындығы,

$S$  – сымның қимасының ауданы,

$\rho$  – меншікті кедергі.

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (1.3)$$

Из формулы (1.1) найдем

$$\rho = \frac{RS}{l} \quad (1.4)$$

(1.2), (1.3) және (1.4) өрнектерін (1.1) өрнегіне қойып, келесі өрнекті аламыз

$$\rho = \frac{U}{I} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot l}$$

(1.5)

Меншікті кедергінің  $\rho$  ең ықтимал мәнін табу үшін (1.5) өрнегіне тура өлшенетін шамалардың  $\bar{d}, \bar{l}, \bar{U}, \bar{I}$  арифметикалық орта мәндерін қою керек. Тура өлшеу кезінде кездейсоқ қателік жіберіледі. Кездейсоқ қатені анықтау тәсілін қарастырайық.

Сымның диаметрін  $d_i$  ( $i$ - өлшем реті) шаманы  $n$  рет өлшейік.

Диаметрдің ең ықтимал мәні болып, оның орташа арифметикалық мәні табылады.

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum d_i \quad (1.6)$$

Орташа арифметикалық мәннен ауытқуы:  $|\Delta d| = |\bar{d} - d_i|$

Диаметрді өлшеудің кездейсоқ қателігі (сенімділік интервалы) төмендегі формуламен анықталады

$$\Delta d_{\text{кез}} = S_d t(\alpha, n), \quad (1.7)$$

мұндағы  $t(\alpha, n)$  – Стюдент коэффициенті. Стюдент коэффициенттері  $n$  мен  $\alpha$  –нің әр түрлі мәндері үшін ықтималдық теориясының заңдары бойынша есептеледі. Стюдент коэффициенттерінің таблицасы деп аталатын арнайы таблицада беріледі. Сол таблицадан жүргізілген өлшеу саны бойынша қалаған сенімділік ықтималдығы үшін  $t(\alpha, n)$  Стюдент коэффициентін тауып алу керек.

Мысалы ізделінетін  $x$  шаманың дәл мәні  $x$  - тен  $\alpha$  ықтималдықпен  $\Delta x$  шамасындай өзгеше делік. Бұл айтылғандар математикалық түрде былайша жазылады:

$P(\bar{x} - \Delta x < x < \bar{x} + \Delta x) = \alpha$ , ол өлшеулер нәтижелері  $\alpha$  ықтималдықпен  $x \pm \Delta x$ - ке дейінгі аралықта жатады дегенді көрсетеді. Бұл аралық сенімділік аралығы, ал мәндердің осы аралықта болу ықтималдығы сенімділік ықтималдығы немесе сенімділік коэффициенті деп аталады. Егер  $\alpha=90\%$  болса, бұл 100 өлшеудің 90 мәні  $(\bar{x} - \Delta x, \bar{x} + \Delta x)$  аралығына түседі де, тек 10 мәннің ғана бұл аралықтан тыс жататынын көрсетеді. Осыдан көріп отырғанымыздай, сенімділік аралығын неғұрлым кеңірек алсақ, өлшеулер нәтижесінің сол аралықтан шықпау ықтималдығы соғұрлым көбірек болады, яғни өлшеу нәтижелері неғұрлым сенімді болу үшін, сенімділік аралығын соғұрлым кеңірек алу керек. Демек,  $\Delta x$  кездейсоқ қатенің ықтимал шамасы екен.

$S_d$  - орташа арифметикалық мәннің орташа квадраттық қатесі.

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta d_i^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\Delta d_1^2 + \Delta d_2^2 + \dots + \Delta d_n^2}{n(n-1)}}$$

Диаметрді өлшеудің жүйелік қателігі  $\Delta d_{жс}$  өлшеуіш құралдарда көрсетіледі (штангенциркульде).

Тура өлшеудің нәтижелік абсолют қателігі  $\Delta d$  алдыңғы қателіктердің қосындысымен анықталады:

$$\Delta d = \Delta d_{кез} + \Delta d_{жс}. \quad (1.8)$$

Құралдардың дәлдік классы (класс точности)..

Көпшілік жағыдайда өлшеуіш құралдарды сипаттау үшін келтірілген қателік түсінігі  $E_k$  (дәлдік класы) қолданылады.

Келтірілген қателік – абсолют қателіктің өлшенетін шаманың шектік мәніне  $x_{шек}$  (яғни құрал шкаласының максимал мәні) қатынасы.

Келтірілген қателік негізінде салыстырмалы қателік болып табылады және пайызбен өрнетеледі.

$$E_k = \left| \frac{\Delta x}{x_{np}} \right| \cdot 100\%.$$

Мысалы: егер дәлдік класы 0.5 болса, онда  $E_k = 0.5\%$ .

Егер құралда дәлдік класы көрсетілмесе, онда абсолют қателігі құралдың ең кіші бөлігінің жартысына тең болады.

Бөгде өлшеулер дәлдігін бағалау.

Егер функция  $y = f(x_1, x_2, x_3)$  көбейтінді, қатынас және көрсеткіш функциясы түрінде болса, онда салыстырмалы қателікті анықтаған жөн.

Мысалы, егер

$$y = \frac{Ax_1^n \cdot x_2}{x_3},$$

мұндағы  $A$  – тұрақты сан, онда бөгде өлшеудің салыстырмалы қателігін анықтау үшін келесі формуланы қолдануға болады

$$\frac{\Delta y}{y} = n \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2} + \frac{\Delta x_3}{x_3}$$

Берілген жұмыста меншікті кедергінің салыстырмалы қателігі төменде берілген формуламен есептеледі:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta l}{l} + 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta l}{l} \quad (1.9)$$

Меншікті кедергінің орташа арифметикалық мәнінің абсолют қателігі келесі өрнекпен өрнектеледі

$$\Delta\rho = \varepsilon \cdot \bar{\rho}$$

Қорытынды нәтиже келесі түрде жазылады

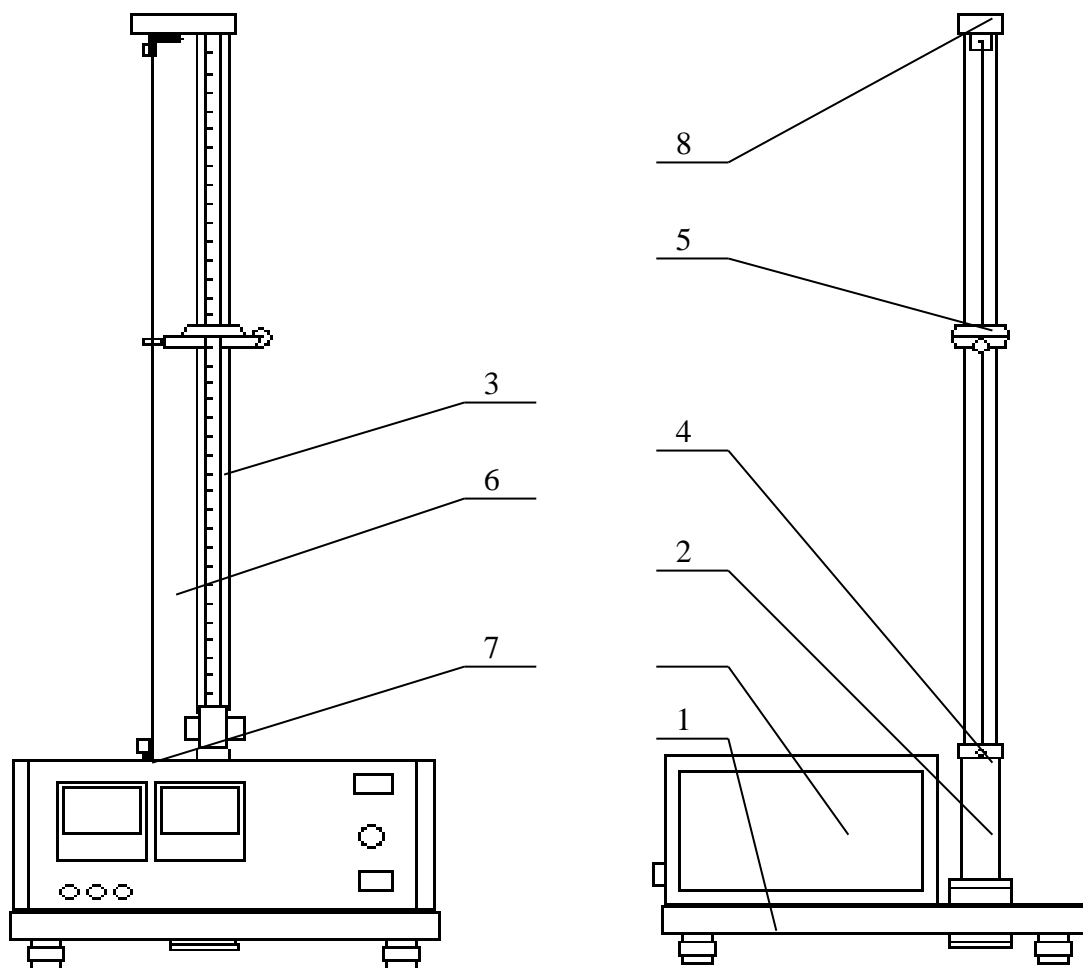
$$\rho = \bar{\rho} \pm \Delta\rho.$$

## 1.2 ҚОНДЫРҒЫНЫҢ СУРЕТТЕМЕСІ

Қондырғының негізі 1 құралдың күйін теңестіруге арналған айналмалы аяқшалармен қамтамасыздандырылған. Негізге метрлік шкаласы 3 бар колонна 2 бекітілген. Колоннаға екі қозғалмайтын кронштейн 4 және колоннаның бойымен жылжитын және кез келген күйде бекітілінетін жылжымалы кронштейн 5 орналастырылған.

Жоғарғы және төменгі кронштейндер арасында резистивтік сым 6 тартылған, сым винттің көмегімен кубиктерге 7 бұралған. Жылжымалы кронштейнде контакті қысқыш арқылы сызық түсірілген, ол өлшенетін резистивтік сымның бөлігінің ұзындығын анықтауға көмектеседі. Резистивтік сымның төменгі, жоғарғы және орталық контактілері аз кедергісі бар сымдардың көмегімен құралдың өлшеуіш бөлігіне 8 қосылған, ал ол болса корпусстың орталық бөлігінде орналасқан, винттердің көмегімен корпусстың негізіне бекітілген.

Қондырғының жалпы түрі 1-суретте көрсетілген



1-сурет - ФРМ – 02 қондырғының жалпы түрі

### 1.3 ЖҰМЫСТЫҢ ОРЫНДАЛУ ТӘРТІБІ

1. Штангенциркульдің көмегімен сымның диаметрін әртүрлі бес нүктеде өлшеңдер.
2. Орташа арифметикалық мәнін табыңдар

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5}{5}$$

3. Өлшемнің орташа арифметикалық мәнен ауытқуын табыңдар

$$\Delta d_i = |\bar{d} - d_i|$$

4. Орташа арифметикалық мәнің орташа квадраттық қатесін табыңдар

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta d_i^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\Delta d_1^2 + \Delta d_2^2 + \dots + \Delta d_n^2}{n(n-1)}}$$

мұндағы n – өлшеу саны.

5. Тура өлшемнің абсолют қателігін  $\Delta d$  анықтаңдар

$$\Delta d = \Delta d_{\text{кез}} + \Delta d_{\text{жс.}}$$

1- Өткізгіштің меншікті кедергісін анықтау

№	$d$ (м)	$\bar{d}$ (м)	$\Delta d_i$ (м)	$\bar{l}$ (м)	$\Delta \bar{l}$ (м)	$U$ (В)	$\Delta U$ (В)	$I$ (А)	$\Delta I$ (А)	$\rho$ (Ом.м)	$\Delta \rho$ (Ом.м)
1											
2											
3											
4											
5											

6. Сымның ұзындығын  $l$  өлшеңдер және абсолют қателігін  $\Delta l$  анықтаңдар.  
 7. Амперметр мен вольтметрдің көрсеткіштерін алып, олардың дәлдік кластары бойынша абсолют қателіктерін  $\Delta U$  және  $\Delta I$  анықтаңдар.  
 8. меншікті кедергенің орташа мәнін төмендегі формуламен есептеңдер:

$$\bar{\rho} = \frac{\pi \cdot \bar{d}^2 \cdot \bar{U}}{4 \cdot \bar{l} \cdot I}$$

9. Салыстырмалы қателікті табыңдар  $\varepsilon = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} + 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta l}{l}$ .  
 8. Абсолют қателікті табыңдар  $\Delta \rho = \varepsilon \cdot \bar{\rho}$ .  
 9. Өлшем нәтижесін келесі түрде жазыңдар  $\rho = \bar{\rho} \pm \Delta \rho = \bar{\rho} (1 \pm \frac{\Delta \rho}{\bar{\rho}})$ .

#### 1.4 БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАР

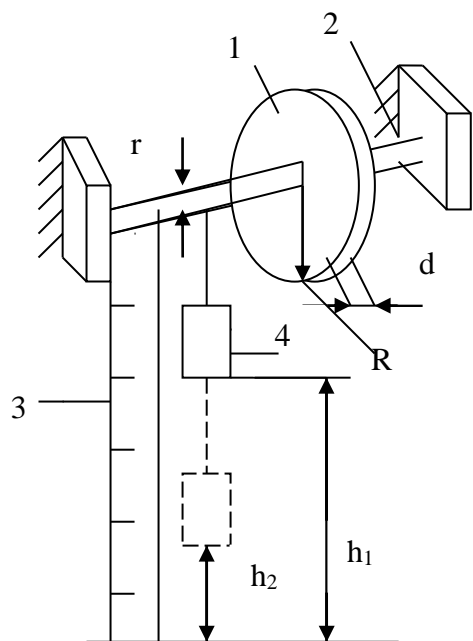
1. Өлшеудің анықтамасы.
2. Өлшеу түрлері және анықтамалары.
3. Қателік.
4. Қателіктер түрі.
5. Қателіктерді есептеу әдістері.

## ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 2

### МАХОВИКТІҢ ИНЕРЦИЯ МОМЕНТІН ЖӘНЕ МАХОВИК ПЕН ТІРЕУ АРАСЫНДАҒЫ ҮЙКЕЛІС КҮШІН АНЫҚТАУ.

*Жұмыстың мақсаты :* Қатты денелердің айналмалы қозғалыс заңдарын маховик үлгісінде қарастыру.

*Құрал жабдықтар:* Қатты денелердің инерция моментін анықтауға арналған қондырғы, секундомер, штангенциркуль.



4.1-сурет-Қондырғы

#### 2.1 ҚОНДЫРҒЫ ҚҰРЫЛЫСЫ.

Қондырғы масштабты сызғыш-3 және білікке-2 отырғызылған маховиктен-1 тұрады. (сурет-4.1).

Білікке массасы  $m$  жүк-4 ілінген жіп оратылады.

#### 2.2 ҚЫСҚАША ТЕОРИЯЛЫҚ КІРІСПЕ.

Берілген жұмыста маховиктің инерция моментін анықтау әдісі энергияның сақталу заңына негізделген .

