



**Коммерциялық
емес акционерлік
қоғам**

**АЛМАТЫ
ЭНЕРГЕТИКА
ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС
УНИВЕРСИТЕТІ**

Техникалық физика
кафедрасы

ЭЛЕКТР ТОГЫ. МАГНЕТИЗМ

Барлық мамандықтардың студенттері үшін зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар

Алматы 2017

ҚҰРАСТЫРҒАНДАР: Т.С. Байпақбаев, Ж. Исаков, С.Н. Сәрсенбаева.
Электр тогы. Магнетизм. Барлық мамандықтардың студенттері үшін
зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар. -
Алматы: АЭЖБУ, 2017.- 36 б.

Әдістемелік нұсқауларда жеті зертханалық жұмыс, бұлардың
әрқайсысында жұмыстың қысқаша теориясы, қондырғының сипаттамасы,
тәжірибенің орындалу тәртібі және жұмыстың нәтижелерін өңдеуге
ұсыныстар, бақылау сұрақтары, соңында әдебиеттер тізімі берілген.

Әдістемелік нұсқаулар оқудың және мамандықтардың барлық түрінің
студенттері үшін зертханалық жұмыстарды орындауға арналған.

23 сурет, 11 кесте, әдеб. көрсеткіші 4 атау.

Пікір жазған: Матаев Ө.М.

«Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес
акционерлік қоғамының 2017 жылғы жоспары бойынша басылды.

© «Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2017 ж.

Кіріспе

Әдістемелік нұсқаулардағы «Элекгр тогы. Магнетизм» бөлімін қамтитын зертханалық жұмыстар магнит өрісінің қасиеттері мен негізгі сипаттамаларын, сондай-ақ инженерлік және ғылыми мәселелерді шешу барысында көп қолданатын магнит құбылыстары мен заттардың магниттік қасиеттерін оқып үйренуге арналған. Нұсқаулардың негізгі мақсаты студенттердің өз бетінше зертханалық жұмыстарға даярлану барысында оларға көмек беру.

Әр зертханалық жұмыста жұмыстың мақсаты мен тапсырмалары және қысқаша теориясы (оның негізгі физикалық мазмұны) ұсынылған. Сонымен қатар, студенттер тақырып бойынша жан-жақты дайындалуына мүмкіндік беретін әдебиеттер тізімі берілді. Жұмыстың теориясын, мақсаты мен тапсырмаларын жақсы игермейінше жұмысқа кірісуге болмайды. Студенттің жұмыс қондырғысының сипаттамасын және орындалу тәртібін зейін қойып оқуы жұмысты дұрыс және жылдам орындауына, сонымен қатар өлшеу нәтижелерін өңдеуде, талдау жасауда және қортындыны ойдағыдай тұжырымдауда үлкен себебін тигізеді.

1 ЭМК-10 зертханалық жұмысы. Магнит өрісін модельдеу тәсілімен зерттеу

Жұмыстың мақсаты: магнит (электр) өрістерін оқып үйрену әдістерінің бірі математикалық модельдеу тәсілімен танысу.

Тапсырмалар:

- тогы бар өткізгіштер жүйесінің магнит өрісі моделін жасау;
- кернеулік сызықтарын құру; өткізгіштер жүйесінің индуктивтігін анықтау мысалы бойынша толық ток заңын қолдану икемділігін алу.

1.1 Теориялық кіріспе

Көптеген практикалық есептерді (мысалы, электрондық линзаларды және басқа электрондық құралдарды жасауда) шешу барысында кез келген пішінді электродтардың арасындағы кеңістіктердегі электр және магнит өрістерінің қалай бөлінетіндігін білу қажет болады. Мұндай өрістерді теориялық есептеу тек қарапайым конфигурациялар үшін ғана орындалуы мүмкін, ал жалпы жағдайларда еш мүмкін емес. Сондықтан, күрделі электр және магнит өрістері тәжірибе жүзінде (мағынасы төменде әңгімеленетін) математикалық модельдеу тәсілімен зерттеледі.

Электрстатикалық өрісті математикалық модельдегенде нашар өткізгіш біртекті ортада (электролит, өткізгіш қағаз) стационар токтың электр өрісінің потенциалды болатыны пайдаланылады. Бұл өріс электродтардың конфигурациясы бірдей болған жағдайда, диэлектрик ішіндегі электр өрісіне ұқсас. Егер электродтардың потенциалдары екі жағдайда да бірдей болса, онда потенциалдың диэлектрик ішіндегі бөлінуі өткізгіш ішіндегі бөлінумен бірдей болады. Өрістердің ұқсастығы олардың келесі қасиеттерінен де көрінеді, яғни:

а) диэлектрик ішіндегі электр өрісі потенциалды, демек электрстатикалық өріс кернеулігі векторының тұйық контур бойынша циркуляциясы нөлге тең:

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = 0.$$

Өткізгіш орта ішіндегі стационар электр тогының \vec{j} тығыздығы үзіліссіздік теңдеуін қанағаттандырады, яғни:

$$\oint \vec{j} d\vec{l} = 0.$$

Ом заңыны сәйкес:

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}_{\text{стац}},$$

мұндағы \vec{j} - ток күші тығыздығы;

γ - ортаның меншікті өткізгіштігі;

$\vec{E}_{\text{стац}}$ –стационар электр өрісінің кернеулігі, ал стационар өріс үшін:

$$\oint \vec{E}_{\text{стац}} d\vec{l} = 0;$$

б) ұқсастық шекаралық шарттар арасында да бар:

$$E_{\tau 1} = E_{\tau 2};$$

$$\varepsilon_1 E_{n1} = \varepsilon_2 E_{n2};$$

$$\gamma_1 E_{n1} = \gamma_2 E_{n2}.$$

Осы айтылғандардан, егер ортаның γ өткізгіштігін ε диэлектрлік өтімділікпен ауыстырып, ал электродтарды екі жағдайда да ұқсас етіп алып және ұқсас орналастырса, онда тогы бар өткізгіш орта электрстатикалық өрісті зерттеу үшін модель бола алады екен.

Тұрақты токтардың магнит өрісін модельдеу мүмкіндігін қарастырайық. Өрістерді математикалық модельдеудің, осы өрістердің өзіне немесе олардың физикалық модельдеріне тікелей тәжірибелік зерттеу жүргізумен салыстырғанда біраз артықшылығы болады. Өткізгіш орта ішінде токтардың ағу жағдайы өрістің кез келген нүктесіндегі потенциалдарды оңай әрі сенімді түрде анықтау үшін ток өткізгіш вольтметрлерді, гальванометрлерді немесе оларға сай басқа да құралдарды (сұлбаларды) қолдануға мүмкіндік береді. Сонымен бірге, өткізгіш ортадағы токтардың бөлінуіне сыртқы электрстатикалық (магниттік) өрістер әсер етпейді. Ақырында, өрістердің сипаттамаларын (\vec{E} , \vec{H}) тікелей тәжірибе жүзінде анықтау қиындыққа әкеліп соғады немесе тіпті анықтау мүмкін емес болады.

Ток күші I параллель өткізгіштердің магнит өрісі бейнесін, зарядтарының тығыздығы τ осы өткізгіштердің электр өрісі моделі ретінде алуға болады. Жеңіл болу үшін алдымен осындай өткізгіштердің біреуін шексіз жіңішке зарядталған қылды алайық.

Осы өткізгіш (қыл) онымен салыстырғанда тыныштық күйде болатын K санақ жүйесінде, \vec{E} кернеулік және \vec{D} электр ығысу векторларымен сипатталатын электрстатикалық өріс болады, ал олардың арасындағы байланыс изотроптық орта үшін:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}. \quad (1.1)$$

Өрістерді түрлендіру заңынан, егер K санақ жүйесімен салыстырғанда тек электр өрісі ғана болса, ал K' санақ жүйесімен салыстырғанда \vec{v} жылдамдықпен қозғалатын K' жүйесінде электр өрісіне қоса тағы магнит өрісі пайда болады.