Маховик массасы  $m$  жүктің ауырлық күші моментінің салдарынан айналады. Егер жүк  $h_1$  биіктікке көтерілсе, онда  $\Pi=mgh$  потенциалдық энергияға ие болады. Жүк төмен түскенде энергияның сақталу заңы бойынша потенциалдық энергия кинетикалық энергияға айналады. Сондықтан жүйенің энергиясы жүктің

ілгермелі қозғалысының энергиясы  $\frac{mv^2}{2}$  мен маховиктің айналмалы

қозғалысының энергиясынан  $\frac{I\omega^2}{2}$  тұрады. Энергияның бір бөлігі жүйеде

үйкеліс күшіне қасы жұмысқа жұмсалады

$$A=fh_1$$

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} + fh_1. \quad (2.1)$$

(2.1) өрнегі жүктің ең төменгі нүктесі үшін жазылған . Маховиктің инерцияның әсерінен жүк  $h_2$  биіктікке көтеріледі .

Потенциалдық энергияның кемуі үйкеліс күшін жеңуге жұмсалатын жұмысқа тең.

$$mgh_1 - mgh_2 = f(h_1 + h_2)$$

осыдан



$$f = mg \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2}. \quad (2.2)$$

Қозғалыс бірқалыпты үдемелі болғандықтан

$$v = at, \quad h_1 = \frac{at^2}{2},$$

м/ғы  $t$  – жүктің түсу уақыты. Осыдан

$$v = \frac{2h_1}{t}. \quad (2.3)$$

Сызықтық және бұрыштық сипаттамалар арасындағы байланыстансыдан

$v = \omega r$ , м/ғы  $r$  – біліктің радиусы:

$$\omega = \frac{2h_1}{tr}. \quad (2.4)$$

(2.2), (2.3), (2.4) өрнектерін (2.1) өрнегіне қойып келесі өрнекті аламыз:

$$I = mr^2 \left[ gt^2 \frac{h_2}{h_1(h_1 + h_2)} - 1 \right]. \quad (2.5)$$

### 2.3 ЖҰМЫСТЫҢ ОРЫНДАЛУ ТӘРТІБІ

1-тапсырма . Маховиктің инерция моментін анықтау (эксперимент жүзінде).

1) Жүкті  $h_1$  биіктікке білікке жіпті орау арқылы көтеріңіз.

2) Жүкті төмен жіберер кезде секундомерді бірге қосып, жүк төменгі нүктеге жеткенде секундомерді тоқтатыңыз.

3) Маховиктің инерциясының әсерінен жүктің көтерілген  $h_2$  биіктігін өлшеңіздер.

4) (2.2) және (2.5) өрнектерімен тіреудегі үйкеліс күшін және маховиктің инерция моментін есептеңіздер. Тәжірибені бес рет қайталаңыздар. Нәтижені 3-кестеге жазыңыздар. Бастапқы биіктікті тұрақты етіп қарастырыңыздар.

3-кесте

№ опыта	$h_1$ (м)	$h_2$ (м)	$r$ (м)	$t$ (с)	$I$ (кг·м <sup>2</sup> )	$I_{cp}$ (кг·м <sup>2</sup> )	$\Delta I_i$ (кг·м <sup>2</sup> )	$f$ (Н)	$f_{cp}$ (Н)	$\Delta f_{cp}$ (Н)

5)  $I$  және  $f$  шамалардың тура өлшеу әдісі бойынша қателіктерін есептеңіздер.

6) Өлшеу нәтижелерін келесі түрде жазыңыздар:

$$I = I_{cp} \pm \Delta \bar{I}$$

$$f = f_{cp} \pm \Delta \bar{f}.$$

2-тапсырма . Маховиктің инерция моментін анықтау  
(теория жүзінде).

1) Маховиктің  $R$  – радиусын және оның  $d$  – қалыңдығын өлшеңіздер.

2) Маховиктің массасын көлем және тығыздық арқылы өрнектеп

$$M = \rho V ,$$

$$m/\text{ғы} \rho = 7,8 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad V = \pi R^2 d .$$

3) Маховиктің момент инерциясын келесі формуламен есептеңдер

$$I = \frac{MR^2}{2} . \quad (2.6)$$

4) Нәтижені экспериментпен салыстырыңыздар. Жұмысты қорытындылаңыздар.

#### 2.4 БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ:

- 1) Инерция моментінің анықтамасы және физикалық мағынасы.
- 2) Айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі сипаттамалары.
- 3) Айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі заңы (теңдеуі).
- 4) Берілген жұмыс әдісі қандай заңға негізделген?
- 5) Неліктен  $h_1 > h_2$  ?

### ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 3.

#### ДИСКІНІҢ ИНЕРЦИЯ МОМЕНТІН АНЫҚТАУ

*Жұмыстың мақсаты:* Қатты денелердің айналмалы қозғалыс заңдарын зерттеп, тексеру. Дискінің инерция моментін екі әдіспен: динамикалық және тербеліс әдісімен анықтау.

*Тапсырма:* Берілген тақырыптың теориясын талқылап, тәжірибені орындап, есептеп, бақылау сұрақтарға жауап дайындап жұмысты қорғау.

*Құрал жабдықтар:* Дискінің инерция моментін анықтайтын қондырғы, секундомер, штангенциркуль, жүктер жиынтығы.

#### 3.1 ӘДІСТІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗІ

##### Динамикалық әдіс

Берілген әдіс энергияның сақталу және бір түрден екінші түрге айналуына негізделген. Біртекті ауыр диск валға отырғызылған, ол платформадағы (шелек) жүктердің ауырлық күшінің моментінің арқасында айналмалы қозғалыс жасайды. Массасы  $m$  жүктер  $h$  биіктікке көтеріліп,  $mgh$  потенциалдық энергияға ие болады. Платформа жүктерімен төмен қозғалғанда диск айналмалы қозғалып, жүктердің потенциалдық энергиясы  $-\frac{mV^2}{2}$  - жүктердің ілгермелі қозғалысының кинетикалық энергиясына және  $\frac{I\omega^2}{2}$  - дискінің айналмалы қозғалысының кинетикалық энергиясына айналады. Үйкеліс күшін ескермесек, онда энергияның сақталу заңы келесі түрде жазалады:

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

мұндағы  $I$  – дискінің инерция моменті,

$V$  – платформаның ілгермелі қозғалысының жылдамдығы,

$\omega$  – дискінің бұрыштық жылдамдығы.

(3.1) теңдеуі платформаның төменгі күйі үшін берілген.

Жүктердің қозғалысы бірқалыпты үдемелі болғандықтан:  $h = \frac{at^2}{2}$  немесе

$a = \frac{2h}{t^2}$ ,  $V=at$ , онда

$$V = \frac{2h}{t}. \quad (3.2)$$

Жүктердің ауырлық күшінің иіні болып валдың радиусы –  $r$  табылады. Бұрыштық жылдамдық пен сызықтық жылдамдықтың байланыстарын пайдалана отырып, келесі өрнекті аламыз

$$\omega = \frac{V}{r} = \frac{2h}{tr} \quad (3.3)$$

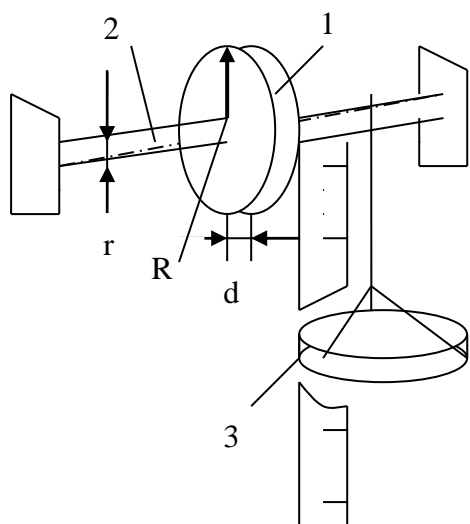
(2.2) және (2.3) өрнектерін (2.1) теңдеуіне қойып, дискінің инерция моментін өрнектейміз

$$I = \frac{mr^2(gt^2 - 2h)}{2h}, \quad (3.4)$$

мұндағы  $m$  – жүктердің жалпы массасы,  
 $r$  – валдың радиусы,  
 $t$  – жүктердің түсу уақыты,  
 $h$  – платформаның көтерілу биіктігі.

### 3.1.1 ҚОНДЫРҒЫНЫҢ СУРЕТТЕМЕСІ

Қондырғы валға отырғызылған ауыр біртекті дискіден тұрады. Вал подшипниктерге орнатылғандықтан  $OO'$  айналу осіне қатысты еркін айналады. Валға жіптің көмегімен платформа жүктерімен ілініп оралған (сурет 10). Егер платформаға массасы  $m$  жүк салсақ, жүйе қозғалысқа келеді.



10-сурет – Динамикалық әдіспен дискінің инерция моментін анықтауға арналған қондырғы

### 3.1.2 ЖҰМЫСТЫҢ ОРЫНДАЛУ ТӘРТІБІ

1. Платформаға массасы 0,3 кг жүк саламыз.
2. Жіпті валға орап жүкті  $h$  биіктікке көтеріміз.
3. Платформаны төмен жіберіп, түсу уақытын электрон секундомерімен анықтап, кестеге түсіреміз (тәжірибені 3 рет қайталаймыз).
4. Тәжірибені 0,4 кг және 0,5 кг массалар үшін қайталаймыз (әр масса үшін үш реттен).
5. Штангенциркульмен  $r$  валдың радиусын,  $R$  дискінің радиусын,  $d$  дискінің қалыңдығын өлшейміз. (3.22) өрнегімен  $I$  дискінің инерция моментін есептейміз
6. Дискінің жасалған затының

тығыздығын  $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  біле отырып, дискінің массасын  $M = \rho \pi R^2 d$

анықтап, дискінің инерция моментін теориялық мәнін есептейміз  $I = \frac{MR^2}{2}$ .

7. Өлшемдерді және есептеу нәтижелерін 4-кестеге түсіреміз

4- кесте – Дискінің инерция моментін динамикалық әдіспен анықтау

№	$m$ (кг)	$t$ (с)	$\bar{t}$ (с)	$I$ (кг·м <sup>2</sup> )	$\bar{I}$ (кг·м <sup>2</sup> )	$\Delta \bar{I}$ (кг·м <sup>2</sup> )	$I_{\text{теор}}$ (кг·м <sup>2</sup> )
1							
2							
3							

8. Қателіктерді тура өлшемдер әдісімен есептеп, нәтижені келесі түрде көрсетеміз

$$I = \bar{I} \pm \Delta I.$$

### 3.2.1 ӘДІСТІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗІ

#### Тербелістер әдісі

Дискіге ауыр шарды бекітіп, физикалық маятник аламыз. Физикалық маятник  $OO'$  айналу осіне қатысты шардың ауырлық күшінің моментінің салдарынан тербеледі. Қозғалыс теңдеуі келесі өрнекпен өрнектеледі:

$$(I + I_1) \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -m_1 g (R + R_1) \sin \alpha, \quad (3.5)$$

мұндағы  $I$  – дискінің  $OO'$  айналу осіне қатысты инерция моменті,

$I_1$  – шардың  $OO'$  айналу осіне қатысты инерция моменті,

$m_1$  – шардың массасы,

$R$  және  $R_1$  – диск пен шардың радиустары,

$\alpha$  – жүйенің тепе-теңдік қалыптан ауытқу бұрышы.

Жүйе гармоникалық тербеліс жасайтындықтан,  $\alpha$  бұрышы  $8^\circ - 10^\circ$  артық болмау керек. Кішкентай бұрыштар үшін  $\sin \alpha \approx \alpha$ , ондай болса (3.5) өрнегін келесі түрде береміз:

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} = - \frac{m_1 g}{I + I_1} (R + R_1) \alpha. \quad (3.6)$$

(3.6) өрнегіне белгілеу енгіземіз

$$\frac{m_1 g}{I + I_1} (R + R_1) = \omega^2, \quad (3.7)$$

сонда

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \omega^2\alpha = 0, \quad (3.8)$$

яғни гармоникалық тербелістің дифференциалдық теңдеуін алдық.  
 $\omega$  – тербелістің циклдік жиілігі:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (3.9)$$

Олай болса, маятниктің периоды келесі өрнекпен өрнектеледі:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I + I_1}{m_1 g (R + R_1)}}. \quad (3.10)$$

Осы өрнектен дискінің инерция моменті  $I$  тең болады:

$$I = \frac{T^2}{4\pi^2} m_1 g (R + R_1) - I_1, \quad (3.11)$$

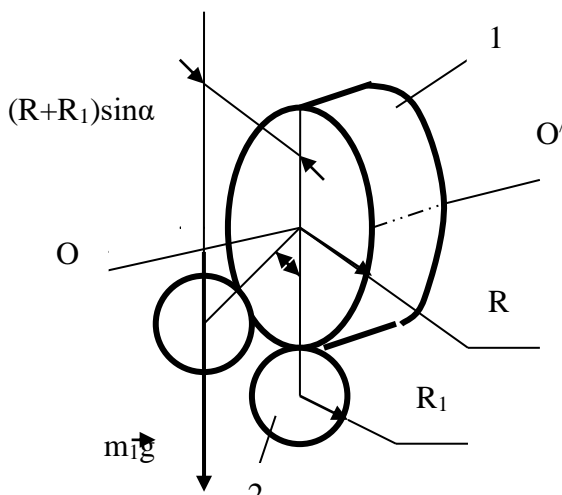
$I_1$  –  $OO'$  айналу осіне қатысты шардың инерция моменті, Штейнер теоремасымен анықталады.

$$I_1 = I_{1C} + m_1 a^2, \quad (3.12)$$

мұндағы  $I_1 = \frac{2}{5} m_1 R^2$  - шардың центрі арқылы өтетін оське қатысты шардың инерция моменті,  
 $a = (R + R_1)$  – осьтер арасындағы қашықтық.

(3.11) өрнектен (3.12) өрнегін ескеріп, келесі түрге келтіреміз:

$$I = m_1 \left[ \frac{T^2}{4\pi^2} g (R + R_1) - \frac{2}{5} R^2 - (R + R_1)^2 \right]. \quad (3.13)$$



### 3.2.2 ҚОНДЫРҒЫНЫҢ СУРЕТТЕМЕСІ

Валға отырғызылған дискіге массасы  $m_1 = 0,05$  кг шар бекітілген (сурет 11). Жүйе вал арқылы өтетін  $OO'$  айналу осіне қатысты айналады. Жүйе тепе-теңдік қалыптан шарды  $\alpha = 20^\circ - 30^\circ$  ауытқыту арқылы шығып,  $T$  периодпен тербеліс жасайды (3.10).

### 3.2.3 ЖҰМЫСТЫ ОРЫНДАУ ТӘРТІБІ

1. Шарды дискіге бекітеміз суреттегідей.
2. Жүйені тепе-теңдік қалыптан шарды  $\alpha = 20^\circ - 30^\circ$  ауытқытып,  $n = 10$  толық тербелістің  $t$  уақытын электрон секундомермен анықтап кестеге түсіреміз. Тәжірибені 5 рет қайталаймыз ауытқу бұрышын өзгертпей.
3. Штангенциркульмен  $R$  дискінің радиусы мен  $R_1$  шардың радиусын өлшейміз.
4. (3.13) өрнегімен дискінің инерция моментін есептейміз. Нәтижелерді 5-кестеге толтырамыз.

5-кесте – Тербеліс әдісімен дискінің инерция моментін анықтау

№	$\alpha$ (град)	$n$	$t$ (с)	$T$ (с)	$I$ (кг·м <sup>2</sup> )	$\bar{I}$ (кг·м <sup>2</sup> )	$\Delta I$ (кг·м <sup>2</sup> )

5. Қателіктерді тура өлшемдер әдісімен есептеп, нәтижені келесі түрде көрсетеміз

$$I = \bar{I} \pm \Delta I.$$

6. Динамикалық және тербелістер әдістердің нәтижелерін теориялық мәнмен салыстырып, жұсыты қорытындылаймыз.

### 3.2.4 БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАР

1. Инерция моменті дегеніміз не? Оның физикалық мағынасы және өлшем бірлігі.
2. Ілгермелі және айналмалы қозғалыс динамикаларының негізгі теңдеулерінің тұжырымдамалары.
3. Массалары және радиустары бірдей дискі мен сақинаның инерция моменттері бірдей ме? Неге?
4. Динамикалық және тербелістер әдістерінің өрнектері қандай заңдарға негізделген?
5. Күш моменті. Импульс моменті.

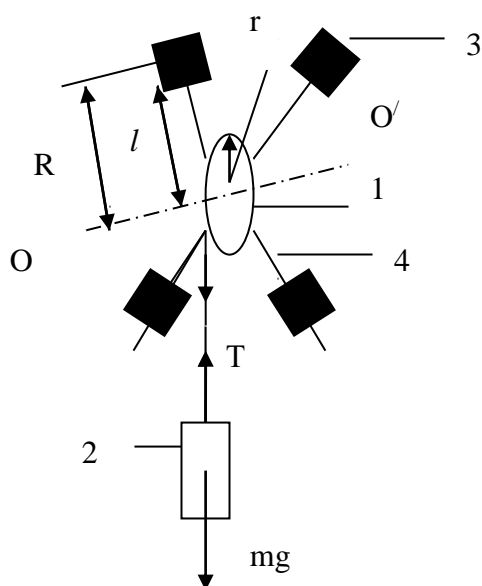
## ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 4.

### ОБЕРБЕК ҚҰРАЛЫНЫҢ КӨМЕГІМЕН АЙНАЛМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫС ДИНАМИКАСЫНЫҢ ЗАҢДАРЫН ЗЕРТТЕУ

*Жұмыстың мақсаты:* Айналымалы қозғалыс динамикасының негізгі теңдеуін зерттеу. Обербек маятнінің инерция моментін анықтау.

*Тапсырма:* Берілген тақырыптың теориясын талқылап, тәжірибені орындап, есептеп, бақылау сұрақтарға жауап дайындап жұмысты қорғау.

*Құрал жабдықтар:* Обербек маятнігі, секундомер, штангенциркуль, жүктер жиынтығы.



12-сурет – Обербек маятнігі

#### 4.1 ҚОНДЫРҒЫНЫҢ СУРЕТТЕМЕСІ

Айналымалы қозғалыс жасайтын бойында цилиндр тәрізді (3) жүктері бар екі айқышқан стерженнен (4) тұратын жүйені Обербек маятнігі дейміз (сурет 12). Маятник  $OO'$  осіне қатысты қосымша жүктердің (2) ауырлық күш моментінің әсерінен айналымалы қозғалыс жасайды. Жүйенің инерция моменті цилиндрлердің (3)  $OO'$  айналу осіне қатысты орналасуларымен анықталады.

#### 4.2 ӘДІСТІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗІ

Берілген жұмыста айналымалы қозғалысты зерттеу үшін айналымалы қозғалыс динамикасының негізгі теңдеуін қолданамыз:

$$(4.1) \quad I\varepsilon = \sum M,$$

мұндағы  $I$  –  $OO'$  айналу осіне қатысты инерция моменті,

$\sum M$  –  $OO'$  айналу осіне қатысты жүйеге әсер ететін барлық күштердің қорытынды күш моменті.

Маятник қорытынды күш моментінің әсерінен айналымалы қозғалады

$$\sum M = M_n + M_{тр}, \quad (4.2)$$

мұндағы  $M_k$  – жіптің  $T$  керілу күшінің моменті,

$M_{үйк}$  – подшипниктердегі үйкеліс күш моменті; егер үйкеліс күшті ескермесек, онда:

$$\sum M = M_k = Tr, \quad (4.3)$$



мұндағы  $r$  – жіп оралатын валдың радиусы.

Жүкке (2) екі күш әсер етеді:  $mg$  – ауырлық күші,  $T$  – жіптің керілу күші.

Осы күштердің әсерінен жүк  $a$  удеумен үдемелі төмен қарай қозғалады және оның қоғалыс теңдеуі Ньютонның екінші заңымен өрнектеледі:

$$mg - T = ma, \quad (4.4)$$

мұндағы  $a$  – жүйенің сызықты үдеуі.

Үдемелі қоғалыстың үдеуі келесі өрнекпен өрнектеледі

$$a = \frac{2h}{t^2}, \quad (4.5)$$

мұндағы  $h$  – жүктің көтерілу биіктігі,

$t$  – түсу уақыты.

(3.35) өрнегінен (3.36) өрнегін ескеріп, жіптің керілу күшін өрнектейміз

$$T = mg \left( 1 - \frac{a}{g} \right) = mg \left( 1 - \frac{2h}{gt^2} \right).$$

(4.6)

(3.37) өрнегін (3.34) өрнегіне қойып, күш моментінің формуласын аламыз:

$$M_{\kappa} = mgh \left( 1 - \frac{2h}{gt^2} \right). \quad (4.7)$$

Егер айқышқан стержендердің инерция моментін  $I_0$  десек, онда жүйенің инерция моменті, яғни маятниктің осы стержендердің және олардың бойындағы цилиндр жүктердің инерция моменттерінің қосындыларымен анықталады. Цилиндрлердің өлшемдері осьтердің ұзындығынан көп аз болғандықтан, оларды нүктелік массалар деп қарастырамыз:

$$I = I_0 + 4m_{\text{ц}}R^2, \quad (4.8)$$

мұндағы  $R$  – айналу осінен цилиндрдің масса центріне дейінгі арақашықтық,

$m_{\text{ц}}$  – цилиндрдің массасы.

$$R = l + \frac{l_0}{2}, \quad (4.9)$$

мұндағы  $l - OO'$  айналу осінен  $m_{\text{ц}}$  цилиндрге дейінгі арақашықтық,

$l_0 - m_{\text{ц}}$  цилиндрдің ұзындығы.

Айқыш стеженнің инерция моменті келесі формуламен есептеледі:

$$I_0 = 4 \cdot \frac{1}{12} m_1 l_1^2, \quad (4.10)$$

мұндағы  $m_1$  – бір стерженнің массасы,  $l_1$  – стерженнің ұзындығы.

Жүйенің инерция моментін цилиндрлерді жылжытып өзгертуге болады. Бірақ әр жағыдайда цилиндрлер  $OO'$  айналу осіне қатысты симметриялы орналасулары қажет. Жіпке ілінген жүктің (2) массасын өзгертіп  $M_k$  керілу күш моментінің шамасын өзгертуге болады.

Маятниктің бұрыштық үдеуін анықтау үшін бұрыштық үдеу мен сызықтық үдеудің арасындағы байланысты пайдаланамыз.

$$\varepsilon = \frac{a}{r} = \frac{2h}{rt^2}. \quad (4.11)$$

#### 4.3 ЖҰМЫСТЫ ОРЫНДАУ ТӘРТІБІ

1. Маятник осінің бойындағы цилиндр жүктерді (3) осьтің ортасына қарай симметриялы орналастырамыз.

2. Штангенциркульмен  $l - OO'$  айналу осінен цилиндр жүктерге (3) дейінгі арақашықтықты өлшейміз. (4.8), (4.9), (4.10) өрнектерімен  $I$  инерция моментін есептейміз.

3. Штангенциркульмен  $r$  валдың радиусын өлшейміз.

4. Жіпке қосымша жүкті (2) іліп, валға орап  $h$  биіктікке көтереміз. Жүкті төмен жіберіп, секундомермен оның  $t$  – түсу уақытын анықтаймыз. (4.7) өрнегімен айналу моментін анықтаймыз, ал (4.11) өрнегімен – жүйенің бұрыштық үдеуін. Тәжірибені 4 рет қайталап, мәндерді кестеге түсіреміз.

5. Жүктің (2) үстіне қосымша  $\Delta m_1, \Delta m_2, \Delta m_3, \Delta m_4$  жүктер артып массаны өзгертіп, әр масса үшін тәжірибені 4-бөлімдегідей қайталаймыз, цилиндрлердің күйін өзгертпей.

6. Цилиндрлерді (3) осьтің шетіне жылжытып, өлшемдерді 2, 4, 5 бөлімдеріне сәйкес қайталаймыз.

Барлық өлшемдер мен нәтижелерді 6 және 7 кестелерге түсіреміз.

$m_{\text{ц}}$  – цилиндр жүктің массасы =  $3 \cdot 10^{-3}$  кг.

$m_1$  – бір стерженнің массасы =  $0,170 \cdot 10^{-2}$  кг.

$m$  – жіпке ілінген жүктің массасы =  $450 \cdot 10^{-3}$  кг.

#### 6-кесте – Жүктің түсу уақытын анықтау

$m$ (кг)	$t_1$ (с)	$t_2$ (с)	$t_3$ (с)	$t_4$ (с)	$t_{\text{ср}}$ (с)

#### 7-кесте – Инерция моментін анықтау

$m$	$\varepsilon$	$M_H$	$I$

(кг)	(рад/с)	(Н·м)	(кг·м <sup>2</sup> )

7. Цилиндр жүктердің екі жағыдайы үшін бір координата осінде  $I(r)$  тәуелділік графигін салып, олардың неліктен әр түрлі көлбеулігін түсіндіреміз.

8. График бойынша маятниктің инерция моментін анықтап, оның теориялық мәнімен салыстырамыз.

#### 4.4 БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАР

1. Инерция моменті, күш моменті және бұрыштық үдеу деген физикалық шамаларға анықтама беріңіз.

2. Егер осьтің бойындағы цилиндр жүктерді жылжытсақ, онда Обербек маятникінің массасы өзгере ме? Ал инерция моменті ше?

3. Айналмалы қозғалыс динамикасының негігі заңын, механикалық энергияның сақталу және айналу заңын тұжырымдаңыз.

4. Жүктің қозғалыс теңдеуін жазыңыз.

5. Гюйгенс – Штейнер теоремасы.

## ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 5.

### БОЛАТТЫҢ СЕРПІМДІЛІК МОДУЛІН АНЫҚТАУ

*Жұмыстың мақсаты:* Иілу әдісімен сталь үшін Юнг модулін анықтау.

*Тапсырма:* Берілген тақырыптың теориясын талқылап, тәжірибені орындап, есептеп, бақылау сұрақтарға жауап дайындап жұмысты қорғау.

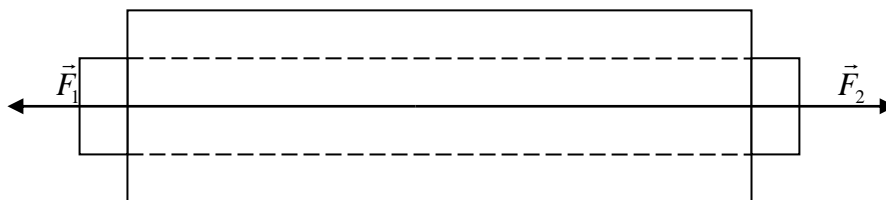
*Құрал жабдықтар:* Юнг модулін анықтауға арналған қондырғы, жүктер жиынтығы, штангенциркуль, индикатор.

#### 5.1 ӘДІСТІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗІ

Әдіс созылу деформациясына негізделген. Сызықтық созылу.  $\vec{F}_1$  және  $\vec{F}_2$  сыртқы күштердің әсерінен стержень  $\Delta\ell$  шамаға созылады, яғни  $\Delta\ell \sim F$  (сурет 15) ( $F = F_1 = F_2$ )

$$F = k \cdot \Delta\ell \quad (5.1)$$

мұндағы  $k$  - қатаңдық коэффициенті.



15-сурет – Сызықтық созылу

(4.5) өрнегі Гук заңы деп аталады. Стерженнің бойында пайда болған серпімділік күштер Гук заңына бағынады. Стерженнің берілген материалы және өлшемі үшін серпімділік күшінің шамасы  $\Delta\ell$  абсолют ұзындығымен емес,  $\frac{\Delta\ell}{\ell_0}$  салыстырмалық ұзындығымен анықталады, мұндағы  $\ell_0$  -

стерженнің бастапқы ұзындығы. Серпімді деформация кезінде салыстырмалы ұзындық стерженнің қимасының бірлік ауданына түсірілетін күшке тура пропорционал  $\frac{\Delta\ell}{\ell_0} = \alpha \frac{F}{S}$

$\alpha$  – беріктік коэффициенті (коэффициент податливости).

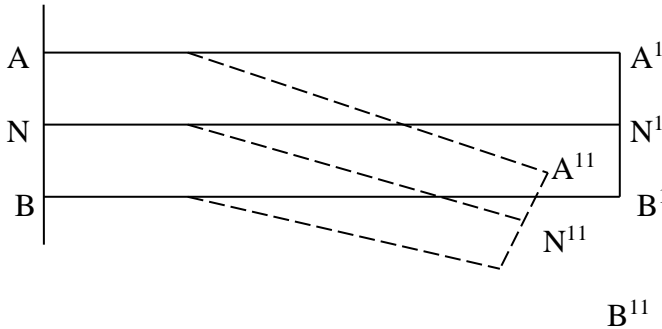
$\sigma = \frac{F}{S}$  - нормаль кернеу деп аталады.

Нормаль кернеуге кері шама Юнг модулі деп аталады

$$E = \frac{1}{\alpha} \text{ (Па)}, \quad \frac{\Delta\ell}{\ell_0} = \frac{\sigma}{E}$$

Олай болса, салыстырмалы ұзындық 1-ге тең болғанда, яғни  $\Delta l = l_0$ , Юнг модулі нормаль кернеуге тең болады. Практика жүзінде үлкен серпімді деформация мүмкін емес, сондықтан стержень ертерек сынады. Құрылыс материалдарын Юнг модулінің беріктілігіне сынағанда құрылыс конструкцияларының қаншалықты қандай жүкке шыдау мүмкіндіктері мен беріктілігін білу өте маңызды.

Иілу деформациясы. Берілген жұмыста иілу деформациясын қарастырамыз. Иілу деформациясы нормаль күштердің әсерінен пайда болады, мұндай деформация кезінде берілген дененің горизонталь қабаттары деформацияланады.



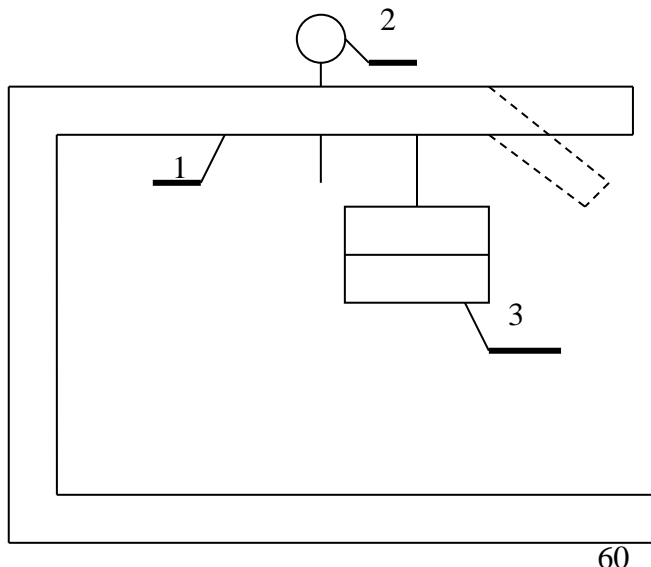
16-сурет – Иілу деформациясы

Біздің жағыдай үшін

$$\lambda = \frac{F l^3}{3EJ} \quad (5.2)$$

мұндағы  $F$  – түсірілген күш,  
 $E$  – Юнг модулі,  
 $l$  – біліктің бос жағының ұзындығы,  
 $J$  – біліктің тұрақтысы.

$$J = \frac{bh^3}{12} \quad (5.3)$$



17-сурет – Юнг модулін анықтауға арналған қондырғы

16-суреттен дененің жоғарғы қабатының ұзарып, төменгі қабатының сығылуын көреміз. Болат стерженнің бір жағы бекітілген ( $AB$  қима), ал бос жағына  $F$  күш түсіріледі. Иілу деформациясы  $\lambda$  майысу (ығысу) жебесінің көмегімен өрнектеледі, яғни біліктің бос жағының ығысуымен.