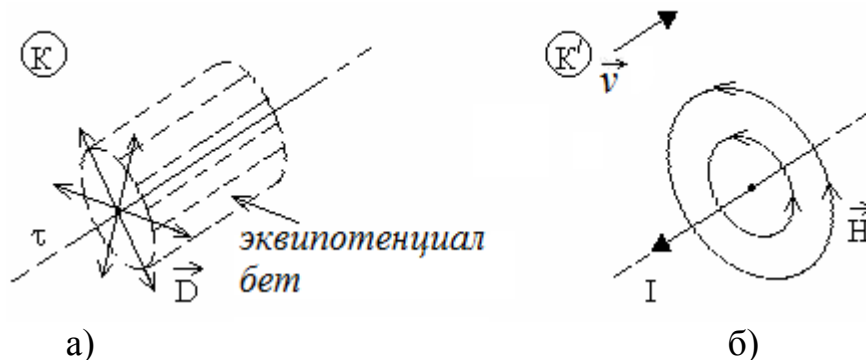
Қылға сәйкес X осі бойымен \vec{v} жылдамдықпен қозғалатын K' санақ жүйесіне (координат осьтерін K жүйесі координат осьтеріне параллель орналастырамыз) өтейік. Бұл жағдайда қылдың τ заряды K' жүйесімен салыстырғанда $-\vec{v}$ жылдамдықпен қозғалады да, $I = -\tau \vec{v}$ түзу ток ретінде болады. Бұл ток одан r аралықтықтағы кернеулігі төмендегі формуламен анықталатын магнит өрісін (K' жүйесінде) тудырады, яғни:

$$H = \frac{I}{2\pi r} = -\frac{\tau v}{2\pi r}. \quad (1.2)$$

Екінші жағынан K жүйесінде зарядталған қылдың электрстатикалық өрісі бар:

$$D = \frac{\tau}{2\pi r}. \quad (1.3)$$

Осы екі өрістің конфигурациясы 1.1-суретте көрсетілген.



1.1 сурет - Электрстатикалық және магнит өрістерінің ұқсастығы

а) зарядталған қылдың электрстатикалық өрісінің индукция сызықтары мен эквипотенциал беттері; б) токтың магнит өрісінің кернеулік сызықтары.

Жоғарыдағы (1.2) мен (1.3) өрнектерін салыстырып және \vec{D} , \vec{H} және \vec{v} векторларының бағыттарын ескере отырып,

$$\vec{H} = [\vec{v}\vec{D}] = -\varepsilon_0\varepsilon [\vec{v}\vec{E}]. \quad (1.4)$$

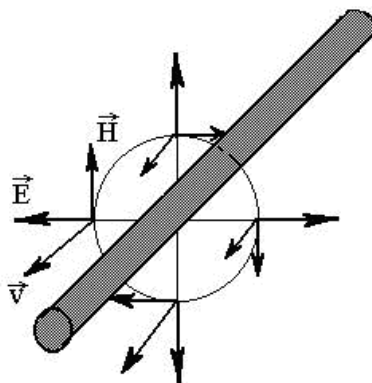
Мына (1.4) алынған нәтиже осьтік симметриялы басқа конфигурациялы өрістерде де, атап айтқанда, осы жұмыста зерттелетін екі сымды желінің магнит өрісі үшін де орындалады.

Егер бақылау нүктесі сымдарға параллель электр өрісінің эквипотенциал бетімен сырғанаса, онда \vec{H} векторы осы электр өрісінің эквипотенциал сызығына жанама бойымен бағытталады (1.2 сурет). Бұл жағдайда кернеулік:

$$H = \varepsilon_0 VE = \varepsilon_0 V d\varphi / dr, \quad (1.5)$$

мұндағы φ - өрістің электрлік потенциалы; туынды $d\varphi/dr$ эквипотенциал сызығына нормаль бағытта алынады.

Бұл - қозғалмайтын санақ жүйесіндегі электр өрісінің эквипотенциал сызықтары қозғалатын санақ жүйесіндегі магнит өрісінің кернеулік сызықтары болып табылады деген сөз, яғни зарядталған өткізгіштердің электрстатикалық өрісі тоғы бар сол өткізгіштердің магнит өрісі моделі бола алады.



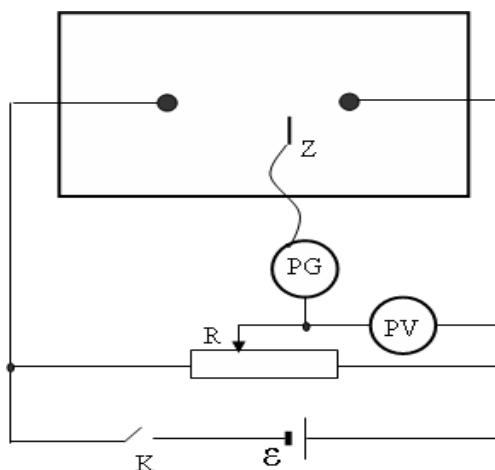
1.2 сурет

1.2 Жұмыстың теориясы және тәжірибе қондырғысының сипаттамасы

Электрстатикалық өрістің эквипотенциалдары картасын ала отырып, параллель екі сымнан тұратын, модельденіп отырған токтар жүйесінің магнит өрісі кернеулігі сызықтары картасы алынады.

Модельдеу үшін өткізгіш орта ретінде өткізгіш қағаз қолданылады. Потенциалы мен кернеулігі екі координатқа тәуелді болатын жазық өрістер модельденеді.

Қондырғының электр сұлбасы 1.3-суретте бейнеленген.



1.3 сурет

Ток өткізгіш қағаз үстіне бекітілген электродтарға ток көзінен тұрақтандырылған тұрақты кернеу беріледі. Сонда қағаз бетінде стационар электр өрісі пайда болады. Өткізгіш қағаз парағының әр нүктелеріндегі потенциалды қозғалмалы контактылы R потенциометрі бар PG гальванометр (микроамперметр) арқылы қосылған Z зондпен өлшейді (тізбектің төрт бөлігі-екеуі потенциометрдің тиегі мен оның шеткі контактарының арасы, ал қалған екеуі зонд пен қағаз парағы бетіндегі электродтар арасы тұрақты ток көпірін жасайды). Зондты потенциалы потенциометр тиегінің потенциалымен бірдей нүктеге қойғанда микроамперметрмен жүретін ток нөлге тең. Потенциометрдің төменгі контакты мен оның тиегінің арасындағы потенциалдар айырмасын PV вольтметрмен өлшейді.

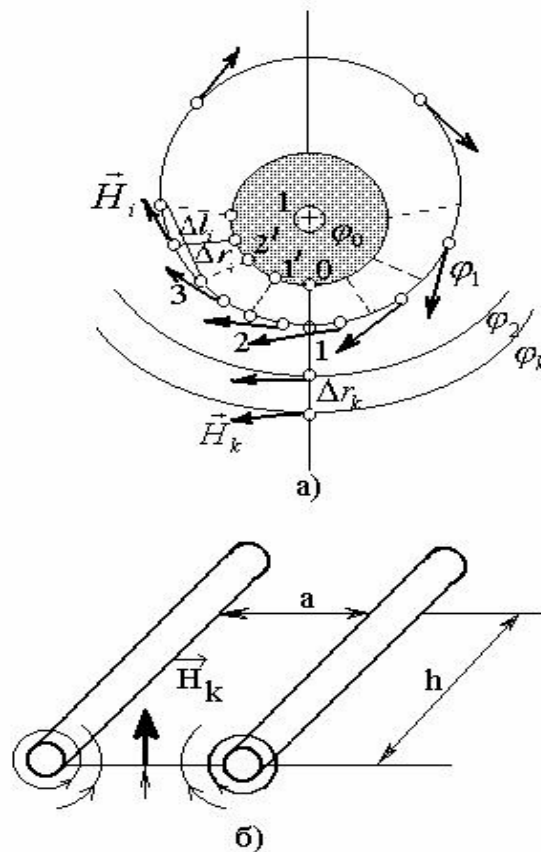
Өлшеулер нәтижесінде белгілі бір $\Delta\varphi$ адыммен алынған эквипотенциал сызықтар картасы жасалады.

Магнит өрісі кернеулігін I тогы бар өткізгішті қамтитын, кернеуліктің тұйық сызығы болып табылатын l контуры бойынша $\oint_l \vec{H}d\vec{l}$ циркуляциясын, толық ток заңын пайдаланып есептеуге болады. Циркуляцияның жуық мәнін есептеу интегралдау контурын (картада бұл үшін электр өрісінің электродқа жақындау эквипотенциалы алынады) Δl_i кішкене бөліктерге бөлшектеу

арқылы іске асады (1.3 сурет, а).

Кернеулік (күш сызықтарын) салу үшін келесі әдіс (1.3 сурет, а) қолданылады. Электродтарды қосатын сызықты өрістің симметрия осімен дәл келетіндей етіп жүргізеді. Электрод бетіндегі O нүктесінен оған жақын $O1$ эквипотенциалына дейінгі ара қашықтық өлшенеді. Бұл қашықтықты электрод беті бойына салып, электрод бетінде $1'$ нүктесі алынады. Осы $1'$ нүктесі арқылы электрод бетіне перпендикуляр $1'2$ кесіндісі жүргізіледі. Бұл $1'2$ қашықтық электрод беті бойына салынады және т.с.с. Салу жұмысы симметрия осіне жеткенде бітеді. Осыған ұқсас салу жұмысы O нүктесінің екінші жағына қарай жүргізіледі (әр салуды, электрод бетіндегі соңғы кесіндінің симметрия осіне дейінгі ұзындығы оның алдындағы кесіндінің ұзындығынан артық болғанда ғана аяқтау жөн). Осылайша, электродқа жақын эквипотенциалды бөліктеп, алынған $(1; 2; 3; \dots; i)$ нүктелері арқылы, оған келесі эквипотенциалмен қиылысқанша, перпендикуляр кесінділер жүргізіледі. Картаның барлық эквипотенциалдары бөлініп болғаннан кейін, алынған нүктелерді қиылысу нүктесіндегі эквипотенциал сызықтарға ортогональдығын ескере отырып, өзара қисық сызықпен қосу (егер өрістің екі симметрия осі бар болса, мысалы, екі сымды желінің өрісі, онда күш сызықтарын бірден екі электродтардан бастап жүргізу қолайлы болады).

Әр кесінді Δl_i үшін H_i өріс кернеулігін мына өрнектен анықтауға болады, яғни



1.3 сурет

$$H_i = \varepsilon\varepsilon_0 v \frac{|\varphi_0 - \varphi_1|}{\Delta r_i}, \quad (1.6)$$

мұндағы Δr_i - кернеулік сызықтарындағы кесінділердің ортаңғы нүктелері мен электрод бетінің ара қашықтығы;

φ_0 және φ_1 - электрод пен электрстатикалық эквивалент моделінің электродқа жақындау эквипотенциал сызығының потенциалдары.

Толық ток заңы бойынша магнит өрісі кернеулігі векторының циркуляциясы:

$$\sum_i H_i \Delta l_i = \varepsilon\varepsilon_0 v (\varphi_0 - \varphi_1) \sum_i \frac{\Delta l_i}{\Delta r_i} = I. \quad (1.7)$$

Бұл (1.7) өрнектен модельдің қайтара есептеу көбейткішін (санақ жүйесінің қозғалыс жылдамдығына пропорционал шама) анықтауға болады, егер модельденетін жүйенің ток күші мәнін 1 А десек, онда:

$$K = \varepsilon_0 \varepsilon v (\varphi_0 - \varphi_1) = \left(\sum_i \frac{\Delta l_i}{\Delta r_i} \right)^{-1}, \quad (1.8)$$

мұндағы Δr_i - электрод бетіндегі кесінділер мен жақын эквипотенциалдардың ортаңғы нүктелері арасындағы қашықтық.

Қайтара есептеу көбейткішінің көмегімен (1.8) бөлініп алынған кернеулік сызығының әр Δl_i бөлігіндегі магнит өрісі кернеулігі анықталады:

$$H_i = KI / \Delta r_i. \quad (1.9)$$

Зерттелетін модель модельденетін өткізгіштер жүйесінің индуктивтігін де табуға мүмкіндік береді. Ол үшін индуктивтік анықтамасын $L = \Phi / I$ пайдаланған жөн, мұндағы Φ - ток жүретін өткізгіштер арасындағы (10.3-сурет, б) $S = ha$ аудан арқылы өтетін магнит ағыны. Магнит ағыны:

$$\Phi = \int_S \mu_0 H dS = \mu_0 h \sum_k H_k \Delta r_k,$$

мұнда H_k - өткізгіштердің центрлерін қосатын сызықта жататын нүктелердің магнит өрісі кернеуліктерінің мәндері;

Δr_k - сәйкес кернеулік сызықтарының арасындағы қашықтық (1.3 сурет, а).

Мынаны ескерсек:

$$H_k = K \frac{\Delta \varphi_k}{\varphi_0 - \varphi_1} \frac{I}{\Delta r_k},$$

онда, Φ магнит ағыны үшін:

$$\Phi = \mu_0 h K \frac{U}{\varphi_0 - \varphi_1} I,$$

мұндағы U - модель электродтары арасындағы потенциалдар айырмасы.

Магнит ағынын есептеп алып, өткізгіштер жүйесінің индуктивтігін табу оңай.

$$L_n = \frac{L}{h} = \mu_0 K \frac{U}{\varphi_0 - \varphi_1}. \quad (1.10)$$

Алынған индуктивтік мәнін оның теориялық мәнімен салыстыруға болады. Диаметрі d , ара қашықтығы a екі параллель өткізгіштен тұратын желі үшін ол былай анықталады

$$L_n = \frac{\mu_0}{4\pi} \ell n \frac{2a + d}{d}. \quad (1.11)$$

1.3 Жұмыстың орындалу реті және өлшеулер нәтижесін өңдеу

1.3.1 Өлшеулер жүргізілетін қондырғымен танысу. Дәптерге масштабты сақтай отырып, модельденетін өрістің кеңістік торын және электродтар пішінін көшіріп салу.

1.3.2 Өлшеулер жүргізілетін сұлбаны қосу (1.3 сурет).

1.3.3 Зонд потенциалын электродпен салыстырғанда 2 В-қа қою. Зондты өрістің осьтік сызығы үстіне сәйкес электродқа жақын қойып, оны осы сызық бойымен қозғалта отырып, берілген потенциалға сәйкес нүктені табу керек. Бұл кезде микроамперметрдің көрсетуі нөл. Нүкте координатын дәптерге көшіру. Артынан зондты өріс бетімен оңға және солға (шамамен 2 см) жылжыта отырып, потенциалы осындай басқа нүктелерді табу. Осылайша тағы да бірнеше нүктелер алу керек. Нүктелерді өзара қисық сызықпен қосу арқылы эквипотенциал сызықты салып, жанына потенциал мәнін жазу.

1.3.4 Вольтметрдің PV көрсетуін әр ретте 1 В-қа өзгерте отырып, келесі эквипотенциал сызықтарды салу.

1.3.5 Жұмыс әдістемесінің түсіндірмесі бойынша бірінші эквипотенциал (магнит өрісінің кернеулік сызықтары) үшін H_i кернеулік векторларын салу. Ток күшінің I мәнін 1 А деп және оның өткізгіш ішіндегі бағытын бере отырып, оларды өткізгіштердің қималарындағы бейнелерде көрсету. Токтың алынған бағытына сай кернеулік сызықтарын тілшелермен көрсету.

1.3.6 Алдын ала модельдің қайтара есептеу көбейткішін (1.8) анықтап алып, бірінші эквипотенциал үшін H_b , ал келесілер үшін H_k магнит өрісі кернеуліктерін (1.9) бойынша есептеу.

1.3.7 Модельденуші желінің ұзындық бірлігіне келетін индуктивтігін (1.11) бойынша есептеу. Алынған мәнді теориялық мәнімен салыстыру.

1.3.8 Өлшеулер нәтижелерін өңдеу және қорытынды жасау.