мұндағы  $b$  – біліктің қимасының ені,  
 $h$  – біліктің қимасының қалыңдығы (бекітілген жерде).

## 5.2 ҚОНДЫРҒЫНЫҢ СУРЕТТЕМЕСІ

Қондырғы тікбұрышты рамкадан тұрады. Рамкаға болат стержень 1 бір жағымен бекітілген, ал екінші жағы бос (сурет - 17).

Стерженнің бос жағына платформа 3 ілінген, осы платформаға жүктер салынып,

$F_1, F_2, F_3$  және т.б. күштер әсер етеді.

Майысу (ығысу) жебесін анықтау үшін индикатор 2 пайдаланамыз, ол стерженнің бойында кез келген жерде онатылады.

Индикатор стрелкасы дененің қаншалықты майысатынын көрсетеді мм бірлікте.

### 5.3 ЖҰМЫСТЫ ОРЫНДАУ ТӘРТІБІ

1. Біліктің бекітілген жерінде (АВ қима) оның ені мен қалыңдығын өлшейміз. (5.3) өрнегімен болат біліктің тұрақтысын анықтаймыз.

2. Біліктің кез келген нүктесіне индикатор мен платформаны орналастырамыз.

3. Біліктің бекітілген жерінен  $F$  күшті түсіру нүктесіне дейінгі  $l$  арақашықтықты өлшейміз.

4. Индикатордан  $F$  күшті түсіру нүктесіне дейінгі  $x$  арақашықтықты өлшейміз және  $0 < x < l$  болуын ескереміз.

5. Индикаторды нольдік мәнге келтіреміз.

6. Әр жүк үшін индикатордың көрсеткішін аламыз:  $n_1, n_2, n_3, n_4$ .

7. Әр жүкті қайтадан ала отырып кері мәндерін кестеге төменнен жоғары жазамыз  $n'_3, n'_2, n'_1$ . Қалдық деформацияның салдарынан  $n'_3$  және  $n_3, n'_2$  және  $n_2$  бір бірімен сәйкес келмеуі мүмкін, сондықтан индикатордың көрсеткіштерінің орташа мәндерін анықтаймыз:  $\frac{n_3 + n'_3}{2}$ ;  $\frac{n_2 + n'_2}{2}$  және т.с.

8. Осы мәндерді индикатордың бір бөлігінің құнына көбейтіп  $Z = 10^{-5}$  м

9-кестеге  $\lambda$  иілу деформациясының майысу (ығысу) жебесі ретінде енгіземіз.

Әр жүктің салмағы  $P = 9,8$  Н.

9-кесте – Юнг модулін анықтау

№	$b$ (м)	$h$ (м)	$J$ (м <sup>4</sup> )	$F$ (Н)	$l$ (м)	$x$ (м)	$n_i$	$n'_i$	$\langle n_i \rangle$	$Z$	$\lambda$ (м)	$E_i$ (Па)	$\bar{E}$ (Па)	$\Delta E_i$ (Па)

9. Юнг модулін келесі өрнекпен анықтаймыз:

$$E = \frac{F \cdot l^3}{2 \cdot \lambda J} \left( 1 - 2 \frac{x}{l} + \frac{x^2}{l^2} \right) \quad (5.4)$$

Тәжірибені индикатор мен платформаның екі жағыдайы үшін қайталап, юнг модулінің мәндерін салыстырамыз.

10. Қателіктерді тура өлшемдер әдісімен есептеп, нәтижені келесі түрде көрсетеміз:

$$E = \bar{E} \pm \Delta E$$

#### 5.4 БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАР

1. Қандай өзара әсерлер түрі бар?
2. Деформация дегеніміз не? Деформация түрлері.
3. Серпімді деформация қандай заңға бағынады?
4. Абсолюттік және салыстырмалық ұзындық дегеніміз не?
5. Нормаль кернеу дегеніміз не?
6. Юнг модулі оның физикалық мағынасы.
7. Берілген жұмыста қандай деформация түрі қарастырылады?

## ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 6.

### КӨЛБЕУ МАЯТНИК

*Жұмыстың мақсаты:* Тербеліс үйкеліс күшін көлбеулік маятник әдісімен зерттеу.

*Тапсырма:* Берілген тақырыптың теориясын талқылап, тәжірибені орындап, есептеп, бақылау сұрақтарға жауап дайындап жұмысты қорғау.

*Құрал жабдықтар:* FPM-07 көлбеу маятник қондырғысы.

#### 6.1 ӘДІСТІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗІ

Ұзын жіңішке жіпке ілінген шарды тепе-теңдік күйінен  $\alpha$  бұрышқа ауытқытып, қоя берейік. Шар тепе-теңдік күйінің маңында тербеледі. Тербелістің өшуіне қатысты үйкеліс күші мен үйкеліс коэффициентін анықтауға болады. Тербелістің өшуін тәжірибе жүзінде зерттейік. Жазықтықты горизонтқа  $\beta = 30^\circ$  бұрыпен орналастырып, шарды  $\alpha$  бұрышқа ауытқытсақ, онда тербеліс амплитудасы 10 толық тербелістен кейін шамамен  $2^\circ = 3,5 \cdot 10^{-2}$  радианға кемиді.

Тербеліс амплитудасын  $\delta$  тербеліс үйкеліс коэффициентімен байланыстыратын формуланы қорытып шығарайық. Шар жазықтық бойымен тербелгенде үйкеліс күші жұмыс жасайды. Істелген жұмыс шардың толық энергиясын кемітеді. Толық энергия кинетикалық энергия мен потенциалдық энергияның қосындысына тең. Маятниктің тепе-теңдік күйден максимал ауытқығанда жылдамдығы нольге тең болады, яғни оның кинетикалық энергиясы да нольге тең. Бұл нүктелерді бұрылу нүктелері дейміз, себебі маятник осы нүктелерде тоқтап, бұрылып кері қозғалады. Сондықтан бір бұрылу нүктесінен екінші бұрылу нүктесіне дейінгі қозғалыста потенциалдық энергия кеміп, үйкеліс күшінің істеген жұмысына тең болады.

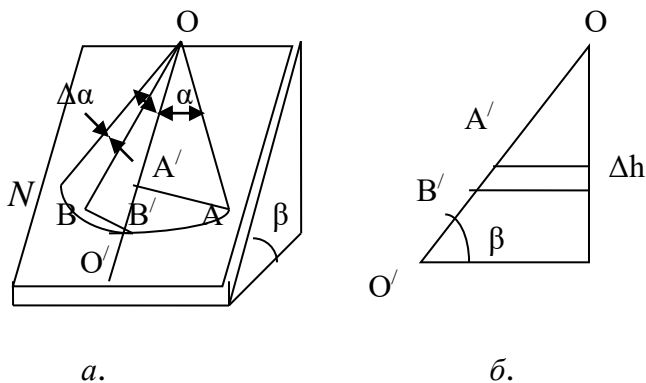
Суретте А нүктесін бұрылу нүктесі деп қарастырайық (сурет 25 а). Маятник  $OO'$  осінен  $\alpha$  бұрышқа ауытқысын. Егер үйкеліс күші болмаса, онда маятник жарты периодта  $N$  нүктесіне жетіп,  $\alpha$  бұрышқа ауытқыр еді. Бірақ үйкеліс күшінің әсерінен шар  $N$  нүктесіне жетпей В нүктесінде тоқтайды. Осы нүкте бұрылу нүктесі болып табылады. Бұл нүктеде маятниктің  $OO'$  оське қатысты ауытқу бұрышы  $\alpha - \Delta\alpha$  болады. Жарты периодта маятниктің бұрылу бұрышы  $\Delta\alpha$  бұрыш шамасына кемиді. В нүктесі А нүктесіне қарағанда төмен орналасқандықтан В нүктесінде потенциалдық энергия А нүктесіне қарағанда аз болады, маятник А нүктеден В нүктеге өткенде  $\Delta h$  биіктігін жоғалтады.

$\Delta\alpha$  бұрыш пен  $\Delta h$  биіктік арасындағы байланысты қарастырайық. Ол үшін А және В нүктелерін  $OO'$  оське проекциялап, оларға сәйкес (сурет 25 б)  $A'$  және  $B'$  нүктелерін аламыз. Кесіндінің ұзындығы

$$A'B' = l \cdot \cos(\alpha - \Delta\alpha) - l \cdot \cos \alpha,$$

мұндағы  $l$  – шеңбердің АВ доғасының радиусына тең жіп ұзындығы.





25-сурет – Көлбеу маятник

Бұл жағыдай үшін доғаның бұрышы  $2\alpha - \Delta\alpha$ , ал доғаның ұзындығы

$\Delta S = l \cdot (2\alpha - \Delta\alpha)$  болады.

$OO'$  осі горизонтқа көлбеу  $\beta$  бұрышпен орналасқандықтан  $\Delta l$  кесіндінің вертикаль оське проекциясы на вертикальную жоғалтылған  $\Delta h$  биіктікті береді.

$$\Delta h = A'B' \cdot \sin \beta = l \cdot \sin \beta \cdot |\cos(\alpha - \Delta\alpha) - \cos \alpha| \quad (6.1)$$

Маятниктің А және В нүктелер арасындағы потенциалдық энергиясының өзгерісі

$$\Delta W = mg \Delta h, \quad (6.2)$$

мұндағы  $m$  – шар массасы,  
 $g$  – еркін түсу үдеуі.

Енді үйкеліс күшінің істеген жұмысын анықтайық. Үйкеліс күші

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N, \quad (6.3)$$

мұндағы  $\mu$  – үйкеліс коэффициенті,

$N = mg \cdot \cos \beta$  - шардың жазықтыққа түсірген нормаль қысымы,

онда  $\Delta S = l(2\alpha - \Delta\alpha)$  жолдағы, яғни А және В нүктелері арасындағы үйкеліс күштің істеген жұмысы келесі өрнекпен анықталады

$$A_{\text{үйк}} = \mu mg \cdot \cos \beta \cdot (2\alpha - \Delta\alpha) \quad (6.4)$$

$\Delta W = A_{\text{үйк}}$  болғандықтан (6.1), (6.2) және (6.4) өрнектерінен

$$\mu \cdot \text{ctg} \beta = \frac{\cos(\alpha + \Delta\alpha) - \cos \alpha}{2\alpha - \alpha} \quad (6.5)$$

(6.5) өрнегін ықшамдап,  $\Delta\alpha$  өте кішкентай шама екенін ескеріп келесі

түрді аламыз:  $\mu \cdot \text{ctg} \beta = \frac{\Delta\alpha \cdot \sin \alpha}{2\alpha - \Delta\alpha}$ , осыдан

$$\Delta\alpha = 2\mu \cdot \text{ctg} \beta \frac{\alpha}{\sin \alpha + \mu \cdot \text{ctg} \beta}, \quad (6.6)$$

$\mu$  кішкентай шама десек, онда формуладағы  $\mu \cdot ctg \beta$  шамасын ескермеуге болады, олай болса  $\Delta\alpha = 2\mu \cdot ctg\beta \frac{\alpha}{\sin\alpha}$ . Кішкентай бұрыштар үшін  $\sin\alpha \approx \alpha$ , онда жарты периодта жоғалтатын бұрыштың шамасы келесі өрнекпен анықталады

$$\Delta\alpha = 2\mu \cdot ctg\beta. \quad (6.7)$$

Бір толық тербеліс үшін  $\Delta\alpha_1 = 4\mu \cdot ctg\beta$ , ал  $n$  тербеліс үшін  $\Delta\alpha_n = 4n\mu \cdot ctg\beta$  болады, онда

$$\mu = \frac{\Delta\alpha_n}{4n} R \cdot tg\beta = R \cdot tg\beta \frac{\alpha_0 - \alpha_n}{4n}, \quad (6.8)$$

мұндағы  $R$  – шардың радиусы,

$\alpha_0$  – маятниктің бастапқы ауытқу бұрышы (рад),

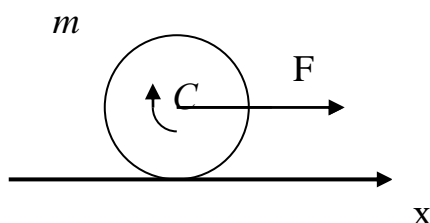
$\alpha_n$  – маятниктің  $n$  толық тербеліс жасап боғаннан кейінгі бұрышы (рад),

$n$  – маятниктің толық тербеліс саны,

$\beta$  – Маятниктің көлбеу бұрышы, маятниктің бүйіріндегі шкаладан алынатын (рад).

Тербеліс үйкеліс коэффициентінің физикалық мағынасын қарастырайық. Массасы  $m$  және инерция моменті  $I_c$  шар масса центрі арқылы өтетін оське қатысты тегіс жазықтықтың бойымен қозғалсын (сурет 26). ОХ осімен бағытталған  $F$  күшті масса центріне түсірейік. Жазықтықтың тарапынан денеге  $F_{үйк}$  күші әсер етеді. Шардың қозғалыс теңдеуі келесі өрнекпен өрнектеледі

$$m\dot{V}_c = F - F_{TP}, \quad (6.9)$$



26-сурет – Тербеліс үйкелісі

мұндағы  $V_c$  – масса центрінің жылдамдығы.

Дененің толық энергиясы  $W$  дененің ілгермелі қозғалысының кинетикалық энергиясынан  $\frac{1}{2}mV_c^2$ , айналмалы қозғалысының кинетикалық энергиясынан  $\frac{1}{2}I_c\omega^2$  және  $\Pi(x)$

потенциалдық энергиясынан тұрады. Қозғалыс кезінде шар жазықтықпен әсерлеседі, бұл кезде әлсіз сырғанау байқалады, сондықтан оның механикалық энергиясы кемиді. Сырғанау жылдамдығы

$$u = V_c - \omega R, \quad (6.10)$$

егер  $u \ll V_C$ , онда энергияның өзгерісі үйкеліс күшінің қуатына тең болады.

$$\frac{d}{dt} \left[ \frac{1}{2} m V_C^2 + \frac{1}{2} \frac{I_C V_C^2}{R^2} + \Pi(x) \right] = -F_{тр} u. \quad (6.11)$$

Егер дене жазықтықтың бойымен  $u$  жылдамдықпен сырғанаса, онда үйкеліс күші жұмыс істеп, жүйенің толық энергиясын азайтады.