1.4 Бақылау сұрақтары

1.4.1 Магнит өрісін модельдеу тәсілінің негізі неде?

1.4.2 Толық ток заңы, оның берілген жұмыста қолданылуы.

1.4.3 Магнит өрісінің кернеулігі. Осы жұмыста өріс кернеулігін анықтау.

2 ЭМК-11 зертханалық жұмысы. Жердің магнит индукциясының горизонталь құраушысын анықтау

Жұмыстың мақсаты: жердің магнит индукциясының горизонталь

құраушысын тәжірибе жүзінде анықтау тәсілін игеру.

Тапсырма: жердің магнит индукциясының горизонталь құраушысын анықтау

2.1 Жұмыстың теориясы

Жердің магнит өрісін біртекті магниттелген шар деп қарастыруға болады. Магнит полюстерінің координаттары: солтүстік / оңтүстік географиялық полюске жақын / 78° оңтүстік ендікте және 111° шығыс бойлықта, ал оңтүстік / солтүстік географиялық полюске жақын / 78° солтүстік ендікте және 69° батыс бойлықта жатады. Магнит осі географиялық оське 11° бұрыш жасай отырып, Тынық мұхитына қарай 1140 км ығысқан. Магнит полюстері және осі уақыт бойынша кеңістікте орындарын өзгертіп отырады. Магнит өрісінің күш сызықтары шамамен Жердің центрінен оңтүстік полюстен шығып солтүстікке кіріп жатады. Жердің магнит өрісінің құраушылары оның бетінде мына аралықтарда өзгереді, яғни магнит индукциясының толық векторы (ендікке байланысты) + 62 ден - 73 мкТл дейін, горизонталь құраушысы B_r - 0 ден 41 мкТл-ға дейін. Жердің магнит өрісі ғасырлық өзгерістерге (қазіргі заманда әр 10 жылда 1% -ға) кеміп отырады. Шындығына келсек, біртекті магниттелген шармен салыстырғанда жердің өрісінің конфигурациясы күрделірек болады, өйткені магниттік аномалиялар өрісі, жерден тыс денелер өрісі қосылады. Жердің магнит өрісінің бас көзі оның сұйық ядросындағы құйынды токтар деген болжам жасалып отыр.

Қарастырып отырған әдісте жердің магнит өрісінің горизонталь құраушысы тангенс-гальванометр деп аталатын аспаппен өлшенеді. Аспап вертикаль орналасқан бірнеше дөңгелек орамдардан тұрады, ал оның ортасында магнит тілшесі бекітіледі.

Жер тарапынан тілшенің полюстарына әсер ететін өріс дөңгелек токтың центріндегі магнит индукциясының өрісіне тең деп алуға болатындай тілше қысқа болуға тиіс магнит тілшесі вертикаль осьті айнала қозғалғандықтан, жер тарапынан B_0 индукциясының горизонталь құраушысы B_r әсер етеді. Катушкада ток болмаған кезде тілше B_0 бағытымен бағыттал, яғни меридиан (жер бетінің берілген нүктесі мен жердің магниттік полюстері арқылы өтетін жазықтықтарда) жазықтығында орналасады.

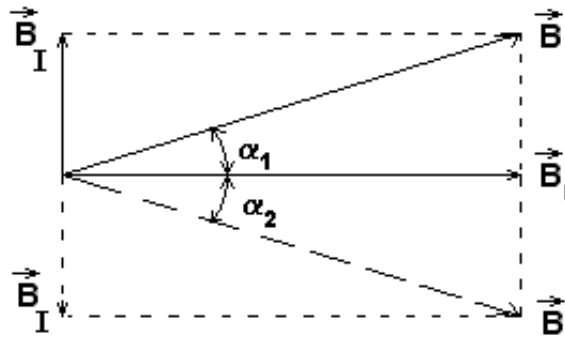
Егер орамдар арқылы ток жіберетін болсақ, орамдар центрінде B_0 -ға перпендикуляр B_1 магнит индукциясы пайда болады (2.1 сурет).

Тілше екі өріс әсерінен α бұрышқа бұрылып, қорытқы B өрісінің бағытымен орналасады.

Суреттен $B_1 = B_r \operatorname{tg}(\alpha)$ екенін көреміз. Био-Савара-Лаплас заңы бойынша орамдар центріндегі магнит өрісінің индукциясы:

$$B_1 = \mu_0 \frac{I \cdot N}{2R},$$

мұнда N - орам саны,
 R – орам радиусы

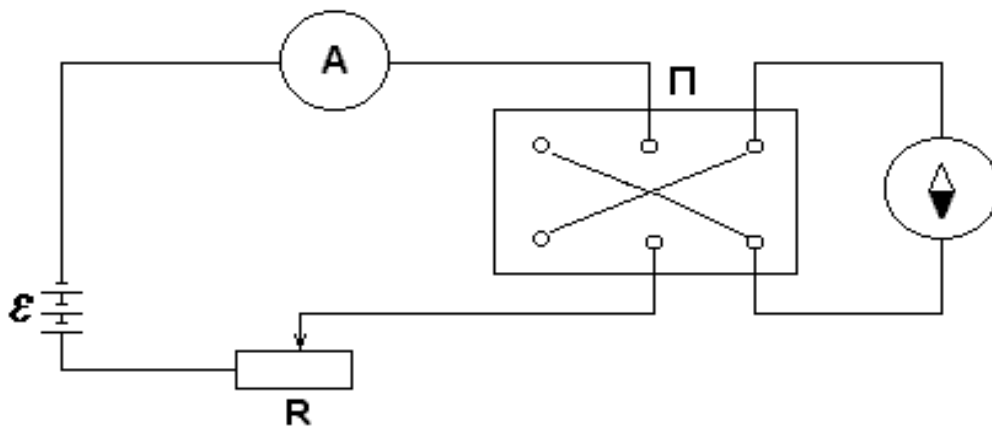


2.1 сурет

Олай болса $B_r = \mu_0 \frac{IN}{2R \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \mu_0 \frac{I \cdot N}{2R} \operatorname{ctg} \alpha$. Осы формула бойынша жердің магнит индукциясының B_r - горизонталь құраушысын тәжірибе жүзінде анықтауға болады.

2.2 Тәжірибе қондырғысының сипаттамасы

Жердің магнит индукциясының горизонталь құраушысын өлшейтін қондырғының электр сұлбасы 2.2 - суретінде берілген. Тангенс - гальванометрдің тізбекке қосатын орам санын әртүрлі етіп алуға болады. Магнит тілшесінің бұрылу бұрышын есептеу үшін тангенс-гальванометр шкаламен жабдықталған.



11.2 сурет

П-айырып-қосқыш кілті арқылы токтың бағытын кері бағытқа өзгертуге болады. Демек, осыған орай магнит өрісінің де B_r мен B бағыттары өзгереді. Токтың шамасын өлшеп және оны реттеп тұру үшін миллиамперметр мен реостатты пайдаланамыз.

2.3 Жұмыстың орындалу реті және өлшеулер нәтижелерін өңдеу

2.3.1 Катушка жазықтығын магнит меридианы жазықтығымен дәл келтіру.

2.3.2 Өлшеу жүргізетін тізбекті жинау және желіге қосу.

2.3.3 Тізбекке токты қосып, токтың бір нақты мәнінде тілдің α_1 бұрылу бұрышын өлшеп, айырып-қосқыш кілті арқылы токтың бағытын кері бағытқа өзгертіп, α_2 бұрышын өлшеу. Берілген ток мәні үшін ауытқу бұрышының орташа арифметикалық мәнін алады, яғни $\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$.

Өлшеулер нәтижелерін 2.1- кестеге енгізіңіз.

2.3.4 Орам санының екі мәні үшін 2.3.3 б. амалын 6 рет орындау.

2.3.5 Өлшеулер мәліметтері бойынша B_r , $\langle B_r \rangle$ және $P=0,9$ үшін сенімділік интервалын табу.

2.3.6 Алынған нәтижені әртүрлі ендіктер үшін жердің B_r мәнімен салыстырыңыз.