Тербеліс үйкеліс күші  $F_{тр.кач.} = F_{тр} \frac{u}{V_C}$ , мұндағы  $F_{тр}$  – сырғанау үйкеліс күші. Ондай болса, тербеліс үйкеліс күші сырғанау үйкеліс күшінің сырғанау жылдамдығының дене масса центрі жылдамдығына қатынасының көбейтіндісіне тең. Көпшілік жағыдайда тербеліс үйкелісі дененің жылдамдығына тәуелсіз. Бұл жағыдайда сырғанау жылдамдығы  $u$  дененің жылдамдығына тура пропорционал болады:  $u = \varepsilon V_C$ , мұндағы  $\varepsilon$  – пропорционалдық коэффициенті және  $\varepsilon \ll 1$ . Сырғанау үйкеліс күші  $F_{тр} = \mu N$ , мұндағы  $\mu$  – сырғанау үйкеліс коэффициенті,  $N$  – нормаль қысым күші. Онда  $F_{тр.кач.} = \varepsilon \mu N = \delta N$ , мұндағы  $\delta = \varepsilon \mu$  – тербеліс үйкеліс коэффициенті.  $F_{тр.кач.}$  – тұрақты шама.

Көлбеу маятникке әсер ететін күштерді қарастырайық (сурет- 27).

Ауырлық күшін  $mg$  екі құраушыға жіктеледі, жазықтыққа перпендикуляр және параллель бағыттарға:

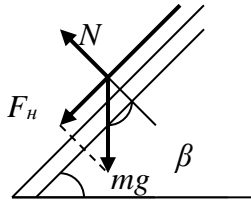
$$F_{\perp} = N = mg \cdot \cos \beta, \quad F_{\parallel} = mg \cdot \sin \beta. \quad (6.12)$$

$F_{\parallel}$  (сурет 28) күшті де екі құраушыға жіктеледі, жіптің бойы мен оған перпендикуляр бағыттарға.  $T = F_{\parallel} \cdot \cos \alpha$  және  $F = F_{\parallel} \cdot \sin \alpha$ . Сонымен қайтарушы күш скаляр түрде келесі өрнекке тең

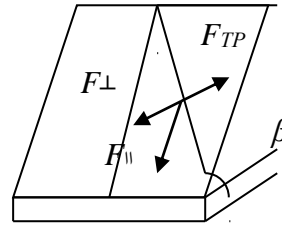
$$F = - mg \cdot \sin \beta \cdot \sin \alpha, \quad (6.13)$$

мұндағы  $\alpha = x/l$ ,

$x$  – тепе-теңдік күйден санағандағы доға ұзындығы, ал минус таңбасы қайтарушы күштің ығысуға қарсы бағытталғанын білдіреді.



27 сурет – Көлбеу маятникке әсер етуші күштер



28-сурет – Күштер проекциялары

Шарға үйкеліс күші әсер етеді

$$F_{\text{үйк}} = \mu N = \mu mg \cdot \cos \beta \quad (6.14)$$

оның бағыты  $u$  сырғанау жылдамдығының бағытына тәуелді болады. Егер шар оңнан солға қозғалса ( 28-суреттегідей), онда  $V_C = l\dot{\alpha} < 0$ ,  $u = \varepsilon V_C < 0$  және  $F_{\text{үйк}} > 0$ . Егер  $u > 0$ , онда  $F < 0$ . Маятниктің қоғалыс теңдеуі

$$m^* V = F - F_{\text{тр.кач}}, \text{ где } m^* = m + I/R^2$$

$$m^* l \ddot{\alpha} = -mg \cdot \sin \beta \cdot \sin \alpha \pm \delta \cdot mg \cdot \cos \beta. \quad (6.15)$$

Шар оңнан солға қозғалса «+» таңба, ал солдан оңға қозғалса «-» таңба алынады.

Маятникті оңға  $\alpha$  бұрышқа ауытқытып қоя берейік. Шар қашан домалайды? Ол үшін  $\ddot{\alpha} < 0$  болу керек немесе (6.15) теңдеуінен шығатын  $\sin \alpha > \delta \cdot \text{ctg} \beta$  шарт кезінде. Маятниктің тербелісі бірден тоқтамау үшін және тербеліс саны көп болу үшін ауытқу  $\alpha$  бұрыштары  $\delta \cdot \text{ctg} \beta$  шамасынан көп үлкен блу керек.

Кішкентай (малый) тербеліс қарастырайық. Онда  $\sin \alpha \approx \alpha$ , бірақ бір мезгілде  $\alpha \gg \delta \cdot \text{ctg} \beta$ . Ондай болса (6.34) өрнегін келесі түрде жазуға болады:

$$\ddot{\alpha} + \omega_0^2 \alpha = \pm \frac{m}{m^*} \delta \frac{g}{l} \cos \beta, \quad (6.16)$$

мұндағы  $\omega_0 = \sqrt{\frac{m}{m^*} \frac{g}{l} \sin \beta}$  - тербеліс жиілігі.

Тербеліс периоды үшін  $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$  келесі өрнекті аламыз:  $T^2 = T_0^2 \frac{m^*}{m \cdot \sin \beta}$ ,

мұндағы  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ . Шардың массасы  $m$  инерция моменті  $I_u = \frac{2}{5} mR^2$ ,

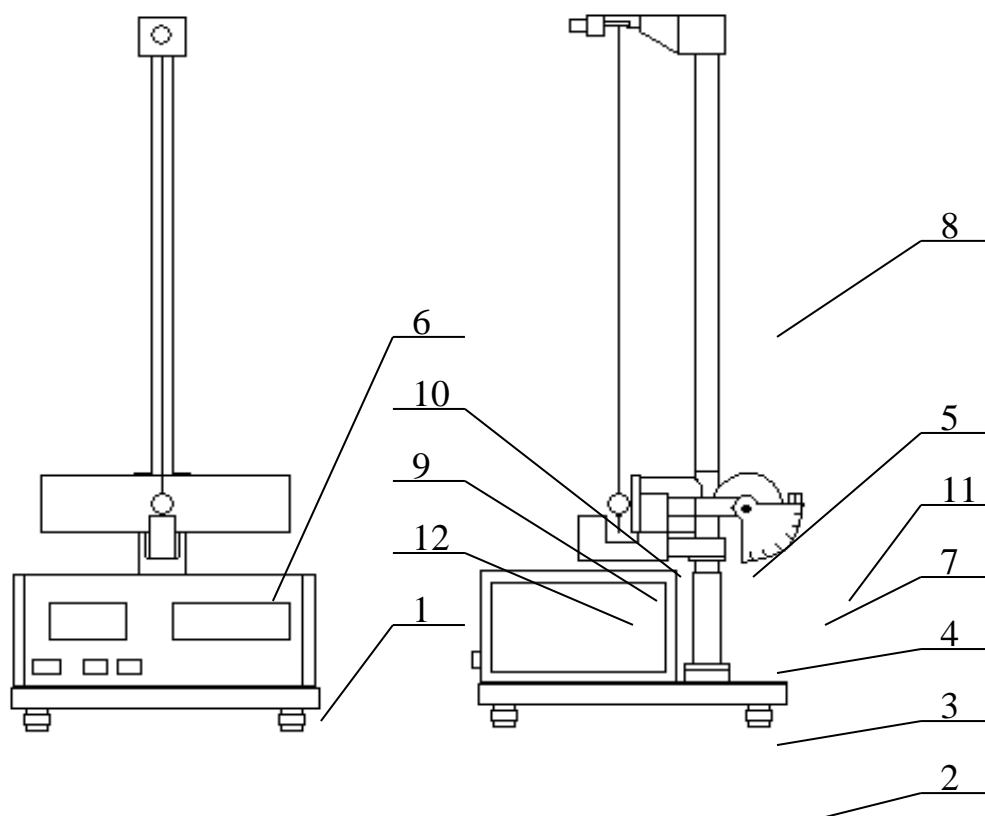
мұндағы  $R$  - шар радиусы болса, онда  $\frac{m^*}{m} = 1 + \frac{2}{5} = 1,4$  сондықтан

$$T^2 = 1,4 \frac{T_0^2}{\sin \beta} \quad (6.17)$$

Бұл тәуелділікті эксперимент жүзінде тексереміз.

## 6.2 ЭКСПЕРИМЕНТТІК ҚОНДЫРҒЫ

«Көлбеу маятник» қондырғысы 29- суретте көрсетілген.



Сурет 29 – Көлбеу маятник. FPM – 07 қондырғының жалпы түрі.

Қондырғының (2) негізіне миллисекундомер (1), труба (3) бекітілген. Трубаға корпус (4) кронштеймен (5) қосылып орналастырылған ал кронштейнге шкалалар (6) және (7), колонка (8) бекітілген. Колонкаға жіке шар пластинкасымен (9) ілінген. Маятникті ауытқыту үшін айналдырғыш (11) қолданылады. Кронштейнге (5) миллисекундомермен қосылған фотоэлектрлік датчик (12) бекітілген. Көлбеу маятниктің тербелісі кезінде жарық ағыны үзіліп, осының нәтижесінде транзистор

тізбегінде пайда болған электр импульстары шығыста миллисекундомерге беріледі.

### 6.3 ЖҰМЫСТЫ ОРЫНДАУ ТӘРТІБІ

1. Қондырғыны желіге қосыңдар. Барлық өлшеуіш индикаторлар нөлді көрсетіп, Фотоэлектрлік датчиктің шамы жану керек.
2. Көлбеу жазықты  $\beta = 20^\circ$  бұрышқа бекітіңдер.
3. Шарды  $\alpha = 5^\circ$  бұрышқа ауытқытып, жаймен қоя беріңдер. Шардың толық 10 тербелісінің уақытын анықтаңдар. Ол үшін счетчикте 9 саны жарқырағанда «стоп» клавишн басыңдар. 10 толық тербелістен кейінгі бұрышты өлшеңдер. Нәтижелерді 12-кестеге түсіріңдер. Өлшеуді 4 рет қайталаңдар.

12-кесте – Домалау (качения) үйкеліс коэффициентін анықтау

$\beta^\circ$	$\alpha^\circ$	№	t,(с)	T, (с)	$\alpha_{10}^\circ$	$\delta$	t,(с)	T, (с)	$\alpha_{10}^\circ$	$\delta$
20	5	1								
		2								
		3								
		4								
30	5	1								
		2								
		3								
		4								
40	5	1								
		2								
		3								
		4								
50	5	1								
		2								
		3								
		4								

$$\operatorname{tg} 20^\circ = 0,364 \quad \operatorname{tg} 30^\circ = 0,577 \quad \operatorname{tg} 40^\circ = 0,839 \quad \operatorname{tg} 50^\circ = 1,192$$

4. Көлбеу жазықты  $\beta = 30^\circ$  бұрышқа бекітіңдер. Алдыңғы жағыдай сияқты өлшеуді 4 рет қайталаңдар.

5. Сол сияқты  $\beta = 40^\circ$  және  $\beta = 50^\circ$  бұрыштары үшін өлшеуді қайталап, нәтижелерді кестеге түсіріңдер.

6.  $\delta = R \cdot \operatorname{tg} \beta \frac{\alpha_0 - \alpha_n}{4n}$  формуласымен домалау (качения) үйкеліс коэффициентін анықтаңдар.

7. Экспериментті басқа шар үлгісі үшін қайталаңдар.

8. Әр түрлі үлгілердің  $\bar{\delta}$  шамаларын салыстырыңдар.

9.  $T^2 = 1,4 \frac{T_0^2}{\sin \beta}$  тәуелділіктің дұрыстығына көз жеткізіңдер.

#### 6.4 БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Тербеліс, оның түрлері.
2. Домалау үйкеліс коэффициентінің физикалық мағынасы.
3. Маятниктің қозғалыс теңдеуін жазыңдар.
4. Көлбеу маятникке әсер ететін күштерді көрсетіңдер?
5. Физикалық және математикалық маятниктер. Олардың тербеліс периодтары.

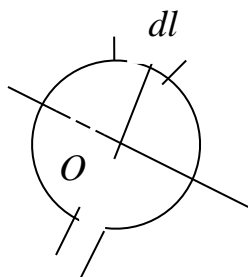
## ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 7.

### ЖЕРДІҢ МАГНИТ ӨРІСІ ИНДУКЦИЯСЫНЫҢ ГОРИЗОНТАЛЬ ҚҰРАУШЫСЫН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты – жердің магнит өрісі индукциясының горизонталь құраушысын анықтау.

#### 7.1 ТЕОРИЯЛЫҚ КІРІСПЕ

Өткізгішті сақина қылып тұйықтайық. Ток радиусы  $R$  шеңбер бойымен айналады. Айналмалы токтың центрінде  $O$  нүктесіндегі магнит өрісінің индукциясын анықтайық. Барлық ток элементтері  $R$  радиусқа перпендикуляр.  $\beta = \frac{\pi}{2}$ ,  $\sin \beta = 1$  радиус пен ток элементі арасындағы бұрыш. Магнит өрісі осьтің бойымен бағытталады. Био-Савар-Лаплас заңы бойынша



18 сурет

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} dl \quad (7.1)$$

Ток күші  $I$  және радиус  $R$  – тұрақты шамалар болғандықтан интеграл алдына шығарамыз  $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \int dl$ . Егер контур бойынша барлық  $dl$  элементар кесінділерді қоссақ, онда  $2\pi R$  шеңбердің ұзындығын аламыз

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \cdot 2\pi R = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (7.2)$$

Сонымен айналмалы токтың центріндегі магнит өрісінің индукциясы

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (7.3)$$

Көпшілік жағыдайда бір орам емес, көп тоғы бар орамның туғызатын магнитөрісі қарастырылады, яғни соленоидтың магнит өрісі. Соленоид – ол көп тоғы бар  $n$  орам санынан тұратын цилиндрлік катушка. Немесе соленоид – ол ортақ осі бар тізбектей қосылған айналмалы тоқтар жүйесі. Өріс  $n$  орамнан бір жаққа бағытталған, сондықтан

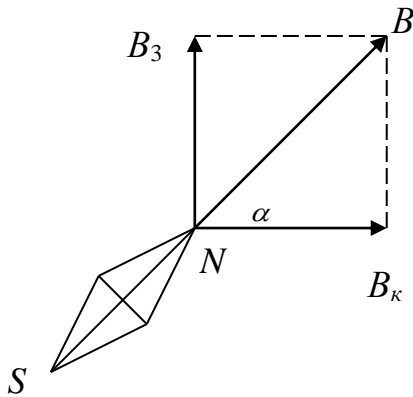
$$B = \frac{\mu_0 In}{2R} \quad (7.4)$$

#### 7.2 ЭКСПЕРИМЕНТТІК ҚОНДЫРҒЫ

Қондырғы тангенс-гальванометрден, тұрақты ток көзінен, амперметрден, реостаттан, токты қосатын кілттен тұрады.



Тангенс-гальванометр  $n$  орамнан тұратын радиусы  $R = 0,15$  м жазық вертикаль катушка болып табылады. Катушканың центрінде горизонталь жазықта компас орналасқан, катушкада ток жоқ кезде компастың стрелкасы Жердің магниттік меридианасымен сәйкес келеді. Катушканы вертикаль осьтің маңында айналдыра отыра стрелканы Жердің



меридианасымен сәйкес келтіруге болады. Егер катушкадан ток жіберетін болсақ, онда стрелка белгілі бір  $\alpha$  бұрышқа ауытқиды. Ол магнит стрелкасына бір мезгілде екі магнит өрісі әсер ететінімен түсіндіріледі: Жердің магнит өрісі  $B_{ж}$  және тоғы бар катушканың магнит өрісі  $B_{к}$ . Осы магнит өрістерінің әсерінен стрелка тепе-теңдік күйге келіп,  $B_{ж}$ , және  $B_{к}$  екі вектордың теңәсер немесе қорытынды векторының бағытымен сәйкес келеді, яғни

компастың  $NS$  (солтүстік-оңтүстік) бағытына сәйкес келеді (сурет 19).

Катушканың магнит өрісінің магниттік индукциясы  $B_{к}$  Био-Савар-Лаплас заңы бойынша айналмалы токтың центрі үшін есептеледі:

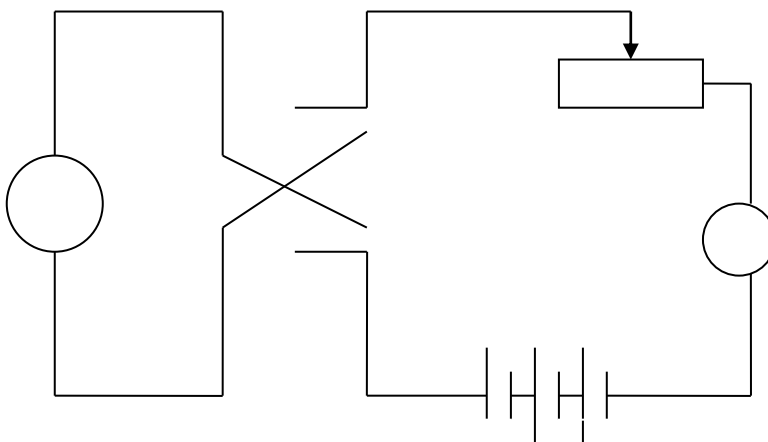
$$B_{к} = \frac{\mu_0 J n}{2R}, \quad (7.5)$$

мұндағы  $I$  – ток күші,  $R$  – орамның радиусы,  $n$  – катушка орамының саны,

$\mu_0$  - магниттік тұрақты, мәні  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м тең.

$$B_{ж} = \frac{B_{к}}{tg\alpha_{ср}}, \quad B_{ж} = \frac{\mu_0 n I}{2R \cdot tg\alpha_{ср}}. \quad (7.6)$$

Жердің магнит өрісін өлшейтін қондырғының электр схемасы суретте көрсетілген.



$G$  – тангенс-гальванометр,  $A$  – амперметр,  $K$  – екіполюсті кілт,  $R$  – реостат,  $E$  – тұрақты ток көзі.

Сурет 4-Қондырғының электр схемасы

### 7.3 ЖҰМЫСТЫ ОРЫНДАУ ТӘРТІБІ

- 1) Тангенс-гальвонометр мен компасты айналдыра отырып, катушканың жазықтығы мен «0» - дік мәнді көрсететін компастың стрелкасына сәйкес келтіреміз.
- 2) Катушканы 50 орамға, ток көзіне қосамыз. Токтың 0,1, 0,2 және 0,3 А мәндеріндегі компастың ауытқу бұрыштарын өлшеп, кестеге түсіреміз.
- 3) К кілттің көмегімен токтың бағытын өзгертіп токтың 0,1, 0,2 және 0,3 А мәндеріндегі компастың ауытқу бұрыштарын қайтадан кестеге түсіреміз.
- 4) Катушканы 125 орамға жалғап, өлшеулерді сол ток мәндері үшін қайталаймыз және де токтың бағытын өзгертеміз. Өлшемдерді кестеге түсіреміз.

Кесте 7.

$n$	$I, A$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_{op}$	$tg\alpha_{opt}$	$R, m$	$B_{ж}, Tл$	$B_{ж, орт}, Tл$	
50	0,1					0,15			
	0,2								
	0,3								
125	0,1								
	0,2								
	0,3								
150	0,1								
	0,2								
	0,3								

- 5) (7.5) өрнегімен  $B_{ж}$  мәнін есептейміз
- 6) Ауытқу бұрышы  $\alpha$  – ның ток күші  $I$  – ге тәуелділік графигін салыңыз.
- 7) Өлшемдер қателігін анықтаңыз.

### 7.4 БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

- 1.Магнит өрісінің негізгі қасиеттері мен магнит өрісін алу тәсілдері.
- 2.Жердің магнит өрісі неге байланысты?
- 3.Магнит өрісінің магниттік индукциясы,кернеулігі және олардың байланысы.
4. Био-Савар –Лаплас заңы.
- 5.Айналмалы ток центріндегі магнит өрісі үшін Био-Савар-Лаплас формуласы.

## ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 8.

### АМПЕР ЗАҢЫН ТЕКСЕРУ

*Жұмыстың мақсаты* - Ампер заңының дұрыстығын эксперимент жүзінде тексеру.

#### 8.1 ТЕОРИЯЛЫҚ КІРІСПЕ

Біртекті магнит өрісінде  $B$  магниттік индукция шамасы, бағыты бойынша тұрақты. Бұл шаманың тұрақтылығын ток күшіне тәуелді маятниктің тербеліс периодын өлшеу арқылы тексеруге болады. Магниттің полюстерінің арасына ток көзіне қосылған рамка орналастырылады. Осы рамканы маятник деп қабылдап, оның тербеліс периодын есептейді және Ампер заңын келесі формула түрінде қолданады:

$$F = \frac{4\pi^2}{r} j \left( \frac{1}{T^2} - \frac{1}{T_0^2} \right) \quad (8.1)$$

мұндағы  $j$  – ток тығыздығы,

$T_0$  – ток жоқ кездегі маятниктің тербеліс периоды,

$T$  – рамкадан ток өткен кездегі маятниктің тербеліс периоды,

$r$  – аспа сызығынан өткізгішке дейінгі арақашықтық.

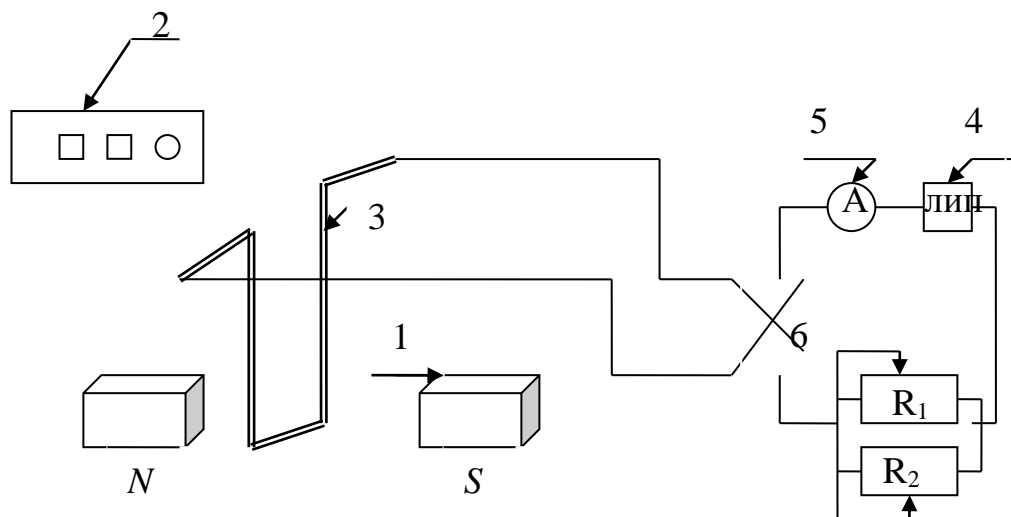
Тәжірибеден  $j$ ,  $l$ ,  $r$  шамалар тұрақты және белгілі. Магнит өрісінің индукциясын келесі өрнекпен өрнектейміз

$$B = \frac{4\pi^2 j}{I \cdot lr} \left( \frac{1}{T^2} - \frac{1}{T_0^2} \right) = const \quad (8.2)$$

Берілген формулада мына өрнекті тексеру керек

$$\frac{1}{I} \left( \frac{1}{T^2} - \frac{1}{T_0^2} \right) = const \quad (8.3)$$

## 8.2 ЭКСПЕРИМЕНТТІК ҚОНДЫРҒЫ



Сурет 21- Қондырғының схемасы

Қондырғы үш бөліктен тұрады.

- 1 – электромагнит В-24м-2 ток көзі, 2 – қозғалмалы тоғы бар рамка, 3 – секундомер.

## 8.3 ЖҰМЫСТЫ ОРЫНДАУ ТӘРТІБІ

- 1) Кілтті 6 нөлдік «0» күйге, реостаттарды орта күйге келтіріп, қондырғыны ток көзіне қосамыз.
- 2) Рамканы тепе-теңдік қалыптан ауытқытып, 0,01 с дәлдікпен толық 10 тербеліс уақытын анықтаймыз.  $T_0 = \frac{t}{n}$  формуласымен  $T_0$  тербеліс периодын анықтандар, мұндағы  $n$  –  $t$  уақыттағы тербеліс саны. Тәжірибені 5 рет қайталап, нәтижені кестеге түсіріңдер.

Кесте 8

№ тәжір	$n$ тербеліс саны	$t$ тербеліс уақыты	$T_0$ период	$T_{0 \text{ орт}}$
1	10			
2				
3				
4				
5				

- 3) Электромагнитті ток көзіне қосып, 2А ток шамасын қойындар.
- 4) Кілтті 6 бірінші «1» күйге «прямой ток» тура токқа қойындар. Бірінші реостатпен 0,25 А токтың шамасына қойып, екінші реостатпен нақтылаңдар. 10 толық тербелістің уақытын өлшеп,  $T_1$  тербеліс периодын есептендер. Тәжірибені 5 рет қайталаңдар.
- 5) Кілтті 6 «обратный ток» кері ток күйіне қойып, 10 толық тербелістің уақытын өлшеп,  $T_2$  тербеліс периодын есептендер. Тәжірибені 5 рет қайталаңдар.
- 6) Тәжірибені токтың 0,5 А, 0,75 А және 1,0 А шамалары үшін қайталаңдар, нәтижелерді кестеге түсіріңдер

Кесте 9

№ тәжір	I, А	n	Тура ток (Прямой ток)			Кері ток (Обратный ток)		
			$t_1, c$	$T_1, c$	$T_{1орг}$	$t_2, c$	$T_2, c$	$T_{2орг}$
1	0,25	10						
2								
3								
4								
5								
1	0,5							
2								
3								
4								
5								
1	0,75							
2								
3								
4								
5								
1	1							
2								
3								
4								
5								

- 7) Тура ток үшін  $\frac{1}{I} \left( \frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T_0^2} \right)$  шаманы, ал кері ток үшін  $\frac{1}{I} \left( \frac{1}{T_0^2} - \frac{1}{T_2^2} \right)$  шамасын анықтаңдар және нәтижелерді кестеге түсіріңдер.

Кесте 10

I, А	Тура ток (Прямой ток)	Кері ток (Обратный ток)
	$\frac{1}{I} \left( \frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T_0^2} \right)$	$\frac{1}{I} \left( \frac{1}{T_0^2} - \frac{1}{T_2^2} \right)$
0,25		
0,50		
0,75		
1,0		

#### 8.4 БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

- 1) Магнит өрісінің негізгі сипаттамалары ( $B, H, \mu$ ). Олардың өлшем бірліктері.
- 2) Био-Савар-Лаплас заңы.
- 3). Ампер күші. Сол қол ережесі.
- 4) Лоренц күші.
- 5) Электрондар шоғы (пучок) төмен ауытқуы үшін магниттік индукция  $B$  қалай бағытталуы керек? Магнит полюстерінің арасындағы электрондардың қозғалыс траекториясының қисықтық радиусын қалай анықтаймыз?

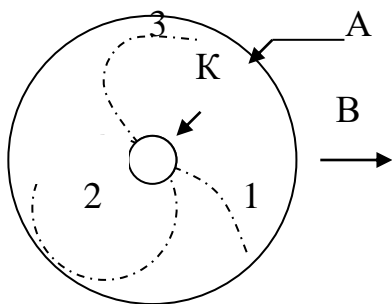
## ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 9. ЭЛЕКТРОННЫҢ МЕНШІКТІ ЗАРЯДЫН АНЫҚТАУ

*Жұмыстың мақсаты* – электрон зарядының массаға қатынасын өлшеу.

### 9.1 ӘДІСТІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕМЕСІ

Өзара перпендикуляр электр және магнит өрістеріндегі электрондардың қозғалыстары магнетрондарда (жиіліктері өте жоғары 300 ден  $3 \cdot 10^5$  МГц аймақты электромагниттік тербеліс генераторы) қолданылады. Электронның меншікті зарядын анықтау үшін цилиндр тәрізді анодты және цилиндр осінде орналақан катодты магнетрон пайдаланылады. Магнетрон соленоид немесе электромагнит тудыратын сыртқы магнит өрісінде орналасқан. Қыздырылған катодтан шыққан электрондарға бір біріне перпендикуляр  $E \perp B$  электр және магнит өрістері әсер етеді.

Магнит өрісін алып тастасақ, онда электрондар катодтан анодқа қарай радиус бойымен қозғалып, магнетронда анодтық тоқтың пайда болуына әкеледі. Өлсіз магнит өрісінде траектория аз қисайып, электрон анодқа түседі (сур.22). Магниттік индукцияның шамасы өскен сайын траекторияның қисаюы күшиеді және индукцияның белгілі бір мәнінде, яғни оны критикалық деп атасақ  $B = B_{кр}$ , онда траектория бір нүктеде анодпен жанасады.  $B = B_{кр}$  кезде анодтық ток күрт азаяды.



22 сурет

Электрондар анодқа жету үшін электромагниттік өріске өте көп 90% дейін энергиясын береді, ал ол дегеніміз

магнетронның п.э.к-нің өте жоғары екенін білдіреді. Критикалық режимде траекторияның қисықтық радиусы цилиндрлік анодтың жартысына тең болады, сондықтан :

$$\frac{e}{m} = \frac{8u}{B_{кр}^2 R_a^2}, \quad (9.1)$$

мұндағы  $R_a$  – анодтың радиусы (ішкі),

$U$  – анодтағы кернеу,

$B_{кр}$  – анодтық ток күрт азаятын соленоид магнит өрісінің критикалық мәні.

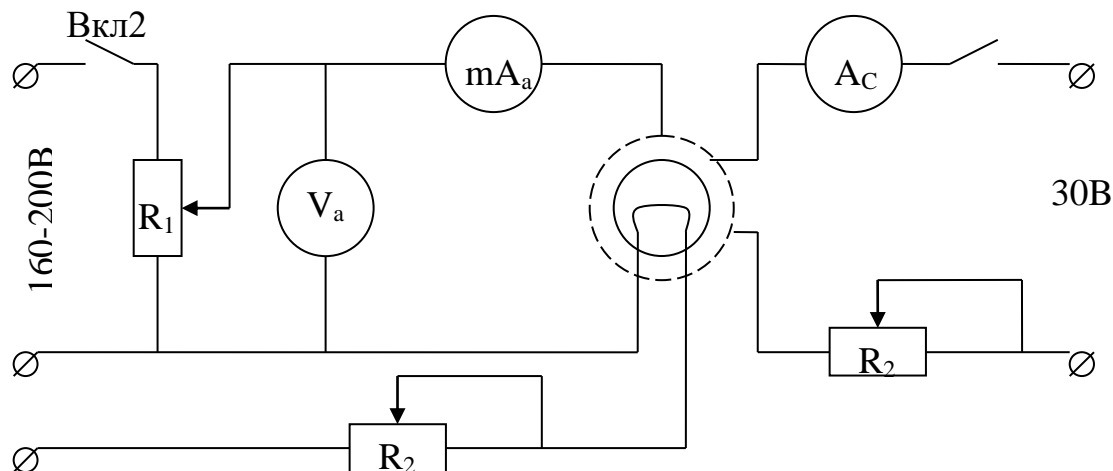
$B = \mu\mu_0 H$ , ал  $H = nI_C$  ескере отырып, келесі өрнекті аламыз

$$\frac{e}{m} = \frac{8}{\mu^2 \mu_0^2 n^2 R_a^2} \cdot \frac{U}{I_{2кр}^2} \quad (9.2)$$

мндағы  $n$  – соленоидтың бірлік ұзындығына келетін орамдар саны.