2.1 кесте

N орамдар саны	I, A	α_1	α_2	α	$tg \alpha$	$B_r,$ $мкТл$	$\langle B_r \rangle,$ $мкТл$

2.4 Бақылау сұрақтары

2.4.1 Магнит өрісінің индукциясы дегеніміз не? Оның физикалық мағынасы?

2.4.2 Дөңгелек ток өрісінің магнит индукциясы неге байланысты?

2.4.3 Тангенс-гальванометрдің жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз.

2.4.4 Катушка жазықтығын қалай орналастыру қажет? Себебі неде?

2.4.5 Жердің магнит өрісі индукциясының горизонталь құраушысын анықтау әдістемесі неге негізделген?

2.4.6 Жердің магнит өрісі конфигурациясы қандай?

3 ЭМК-12 зертханалық жұмысы. Соленоидтың магнит өрісін Холл датчигі арқылы оқып үйрену

Жұмыстың мақсаты: магнит индукциясын өлшеу тәсілдерінің бірін игеру.

Тапсырмалар:

- Холл тұрақтысын және ток тасымалдаушылар шоғырын анықтау;
- соленоид осіндегі магнит өрісі индукциясын анықтау.

3.1 Жұмыстың әдістемесі

Соленоид цилиндр каркасқа бір-біріне тығыз орналасқан бірнеше қабат құрайтын сым орамынан тұрады. Соленоидтың негізгі сипаттамаларының бірі ұзындық бірлігіне келетін n -орам саны болып табылады. 3.1-суретте соленоидтың қимасы кескінделген. Сым орамдары іс жүзінде бірнеше қабат болып оралады.

Орамдар сымынан ток жүргенде соленоидта магнит өрісі пайда болады. Соленоидтың осінде, оның кез келген O нүктесінде \vec{B} индукциясы мына формуламен анықталады:

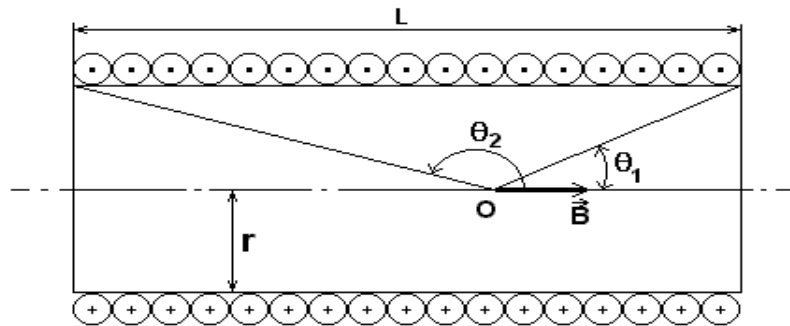
$$B = \frac{1}{2} \mu_0 I n (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (3.1)$$

мұндағы θ_1 және θ_2 - соленоид осі мен зерттеліп отырған O нүктесінен соленоидтың бас жағындағы және соңғы орамдарына жүргізілген сәулелер арасындағы бұрыштар.

Шексіз ұзын соленоид ($L \gg r$) үшін $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = \pi$ болады да, (3.1) формуласы мына қарапайым түрге келеді:

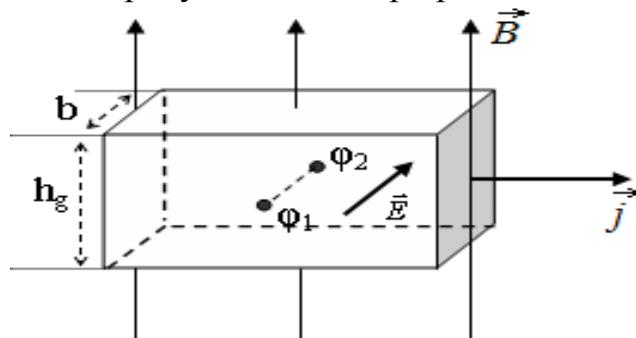
$$B = \mu_0 I n. \quad (3.2)$$

Берілген жұмыста соленоид магнит өрісін тәжірибе жүзінде зерттеу үшін Холл эффектісіне негізделген тәсіл қолданылады. Көлденең қимасы bh_g тең металл пластина арқылы электр тогын жүргізіп (\vec{j} ток тығыздығы)



3.1 сурет

және оны магнит индукциясының \vec{B} күш сызықтарына перпендикуляр орналастырсақ, онда \vec{j} ток тығыздығы мен \vec{B} магнит индукциясына перпендикуляр бағытта кернеулігі \vec{E} электр өрісі пайда болады (3.2 сурет).



3.2 сурет

Бұл жағдайда пайда болатын $\Delta\varphi_x$ (потенциалдар айырмасы (Холл ЭҚК-і) ток күші тығыздығына, магнит индукциясына және пластинаның b еніне тура пропорционал:

$$\Delta\varphi_x = R J B b. \quad (3.3)$$

Бұл өрнектегі j ток тығыздығын датчикпен ағатын ток күші I_g және bh_g датчик қимасының ауданы арқылы алмастырсақ (h_g —датчик қалыңдығы):

$$\Delta\varphi_x = R \frac{I_g B}{h_g}. \quad (3.4)$$

Пропорционалдық коэффициент R мынаған тең:

$$R = \frac{1}{ne}, \quad (3.5)$$

мұндағы n – ток тасымалдаушылар концентрациясы;

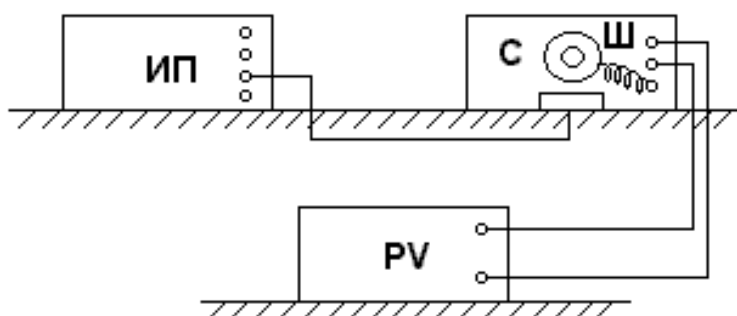
e - элементар заряд;

R - Холл тұрақтысы.

3.2 Тәжірибе қондырғысының сипаттамасы

Берілген жұмыста басқару тогы $I_g = 90$ мА болып келетін жартылай өткізгіш Холл датчигі (Х501 маркалы) қолданылады. Холл датчигі соленоидтың бір ұшына орналасқан. Магнит өрісі бойымен бағытталған датчиктің қалыңдығы $h_d = 0.2$ мм.

Соленоид ішіндегі датчиктің орнын анықтау үшін штоктың бүйір бетіне шкала орналастырылған.



3.3 сурет

3.3 Жұмыстың орындалу тәртібі

3.3.1 Холл датчигін бөліктеу (граудировка) және токты тасымалдайтын бөлшектердің концентрациясын анықтау:

- штокты орта шамасына қойыңыз («О» шкаласы);
- ток көзін және цифрлық вольтметрді 220 В желіге қосыңыз. Токтың $I_c = 0.5$ А ; 1А; 1,5 А; 2А мәндері үшін соленоид центріндегі Холдың ЭҚК-ін өлшеп, мәндерін 3.1- кестеге енгізу;
- формула (3.2) бойынша ток күшінің берілген мәндері үшін магнит өрісінің индукциясын есептеп, кестеге енгізу;

- әр өлшеу үшін (3.4) формуласынан Холлдың R тұрақтысын есептеп тауып, оның $\langle R \rangle$ орташа мәнін анықтау;
- $\langle R \rangle$ орташа мәні бойынша (3.5) формуласын қолдана отырып, Холл датчигіндегі ток тасымалдайтын бөлшектердің n концентрациясын анықтау.

3.1 кесте

I_c, A	$\Delta\varphi, B$	$B, Tл$	$R, m^3 \cdot Кл^{-1}$	$\langle R \rangle, m^3 \cdot Кл^{-1}$	n, m^{-3}

3.3.2 Магнит өрісінің индукциясының z координатасына байланыстылығын (- 100÷100) аралығында зерттеу.