## 9.2 ЭКСПЕРИМЕНТТІК ҚОНДЫРҒЫ

Қондырғының негізгі бөлігі болып магнетрон -  $C$  соленоидтың ішіне орналастырылған лампалы анод  $L$  табылады. Катодтан шыққан электрондар бірмезгілде өзара перпендикуляр электр (катод пен анодтың арасында) және магнит (соленоид туғызған) өрістерінің әсерлеріне тап болады. Қондырғының схемасы суретте көрсетілге.



Сурет 23- Қондырғының схемасы

Қондырғыда үш өзалдына тізбек бар.

- 1) Соленоид  $C$ , ток көзі (30В), амперметра  $A$  тізбегі.
- 2) Қылды қыздыратын ток көзі (1,2В), вольтметр  $V_n$ , қылды реттейтін  $R_2$  – қылдың тұрақты кернеуін ұстау үшін.
- 3) Анодтық тізбек кернеуді реттейтін кілттен, анодтық кернеуді жәймен реттейтін потенциометр  $R_1$ , анодтық кернеуді өлшейтін вольтметр  $V_a$ , анодтық токты өлшейтін миллиамперметр  $mA$  –ден тұрады. Вкл.2 анодтық тізбекті қосатын кілт. Әр тізбектің ток көздері қондырғының ток көзінің блогында біріккен.

## 9.3 ЖҰМЫСТЫ ОРЫНДАУ ТӘРТІБІ

Қондырғымен мұқият танысып, талдаңыздар. Диодтың анодтық тоғының соленоидтың тоғына тәуелділігін алыңыздар.

Ол үшін: 1) Өлшеуіш құралдардың шектерін  $V_a$ -300В, mA- 40А,  $A_c$ -1 А мәндерінде орнықтырыңыз.

2) Қондырғыны ток көзіне қосыңыз және Вкл.1 қосылғышымен өлшеу тізбегін қосыңыз. Лампаның катоды қызғанша бір шама күтіңіз, қылдың регуляторы  $R_2$  мен  $V_n$  стрелканы бақылау нүктесінде орнатыңыз.

3) Вкл.2 қосылғышпен анодтық кернеуді қосыңыз.Потенциометр  $R_1$  мен анодтық кернеудің мәнін 200В қойыңыз. Бұл мәнді әрбір келесі өлшем үшін тұрақты етіп ұстау керек.



4) Вкл.3 қосылғышпен соленоиды қосыңыз. Регулятор  $R_3$  пен соленоидтың тоғының мәнін  $0,35A$  орнықтырыңыз және әр  $0,05A$  сайын анодтық токтың мәнін өлшеп, нәтижені 11- кестеге жазыңыз (қыл мен анодтың кернеулері өзгермеу керек).

5) Анодтық кернеудің  $180$  және  $160V$  мәндері үшін өлшемді қайталаңыз.

11-кесте

$U, V$	$I_{col}$	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
200	$I_{a1}$											
180	$I_{a2}$											
160	$I_{a3}$											

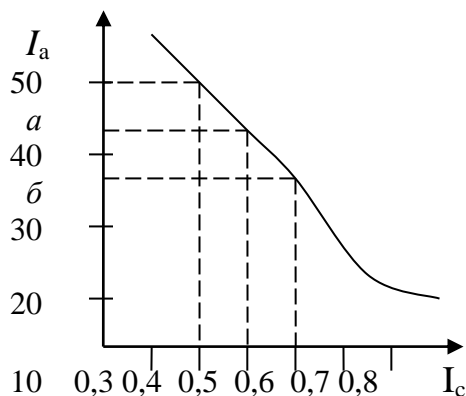
Критикалық токтың мәнін анықтау үшін:

а) Әр анодтық кернеу  $U_a$  үшін абсцисса осіне  $I_c$  мәндерін, ал ордината осіне  $I_a$  мәндерін салып,  $I_a = f(I_c)$  тәуелділік графигін салыңыз.

б) Ең үлкен анодтық токтың  $I_a$  мәніне сәйкес графиктен қисықтың бөлігін анықтаңдар. Ол үшін абсцисса осін  $\Delta I_c = 0,05A$  тең бөліктерге бөліп, оларға сәйкес  $\Delta I_a$  анықтаңдар. Суретте ең үлкен  $\Delta I_a$  сәйкес  $ab$  бөлігі.

Осы бөліктің ортасындағы  $C$  нүктесін абсцисса осіне проекциялап,  $I_{c\text{ кр}}$  критикалық токтың шамасын көрсетеді. Критикалық токтың шамасын  $I_{c\text{ кр}}$

кестеге түсіріңдер.



в) (9.2) формуласымен электронның меншікті зарядын анықтаңдар. Мұнда  $\mu = 1$  – ауаның магниттік өтімділігі,  $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магниттік тұрақты,  $R_a$  – анодтың радиусы (ішкі),  $R_a$  мәні қондырғыда көрсетілген.

12-кесте

$U_a, V$	$I_{c\text{ кр}}, A$	$\frac{e}{m}$	$\left(\frac{e}{m}\right)_{cp}$	$\Delta \frac{e}{m}$	$\Delta \left(\frac{e}{m}\right) / \left(\frac{e}{m}\right), \%$
200					
180					
160					

7) Шаманың орташа мәнін аықтап, кестеге түсіріндер. Салыстырмалық қателігін анықтаңдар  $\Delta\left(\frac{e}{m}\right)/\left(\frac{e}{m}\right)$ , меншікті зарядтың нақты мәні  $1,76 \cdot 10^{11}$  Кл/кг деп қабылдап.

#### 9.4 БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

- 1) Бөлшектің меншікті заряды дегеніміз не? Қандай шамалар оған тәуелді?
- 2) Лоренц күші неге әсер етеді, формуласы қандай және бағытын қалай анықтаймыз?
- 3) Магнетрондағы электрон қозғалысын түсіндіріндер.
- 4) Есептеу формуласын қорытып шығарыңдар.

## ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС № 10.

### СОЛЕНОИД ОСІНДЕГІ МАГНИТТІК ИНДУКЦИЯНЫ АНЫҚТАУ

*Жұмыс мақсаты* – болат өзегі жоқ соленоид осінің бойындағы магнит өрісін зерттеу.

#### 10.1 ӘДІСТІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕМЕСІ

Соленоид – цилиндр пішінді орамдары бір бағытта оралған катушка,  $L > d$ , мұндағы  $L$  – соленоид ұзындығы,  $d$  – қарқастың ұзындығы.

Соленоидтың магнит өрісі әр орамның тудыратын магнит өрістерінің қосындысының нәтижесі болып табылады. Соленоид осіндегі магнит өрісінің индукциясы келесі формуламен анықталады:

$$B = \mu\mu_0 nI \quad (10.1)$$

мұндағы  $n$  – бірлік ұзындыққа келетін орам саны,

$\mu$  – заттың магнит өтімділігі,

$\mu_0$  – магнит тұрақтысы, сан мәні  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м тең,

$I$  – бірлік ұзындыққа келетін ампер – орам саны.

Соленоидтың ішінде өріс біртекті, ал шеттеріне қарай біртектілік бұзылады. Соленоидтарды стационарлық және импульсивтік күшті магнит өрісін алу үшін техникалық қондырғыларда кеңінен пайдаланады. Соленоидтарды есптеу үшін келесі үш факторды ескеру керек:

Бірінші қиыншылық – соленоидтарды қоректендіру үшін үлкен қуат қажет. Ол қуат  $P$  соленоид ішіндегі магниттік индукциямен келесі қатынаста

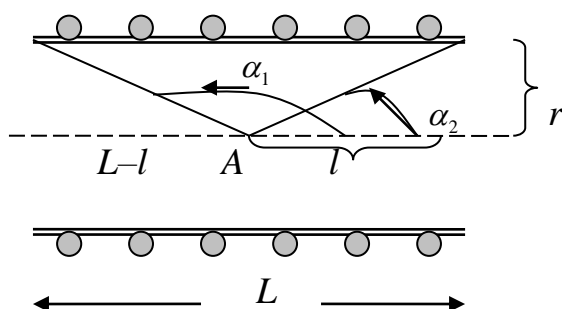
$$\frac{B}{\mu\mu_0} \approx 110 \sqrt{\frac{P}{r}} \quad (10.2)$$

Мұнда  $P$  – қуат, өлшем бірлігі мегаватт,  $r$  – соленоидтың ішкі радиусы, өлше бірлігі см. Өрістің индукциясын 10 есе өсіру үшін қуатты 100 есе өсіру қажет.

Екінші қиыншылық – қоректендіруге кететін қуаттың барлығы жылуға айналатындықтан соленоидтарды суыту жүйесі қажет. Бұл мақсавтта су құбырындағы су жарамсыз, себебі кедергі аз (коррозия, электролиз кедергі жасайды). Тазартылған су (дистиллированная вода) қысыммен соленоидтың суыту каналдарымен айдалынады. Суыту каналының оптимальдық диаметрі 2 мм. Мұндай каналдар саны 1000-ға жуық болу керек, ал ол дегеніміз технологиялық мәселені шешуде төтенше

қиындықтар тудырады.

Үшінші қиыншылық – пондеромоторлық күштердің салдарынан обмоткада пайда болатын үлкен кедергілерді жеңу. Шамамен 10 Тл өрісте



механикалық кернеулер мыстың беріктілік шегіне жақын.

Соленоидтың осінде жатқан  $A$  нүктеде магнит өрісін анықтайық (сур.25). Соленоид өлшемдері: ұзындығы  $L$ , орамдар радиусы  $r$ , бірлік ұзындыққа келетін орамдар саны  $n$ .

Ұзындығы шектелген соленоид өрісінің индукциясын келесі формуламен есептеуге болады:

$$B = \frac{\mu\mu_0}{2} nI (\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1),$$

$$(10.3)$$

мұндағы

$$\cos\alpha_2 = \frac{l}{\sqrt{l^2 + r^2}}$$

$$\cos\alpha_1 = \frac{L-l}{\sqrt{r^2 + (L-l)^2}}$$

(4.23) өрнегіне  $\cos\alpha_2$  және  $\cos\alpha_1$  мәндерін қойып және соленоид центрі үшін  $L-l=l$  ескеріп, келесі өрнекті аламыз:

$$B_{MAX} = \mu\mu_0 nI \frac{l}{\sqrt{L^2 + r^2}} \quad (10.4)$$

$$l = \frac{L}{2}, \quad B_{MAX} = \mu\mu_0 nI \frac{l}{\sqrt{L^2 + 4r^2}} \quad (10.5)$$

$L > r$  шарты үшін (4.24) өрнегі (4.25) өрнегіне ауысады. Соленоидтың екі шетінде өрістің индукциясы келесі формуламен анықталады

$$B = \frac{\mu\mu_0}{2} nI \frac{L}{\sqrt{L^2 + 4r^2}}, \quad (10.6)$$

яғни соленоидтың шеттерінде өріс екі есе азаяды центріне қарағанда.

Индукцияны өлшеудің ең қарапайым әдісі Фарадейдің электромагниттік индукция заңын пайдалануға негізделген. Егер өткізгішті кішкентай тұзақ түрінде гальванометрге тұйықтап, магнит өрісіне перпендикуляр орналастырып, сосын өрістен алып шықса, онда гальванометрден ток импульсі өтеді. Соның арқасында тұзақ аймағындағы магниттік индукциясын анықтауға болады. Индикаторлық катушканы қозғамай, тізбекті (катушка-гальванометр) тұйықтап, ажыратайық.

Тізбекті тұйықтаған кезде катушкада индукцияның  $\varepsilon_i$  ЭҚКі пайда болып, токты тудырады

$$I = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{Nd\Phi}{Rdt} \quad (10.7)$$

мұндағы  $N$  – катушканың орамдар саны,

$\frac{d\Phi}{dt}$  - катушкадан өтетін магнит ағынының өзгеру жылдамдығы,

$R$  – катушка мен гальванометрдің жалпы кедергісі.

Айналы гальванометрдің шкаласынан сәуле шоғының ауытқу бұрышы  $\alpha$  гальванометрден өтетін электр мөлшеріне пропорционал

$$\alpha = \frac{1}{C} \int_0^t J dt = \frac{1}{CR} \int_0^t \varepsilon_t dt = \frac{1}{CR} \int_0^{\Phi} d\Phi = \frac{BSN}{CR} \quad (10.8)$$

Мұнда  $C$  – гальванометр тұрақтысы, сан мәні  $3,8 \cdot 10^{-6}$  Кл/бөл тең,

$\Phi$  – магнит ағыны,  $\Phi = BSN$ .

$N$  – өлшеуіш катушканың орам сандары.

Соңғы қатынастан соленоид осіндегі магнит өрісінің индукциясы:

$$B = \frac{CR\alpha}{SN} \quad (10.9)$$

## 10.2 ЭКСПЕРИМЕНТТІК ҚОНДЫРҒЫ

Қондырғы соленоид- магнит өрісінің көзі, тұрақты ток көзі, өлшеуіш катушка, айналы гальванометрден тұрады.

Соленоид 9 қабат оқшауланған сымның 1539 орамынан тұрады. Орамдардың орташа радиусы 2,2 см. Бірлік ұзындыққа  $n = 7800$  орам/м орам саны келеді.

Өлшеуіш катушка диаметрі 0,1 мм оқшауланған мыс сымның  $N = 50$  орамынан тұрады. Катушканың қимасының ауданы өлшенетін катушканың  $S = 1,7 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>.

Өлшеуіш катушканың орамдары эбониттен жасалған цилиндр тәрізді стерженге оралған. Стержень өлшеуіш катушкамен соленоидқа енгізіліп, соленоидтың бойымен жылжи алады. Өлшеуіш катушка соленоидқа тығыз кіретіндіктен оның орамдар центрі соленоид осінің бойымен жылжиды деп есептеуге болады.

## 10.3 ЖҰМЫСТЫ ОРЫНДАУ ТӘРТІБІ

1) Қондырғымен танысып, ток көзін және айналы гальванометрді қосыңдар.

2) Соленоидтың бір шетіне өлшеуіш катушканы орналастырыңдар.  $K$  қосылғыш кнопканың көмегімен соленоид тізбегіне ток жіберіңдер. Сәуле шоғының ауытқуы мен токтың мәнін кестеге түсіріңдер.

3) Өлшеуіш катушканы жылжыта отырып, әр 2 см сайын соленоидтың екінші шетіне дейін соленоидтың магнит өрісі индукциясының катушканың орнына тәуелділігін зерттеңдер.

4) Магниттік индукцияны  $B$  (10.9) формуласымен есептеңдер. Өлшеу және есептеу нәтижелерін кестеге түсіріңдер.

13-кесте

$I$ , ток күші	$r$ , соленоид шетінен қашықтық, см	$\alpha$ , бөлік	$B$ , Тл эксперимент	$B$ , Тл теория
	0			
	2			
	4			
	6			
	8			
	10			
	12			
	14			
	16			
	18			
	20			

5) Индукцияның соленоид шетінен қашықтыққа тәуелділік графигін тұрғызыңдар  $B = f(r)$ .

6) Индукцияның теориялық мәнін соленоидтың центрі үшін (10.4) формуласымен, ал шеті үшін (10.6) формуласымен есептеңдер. Теориялық мәнді эксперименттік мәнмен салыстырыңдар.

7) Өлшеулердің қателерін бағалаңдар.