- оқытушының нұсқауы бойынша соленоидқа токтың бір мәнін беру;
- датчик орналасқан штокты $\Delta z=1$ см аралығында соленоид бойымен жылжыта отырып, Холлдың ЭҚК-ін өлшеу. Алынған нәтижелерді 3.2- кестеге енгізу;
- $\langle R \rangle$ орташа мәні бойынша (3.4) формуланы қолдана отырып, Холл датчигінің әрбір орны үшін магнит индукциясын есептеу, алынған нәтижелерді 3.2- кестеге енгізу;
- 3.2- кестедегі мәндер бойынша $B=f(z)$ графигін сызу;
- алынған нәтижелер бойынша талдау жасап, қорытындыны тұжырымдап, алынған $B(z)$ тәуелділігін теориямен салыстыру.

3.2 кесте

$z, мм$	100	90	80	*	*
$\Delta\varphi, B$					
$B, Tл$					

3.4 Бақылау сұрақтары

- 3.4.1 Магнит индукциясы векторы-магнит өрісінің негізгі сипаттамасы.
- 3.4.2 Соленоид осіндегі магнит өрісі индукциясы нүктенің координатына қалай байланыста болады?
- 3.4.3 Шексіз ұзын соленоид үшін магнит индукциясының өрнегі қандай?
- 3.4.4 Холл эффектісінің мағынасы неде?
- 3.4.5 Холл датчигі деген не? Ол берілген жұмыста соленоидтың магнит өрісін зерттеу үшін қалай қолданылады?

4 ЭМК-13 зертханалық жұмысы. Айнымалы магнит өрістеріндегі ферромагнетиктердің магниттік сипаттамаларын және гистерезис тұзағын анықтау

Жұмыстың мақсаты: айнымалы магнит өрісіндегі ферромагнетиктердің магниттелу және оның магнитсіздену процестерін оқып үйрену.

Тапсырмалар:

- магниттелуінің $B = f(H)$ негізгі қисығы мен магнит өтімділігінің $\mu = \mu(H)$ өріс кернеулігіне байланыстылығын анықтау;
- берілген ферромагнетик үлгісінің негізгі магниттік сипаттамаларын анықтау.

4.1 Жұмыстың теориясы

Магниттік қасиеттері бойынша ферромагнетиктер күшті магниттелетін заттар болып саналады. Олар үшін индукция өрісі B (немесе магниттелу J) мен өріс кернеулігі H арасындағы байланыс (магниттік гистерезис тұзағы) өте күрделі болады.

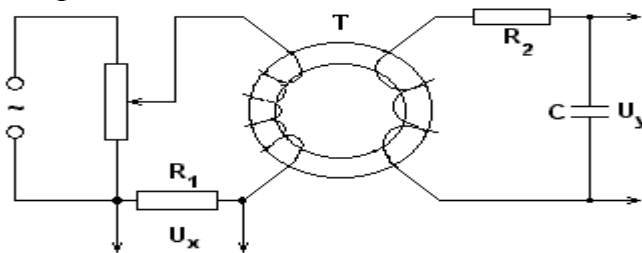
Қалдық индукция B_r (немесе қалдық магниттелу J_r), коэрцитивтік күш H_c , бастапқы μ_0 және максимал μ_{max} магнит өтімділіктері ферромагнетиктердің негізгі сипаттамалары болып табылады және олардың химиялық құрамы мен заттардың ішкі құрылысына байланысты.

Берілген ферромагнетик үлгісін циклды түрде магнитсіздендіргенде, процесс қайтымсыз болғандықтан, магнит өрісінің энергиясы шығындалады, оны гистерезис шығыны деп атайды. Шығындалған энергия ферромагнетик үлгісінің жылу энергиясына айналады да, ол қызады. Бұл құйынды токтар тудыратын қызуға қосымша қызу құрайды. Гистерезис шығыны Q гистерезис тұзағының ауданына пропорционал және бір магниттендіру- магнитсіздендіру циклы үшін:

$$Q = \oint \vec{H} d\vec{B}. \quad (4.1)$$

интегралымен анықталады.

Ферромагнетиктің гистерезис тұзағы мен магниттеліну қисығын бұл жұмыста осциллограф арқылы аламыз. Ол үшін айнымалы токтың магнит өрісіне зерттеліп отырған ферромагнетик үлгісін орналастырамыз. 4.1 -суретте гистерезис тұзағын бақылайтын қондырғының негізгі сұлбасы берілген. Зерттелетін үлгі ретінде феррит тороиды T қолданылады.



4. 1 сурет

Егер тороидтың бірінші орамасы I_1 айнымалы токпен R_1 кедергісі көмегімен қоректенетін болса, онда магнит өрісінің кернеулігі мына формуламен есептеледі:

$$H = n_1 I_1, \quad (4.2)$$

мұндағы n_1 – орамдардың сызықтық тығыздығы (бірінші орамадағы ұзындық бірлігіне келетін орам саны).

Осциллографтың горизонталь ауытқытушы пластинасындағы кернеу магнит өрісінің H кернеулігіне (13.1 сурет) тура пропорционал:

$$U_x = I_1 R_1 \frac{H}{n_1} \cdot R_1 \text{ немесе } H = \frac{n_1}{R_1} U_x = k_1 U_x, \quad (4.3)$$

мұнда
$$k_1 = \frac{n_1}{R_1} = \frac{N_1}{R_1 \cdot 2\pi r_T}$$

(r_T - тороидтың орта сызығының радиусы).

Тороидтың екінші орамасында қозатын индукция ЭҚК-і:

$$\varepsilon_i = -d\psi / dt.$$

Толық магнит ағыны $\psi = BN_2 S$, болғандықтан, мұндағы S -көлденең қимасының ауданы;

N_2 - екінші орамадағы орамдар саны, ондай болса:

$$|\varepsilon_i| = N_2 S \frac{dB}{dt} \text{ и } \frac{dB}{dt} = \frac{|\varepsilon_i|}{N_2 S}. \quad (4.4)$$

Осциллографтың вертикаль пластинасына B мәніне пропорционал U_y кернеу беру үшін екінші орама мен осциллограф тізбегіне интегралдаушы буын (4.1-суретте $R_2 C$ ұяшығы) қосу керек. Шынында да (4.4) теңдігінен:

$$B = \frac{1}{N_2 S} \int |\varepsilon_i| dt.$$

Индукция ЭҚК-і айнымалы ток үшін Ом заңынан анықталады:

$$\varepsilon_i = I_2 \sqrt{R_2^2 + (\omega L_2 - \frac{1}{\omega C})^2}. \quad (4.5)$$

Бұл (4.5) формулада екінші орамадағы орам саны өте аз болғандықтан, екінші орамадағы өздік индукция ЭҚК-і ескерілмеген.

Актив R_2 кедергісін және C сыйымдылықты индуктивтік және сыйымдылық кедергілері актив кедергіден өте аз болатындай етіп таңдап алынады. Ондай болса $\varepsilon_i = I_2 R_2$ деп алуға болады, сондықтан:

$$B = \frac{R_2}{N_2 S} \int I_2 dt. \quad (4.6)$$

Бұл өрнектегі $\int I_2 dt$ шамасы конденсатор астарларындағы q зарядқа тең, ал ол $q = CU_y$, ендеше (4.6) формуласынан U_y және B шамаларының арасындағы мына байланыстылықты аламыз, яғни:

$$B = \frac{R_2 C}{N_2 S} U_y = k_2 U_y, \quad (4.7)$$

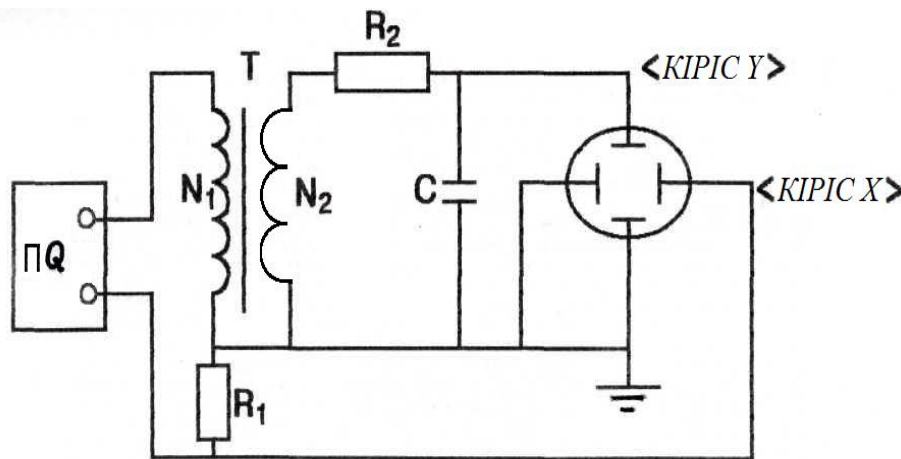
мұндағы $k_2 = R_2 C / (N_2 S)$.