Берілген жұмыстағы қондырғының сипаттамалары:

$$R = 24 \text{ Ом}, \quad C = 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/бөл}, \quad n = 7800 \text{ орам/м},$$

$$L = 0,2 \text{ м}, \quad N = 50, \quad r = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}, \quad S = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

#### 10.4 БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

- 1) Соленоидтың көмегімен магнит өрісін алу.
- 2) Соленоидтың магнит өрісі индукциясы неге тәуелді?
- 3) Неліктен соленоидтың туғызатын магнит өрісі күшті болып саналады?
- 5) Магнит өрісі индукциясын өлшеу әдістері.
- 6) Жұмысты орындау тәртібі.

## ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС №11.

### МАГНЕТИКТИҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ МАГНИТТІК ӨТІМДІЛІГІН АНЫҚТАУ

*Жұмыстың мақсаты* – магниттік гистерезис тұзағын динамикалық зерттеу.

Трансформаторлық болаттың магниттік индукциясының  $B$ , магниттік өтімділігінің  $\mu$  және магниттеу векторының  $j$  магнит өрісі кернеулігіне  $H$  тәуелділіктерін зерттеу.

#### 11.1 ӘДІСТІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕМЕСІ

Берілген жұмыста жиелігі 150 Гц магнит өрісінде трансформаторлық болаттың магниттелу кезіндегі гистерезисті қарастырамыз.

Катушканың бірінші обмоткасында ток  $I$  кернеулігі  $H = \frac{N_1 I}{l} = n_1 I$  магнит өрісін туғызады.  $R_1$  резистордан осциллографтың  $X$  – кіру ұяшығына  $U_x$  кернеу беріледі, кернеу өрістің кернеулігіне пропорционал:  $U_x = IR_1 = \frac{R_1}{n_1} H$ .

Индикаторлық катушканың екінші обмоткасында ЭҚК пайда болады

$$\varepsilon = -n_2 S \frac{dB}{dt}, \quad (11.1)$$

мұндағы  $S$  – өзектің қимасының ауданы,  $S = 0,0016 \text{ м}^2$ .

Осциллографтың вертикаль ауытқитын пластиналарындағы кернеу

$$U_y = \frac{q}{c} = \frac{1}{c} \int_0^t Idt. \quad (11.2)$$

Осы өрнекке токтың мәнін қойып, келесі өрнекті аламыз:

$$U_y = \frac{n_2 S}{R_2 C} \int_0^B \frac{dB}{dt} dt = -\frac{n_2 S}{R_2 C} B \quad (11.3)$$

яғни  $U_y \sim B$ .

Сонымен нәтижесінде бір пластиналарға кернеулікке  $H$  пропорционал кернеу, ал басқа пластиналарға индукцияға  $B$  пропорционал кернеу беріледі, сондықтан осциллограф экранында гистерезис тұзағы пайда болады. Соңғы өрнектен магниттік индукцияны  $B$  табамыз.

$$B = \frac{U_y R_2 C}{n_2 S} \quad (11.4)$$

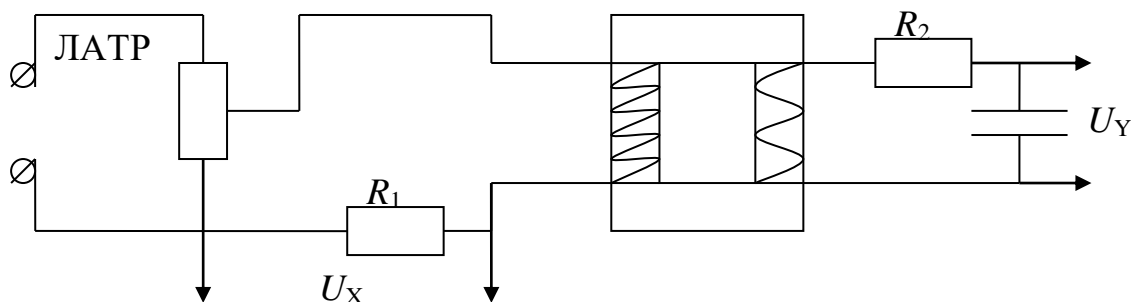
Қайтадан магниттелу циклінде магниттің бірлік көлемінде жойылған энергияның шамасы гистерезис тұзағының толық ауданына тең ( $B.H$ )

бірліктерінде). Гистерезис тұзағының ауданын есептеп ( масштабтық сетка бірліктерінде)  $S_r$ , жойылған энергияны анықтауға болады:

$$W = S_r \cdot \left(\frac{B}{Y}\right) \left(\frac{H}{X}\right) \quad (11.5)$$

## 11.2 ЭКСПЕРИМЕНТТІК ҚОҢДЫРҒЫ

Қондырғының өлшеу схемасы 32-суретте көрсетілген.



Сурет 32

Зерттелетін үлгі - жұқа трансформаторлық болат қабаттарынан тұратын тікбұрышты өзек. Өзекте екі катушка орналасқан –орамдар сандары  $N_1$  және  $N_2$  қоздырғыш және индикаторлық. Трансформатордың бірінші обмоткасы  $R_1 = 30\text{ Ом}$  кедергі арқылы айнымалы токпен қоректенеді. Өзектегі магнит өрісінің кернеулігі  $H = n_1 I$ , мұндағы  $n_1 - 7400$  орам / м - бір метрге келетін орам саны.

Трансформатордың екінші обмоткасының орам саны  $n_2 = 600$  орам/м  $R_2=5000$  Ом кедергі, сыйымдылығы  $C=20 \cdot 10^{-6}$  Фконденсатор арқылы осциллографпен қосылған.

## 11.3 ЖҰМЫСТЫ ОРЫНДАУ ТӘРТІБІ

1) Экранда пайда болған гистерезис тұзағының қанығу бөлігін қарастыру үшін тұзақ экранның үлкен бөлігін алы жату керек. Масштабтық сетканың бөліктерімен тұзақтың төбесінің (ұшының)  $X$  және  $Y$  координаталарын өлшендер. Кернеуді азайта отырып, әртүрлі 8 тұзақтың төбелерінің координаталарын алыңдар.

$U_x$  және  $U_y$  келесі формулалармен есептендер:

$$U_x = \frac{l_x}{2b}, \quad U_y = \frac{l_y}{2b} \quad (11.6)$$

мұндағы  $b = 0,60$  (бөл/в) – осциллографтың сезімталдылығы.

2)  $H, B, \mu$  және  $j$  шамаларды төмендегі формулалармен есептендер:



$$H = \frac{U_x n_1}{R_1}, \quad B = \frac{U_y R_2 C}{n_2 S}, \quad \mu = \frac{B}{\mu_0 H}, \quad j = \frac{B}{\mu_0} - H, \quad (11.7)$$

мұндағы  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнит тұрақтысы.

3) Өлшеу және есептеу нәтижелерін кестеге түсіріңдер.

4)  $\mu = f(H), B = f(H), j = f(H)$  тәуелділік графиктерін тұрғызыңдар.

14-кесте

№	Координ. у бөл. $l_y$	Координ. х бөл. $l_x$	$U_y(B)$	$U_x(B)$	$B, Тл$	$H, \frac{A}{M}$	$\mu$	$j, \frac{A}{M}$
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

5) Максимал гистерезис тұзағы бойынша қайтадан магниттеу циклінде жойылған энергияны анықтаңдар.

#### 11.4 БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАР.

1) Неліктен темірдің көмегімен магнит өрісін жинақталады (концентрируется)?

2) Егер соленоидтың ішіне ферромагниттік өзек енгізсек, онда соленоид ішіндегі магнит өрісінің индукциясы қалай өзгереді?

3) Неліктен катушканың индуктивтілігі катушканың ішіндегі өзектің магниттік қасиеттеріне күшті тәуелді, оны қоршап тұрған денелердің магниттік қасиеттеріне қарағанда?

4) Гистерезис құбылысы. Гистерезис тұзағының ауданы нені анықтайды?

5) Ферромагнетиктер үшін  $B, \mu$  және  $j$  шамалардың  $H$ -қа тәуелділік графиктерін көрсетіп, түсіндіріңдер.

## ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС №12.

### КАТУШКАНЫҢ ИНДУКТИВТІЛІГІН АНЫҚТАУ

*Жұмыстың мақсаты* – магнитопроводты тұйықтағанда және ажыратқанда катушканың индуктивтілігін анықтау.

#### 12.1 ӘДІСТІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕМЕСІ

Контурдан тұрақты ток өткендегі оның кедергісі тек омдық кедергі болып табылады  $R = \rho \frac{\ell}{S}$ . Ал егер айнымалы ток өтсе, онда омдық кедергіден

басқа индуктивтік кедергі пайда болады және ол өздік индукцияның коэффициентіне  $L$  және токтық жиілігіне  $f$  тәуелді, яғни  $X_L = L\omega = L2\pi \cdot f$ . Ол дегеніміз, кез келген жиілікте тіптен кішкентай индуктивтілік айнымалы ток үшін мәнді кедергі болып табылады.

Катушкдан айнымалы ток өткен кездегі жалпы кедергісі толық кедергі  $Z$  деп аталады және Ом заңымен анықталады  $Z = \frac{U}{I}$ , мұндағы  $U$  – кернеу,  $I$  – катушкадағы ток.

Барлық үш кедергі де (толық, омдық және индуктивтілік) бір бірімен келесі формуламен байланыста

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + (L \cdot 2\pi f)^2} \quad (12.1)$$

Осыдан катушканың индуктивтілігін табамыз

$$L = \sqrt{\frac{Z^2 - R^2}{(2\pi \cdot f)^2}} = \frac{1}{2\pi \cdot f} \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2} \quad (12.2)$$

#### 12.2 ЖҰМЫСТЫ ОРЫНДАУ ТӘРТІБІ

1) Қосылтқышты (переключатель) 1-күйге қойыңдар. Мостық схеманы талдап, танысыңдар. Кедергілер магазинінде 18 Ом кедергі қойыңдар. Тұрақты ток көзінен 4 В кернеу беріледі. Гальванометрді индикатор ролінде пайдаланып тізбекті теңеу керек (реохордтың жүгірмегінің көмегімен гальванометр стрелкасын 0-ге орналастырыңдар). Реохорд иіндерінің мәндерін  $l_1$  және  $l_2$  15- кестеге жазыңдар. Р.есептендер. Өлшеуді кедергілер магазинінің 10 және 15 Ом мәндері үшін қайталаңдар.

15-кесте

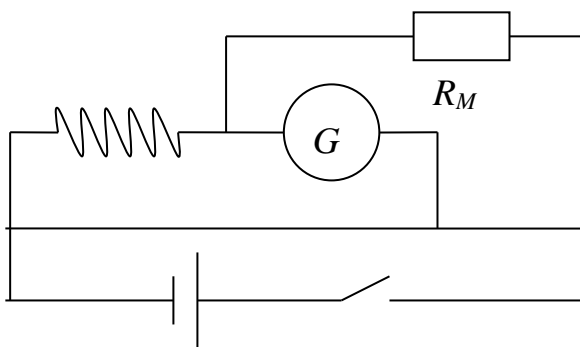
Магазиндегі кедергі $R_m, \text{ Ом}$	Реохорд иіндерінің ұзындықтары		Катушканың омдық кедергісі $R, \text{ Ом}$	Орт. $R, \text{ Ом}$
	$l_1$	$l_2$		

18				
15				
10				

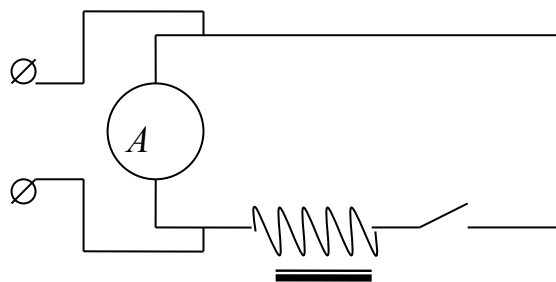
2) Омдық кедергі төмендегі формуламен анықталады

$$R = \frac{R_m \cdot l_2}{l_1} \quad (12.3)$$

(34-суретте мостық схема берілген). Кедергінің орташа мәнін табындар.



Сурет 34



Сурет 35

3) Қосылтқышты (переключатель) II- күйге қойып, тізбекті 35-суреттегідей қосамыз.

ЛАТР-ды 150В қойындар. Магнитопроводты ажыратып токтың мәнін өлшеңдер. Амперметрдің өлшеу шегі 1-2 А. Трансформатордың әрбір 10В сайын 220В-қа дейін вольтамперлік сипаттамасын алындар. Өлшеу нәтижелерін 16-кестеге түсіріңдер.

4) Магнитопроводты тұйықтап, өлшеуді қайталаңдар кернеудің сол мәндері үшін. Амперметрдің өлшеу шегі 0,25-1А.

16-кесте

U, В	I, А ажырат.	I, А тұйық.	L, Гн тұйық.	L, Гн ажырат.
150				
160				
170				
180				
190				
200				
210				
220				

5) (12.2) формуласымен катушканың тұйықталған және ажыратылған кездегі индуктивтілігін анықтаңдар.  $f = 50$  Гц.

6) Индуктивтілік коэффициентінің токқа тәуелділік графигін салыңдар.

### 12.3 БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

- 1) Практикада физикалық өлшеулерде не үшін мостық схема қолданылады?
- 2) Мосты теңгеру үшін қандай құралдар қолданылады?
- 3) Электромагниттік индукция құбылысының мағынасы қандай?
- 4) Электромагниттік индукция заңын тұжырымдаңдар.
- 5) Өздік және өзара индукция құбылыстарын түсіндіріңдер. Өздік индукцияның ЭҚК неге тең?
- 6) Катушканың индуктивтілігін қалай анықтауға болады? Ол қандай шамаларға тәуелді?
- 7) Неліктен жұмыста  $L_{\text{тұйық}} \gg L_{\text{ажыр}}$ ?
- 8) Соленоид магнит өрісінің энергиясы неге тең?

## ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1.Абдуллаев Ж. Жалпы физика курсы. Алматы. 2017
- 2.Абдуллаев Ж. Механикаға кіріспе.Алматы. 2018
- 3.Әбдіғапаров Қ., Ақылбеков Ә. Электродинамика.Тербелістер мен толқындар.Алматы: «Кітап», 2005
- 4.Бектенов М. Физика курсы. Механика. Молекулалық физика. Алматы. 1997
- 5.Қошыбаев Н. Шарықбаев А. Физика 1,2 том Алматы. 2000
- 6.Қалығұлов А. Оптиканы оқыту әдістемесі.Алматы. 2005
- 7.Жылқыбаева М. Жалпы физика курсының есептері. Алматы 1998
- 8.Арызханов Б. Физика курсы. Алматы. 1998
- 9.Полатбеков П. Оптика.
- 10.Фриш С., Тимофеев А. Жалпы физика курсы 1,2 том. Алматы. 1970-1971
- 11.Волкенштейн В. Жалпы физика курсының есептер жинағы. 2018
- 12.Байсақалова А., Макеева Л. Физиканың жалпы курсына программаланған бақылау. Алматы. 2010
- 13.Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. М. Академия. 2012
- 14.Трофимова Т.И. Курс физики. М. Выс. шк. 2015
- 15.ЧертовА., Воробьев А. Задачник по физике. М. Выс. шк. 2005
- 16.Калашников С.Г. Электричество. М. Наука. 2000
- 17.Суханов А.Д. Курс общей физики. Том 1,2,3. М. Изд. Агар 2014
18. Трофимова Т.И. Задачи по общей физике. М. Выс. шк. 2011