Бұдан C конденсатордағы кернеудің шамасы ферромагнит өзегіндегі B магнит өрісінің индукциясына пропорционал екенін көреміз.

Горизонталь және вертикаль пластиналарына U_y және U_x кернеулерін берсек, онда бір-біріне перпендикуляр тербелетін электрон сәулелерінің тепе-теңдік қалыпқа, экран центріне қатысты қосылу нәтижесін аламыз. Тербелістің толық периоды ішінде сәуле осциллограф экранында белгілі бір масштабпен гистерезис тұзағын береді, бұл (4.2) және (4.7) теңдіктерінен көрінеді. Алынған гистерезис тұзағы зерттеліп отырған ферромагнетиктің магниттік қасиеттерін оқып үйренуге үлкен арқау болады.

4.2 Тәжірибе қондырғысының сипаттамасы

Айнымалы магнит өрісінде гистерезис тұзағын алу үшін ФПЭ-07 қондырғысы қолданылады, 4.2 -суретте оның негізгі сұлбасы кескінделген.



4.2 сурет

Зерттелетін ферромагнетик ретінде ферритті тороид T қолданылады. Тороидтың $N_1=200$ орам санынан тұратын бірінші орамасы дыбыс жиілікті айнымалы ток генераторынан PQ қоректенеді.

Кедергі $R_1 = 100$ Ом. Екінші ораманың орам саны $N_2=50$, кедергі $R_2 = 24$ кОм, конденсатор сыйымдылығы $C=0,047$ мкФ. Тороидтың орташа радиусы $r_t = 11,5$ мм, тороид қимасының ауданы $72 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

4.3 Жұмыстың орындалу реті және өлшеулер нәтижелерін өңдеу

4.3.1 Сұлбаны (4.2 сурет) жинау. Блок PQ мен осциллографты желіге қосып олардың қызуы үшін 5-7 минут күту. Тербеліс жиілігін 2 кГц мәніне қойып, осциллографтың горизонталь жаймаламасын ажыратып тастау.

4.3.2 Дыбыс жиілікті генератордан берілетін кернеуді өзгерте отырып, орамадағы магниттелу тогының ферромагнетиктің магниттелуінің қанығу

мәніне жететін шамасын аламыз. Осциллографтың «күшейту» тұтқасының көмегімен экранды толық қамтитын гистерезис тұзағының дұрыс пішінін алу (бұл амалдар оқытушы немесе зертханашы басшылығымен орындалады).

4.3.3 Экраннан миллиметр қағазына (немесе дәптерге) гистерезис тұзағының суретін түсіріп алу. Координаттар осьтеріне экран торының бөліктер құны шамасын салу.

4.3.4 Дыбыс жиілікті генератордың шығу кернеуін азайта отырып, гистерезис тұзағының үйірін алыңыз (5 түрлі циклдан аз болмауы тиіс). Әр тұзақ үшін олардың төбелерінің x_i және y_i мәндерін анықтап, олардың орташа мәндерін табу:

$$\langle x_i \rangle = \frac{|+x_i| + |-x_i|}{2}; \quad \langle y_i \rangle = \frac{|+y_i| + |-y_i|}{2}.$$

Алынған мәліметтерді 4.1-кестеге енгізу.

4.3.5 Мына шамалардың $N_1, R_1, r_T, R_2, C, N_2, S$ мәндері бойынша k_1 және k_2 коэффициенттерін есептеу.

4.3.6 Мына (4.3), (4.7) формулалары арқылы H_i және B_i мәндерін барлық тәжірибелер үшін есептеп, есептеу нәтижелерін 4.1-кестеге енгізу.

H_i және B_i мәндерін есептегенде электрон сәулесінің x_i, y_i осьтері бойынша ауытқуы U_x және U_y кернеуін беретінін және «X», «Y» каналдарының күшейткіш коэффициенттерімен анықталатынын ескеріңіз:

$$U_x = k_x \cdot x, U_y = k_y \cdot y.$$

k_x және k_y - коэффициенттері мәндері зертханалық стендте көрсетілген.

4.3.7 Алынған H_i, B_i барлық мәндері үшін зерттеліп отырған заттың μ магнит өтімділігін есептеу ($B = \mu \mu_0 H$ формуласын қолданыңыз). Есептеу нәтижелерін 4.1- кестеге енгізу.

4.1 кесте

Тәжірибе нөмірі	$ +x_i $	$ -x_i $	$\langle x_i \rangle$ шк. бөл	$H_i, \frac{A}{m}$	$ +y_i $	$ -y_i $	$\langle y_i \rangle$, шк. бөл.	$B_i, Tл$	μ_i
1									
2									
...									

4.3.8 Магниттелудің $B=B(H)$ негізгі қисығын және магнит өтімділігінің $\mu=\mu(H)$ өріс кернеулігіне тәуелділігін бір графикке салу. $\mu=\mu(H)$ қисығының графигі бойынша ферромагнетиктің магнит өтімділігінің максимал мәнін анықтау.

4.3.9 Миллиметрлік қағазға түсірілген шекті гистерезис тұзағынан экран торының бөлік құнына сәйкес H_c пен B_T координаттарының орташа мәндерін табу:

$$\langle x_c \rangle = \frac{|+x_c| + |-x_c|}{2} \text{ және } \langle y_r \rangle = \frac{|+y_r| + |-y_r|}{2}.$$

Зерттеліп отырған ферромагнит үлгісінің H_c коэрцитив күшін және B_r қалдық индукциясын (4.3.6-б. ұқсас). Барлық мәліметті 4.2 кестеге енгізу.

4.2 кесте

$ +x_c $	$ -x_c $	$\langle x_c \rangle$	$ +y_r $	$ -y_r $	$\langle y_r \rangle$	$H_c, \frac{A}{m}$	$B_r, Tл$	$S_{\text{шек}}, \text{бөл}^2$	$Q, Дж$

4.3.10 Шекті гистерезис ауданы S бойынша магнитсіздендірудің бір циклындағы гистерезис шығынын мына формуламен $Q = k_1 k_x k_2 k_y S_{\text{шек}}$ есептеу, (мұнда (4.1) формуласы қолданылған). Нәтижесін 4.2 кестеге енгізу.

4.3.11 Алынған мәліметтерге баға беру (оларды анықтамалық мәліметтермен салыстыру).

4.3.12 Алынған нәтижелер негізінде зерттелген ферромагнетиктің басты қасиеттері туралы қорытынды жасау.

4.4 Бақылау сұрақтары

4.4.1 Ферромагнетиктердің магниттелуінің механизмі қалай? J магниттелу шамасының физикалық мағынасы?

4.4.2 Ферромагнетиктердің негізгі ерекшеліктері неде?

4.4.3 Магнит гистерезисін осциллограф экраны бетінде қалай бақылауға болады? Тәжірибе қондырғының жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз.

4.4.5 Берілген жұмыста ферромагнит затының негізгі сипаттамалары қалай анықталады? Олар қандай шамалар?

4.4.6 Қандай ферромагнетиктер жұмсақ магнит, ал қайсысы қатаң магнит болып табылады? Олар қайда қолданылады ?

5 ЭМК-14 зертханалық жұмысы. Темірдің магниттік қасиеттерін оқып үйрену

Жұмыстың мақсаты: ферромагнетиктердің қасиеттерін оқып үйрену.

Тапсырмалар:

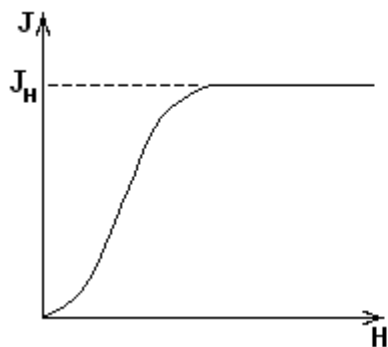
- темірдің негізгі магниттелу қисығы мен гистерезис тұзағын алу;
- негізгі магниттелу қисығынан темірдің магнит өтімділігін анықтау;
- $\mu = \mu(H)$ тәуелділігі графигін құру.

5.1 Жұмыстың теориясы

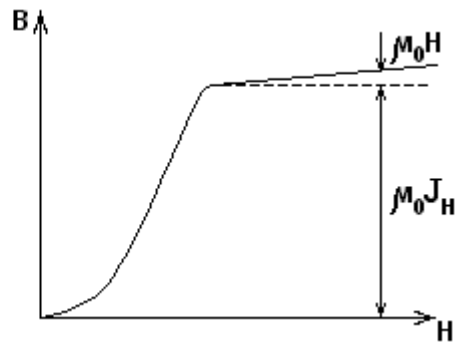
Темір ферромагнетиктер қатарын құрайды. Ферромагнетиктердің ерекше белгісі олардың магниттік қабылдағыштықтары мен магниттік өтімділіктері үлкен мәндерге ие болады, сонымен қатар, магнит өріс кернеулігі H пен магниттелу J (немесе H пен магнит индукциясы B)

арасындағы байланыс сызықты болмайды.

Ферромагнетиктің магниттелу қисығы 5.1-суретте көрсетілген.



5.1 сурет



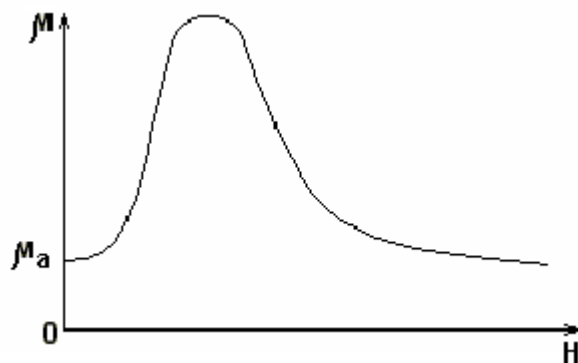
5.2 сурет

Егер үлгі алғашында толық магнитсізделген болып, H магнит өрісі кернеулігін нөлден бастап арттырған сайын J магниттелу бастапқыда жылдам өседі, одан кейін өсу азайып, ең ақырында, қанығу күйі деп аталатын мәніне жетеді, әрі қарай H өріс кернеулігін қанша өсірсек те магниттелу өспейді.

Мына $J(H)$ и $B(H)$ тәуелділіктердің графиктері (5.1, 5.2-суреттер) $\vec{B} = \mu_0 H + \mu_0 \vec{J}$ болғандықтан, бір-бірінен өзгеше болады. Сондықтан магниттелу J_k қанығуға жеткеннен кейін индукция H өріс кернеулігінің есебінен өсе береді.

Ферромагнетиктердің ең маңызды сипаттамаларының бірі-магнит өтімділігінің өрістің H кернеулігіне тәуелділігі (5.3 сурет).

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H} \quad (5.1)$$

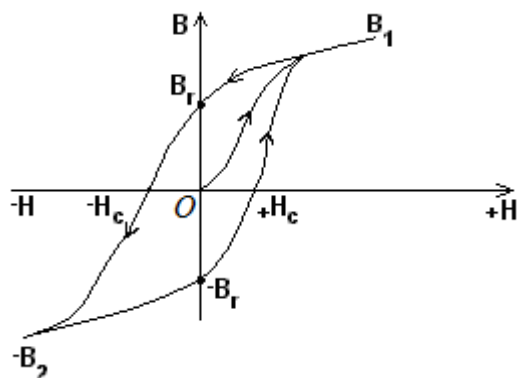


5.3 сурет

Бұл қисықтың максимумы (максимал өтімділік) бар. Магнит өтімділігі нөлден басталмай бір μ_a шамасынан басталады, оны бастапқы магнит өтімділік деп атайды.

Бұл жұмыста темір өзекшенің магнит өрісін оған оралған өткізгіштегі тоқты өзгерту арқылы аламыз. Егер де өзекше толық магнитсіздендірілсе,

онда токтың шамасын нөлден бастап өсіре отырып, B мен H байланыстылығын алуға болады, оны магниттелудің негізгі қисығы деп атайды (5.4-суреттегі OB_1 қисығы). Индукция қандай да болмасын бір B_1 мәніне жеткен соң, орамдағы токты азайтсақ, индукция OB_1 ден жоғары жататын B_1B_r қисығымен өзгереді.



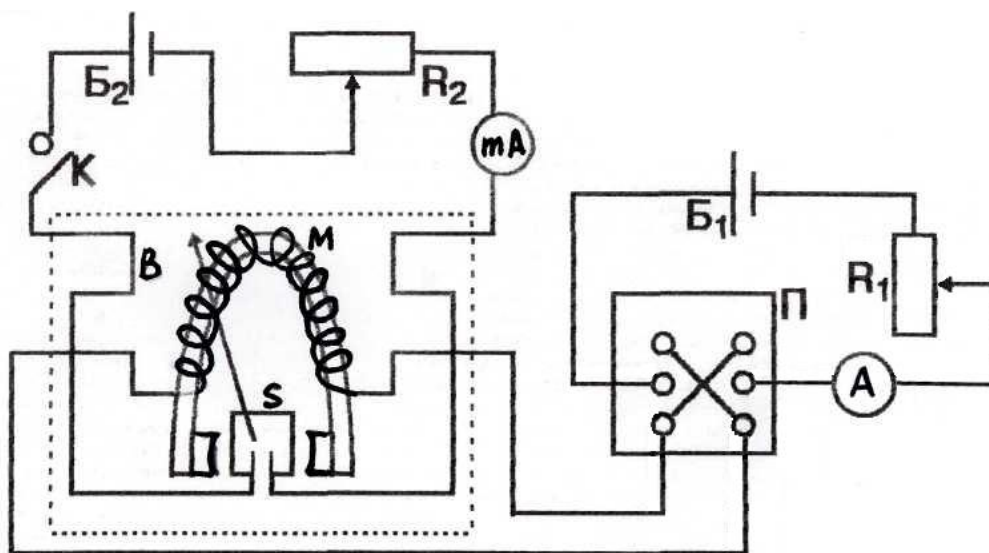
5.4 сурет

Бұдан біз B магнит индукциясы өзгерісінің H кернеулік өзгерісінен қалатынын көреміз. Бұл құбылыс магнит гистерезисі деп аталады. Гистерезис салдарынан, үлгінің алғашында өріс кернеулігінің қандай өрісте болғандығына байланысты, H кернеуліктің бір мәніне бірнеше индукция B мәні болуы мүмкін. Сыртқы өрісінің кернеулігі нөлге тең болғанда, магниттелу жойылмай, B_r қалдық индукциясы деп аталатын мәнге ие болады.

Ферромагнетикті магнитсіздендіру үшін оны туғызатын өріске қарама-қарсы бағыттағы H_c өріс беру керек. Егер осы өрісті ($-H$) нөлден бастап арттыра берсе, онда индукцияның өзгерісі $B_r - H_c - B_2$ қисығымен жүреді. Индукция B нөлге тең болатын $-H_c$ кернеулік коэрцитивтік күш деп аталады. Өріс кернеулігінің ($-H$) жеткілікті мәнінде ферромагнетик қанығуға дейін магниттеледі, бірақ магниттелудің бағыты $+H$ мәніндегіге қарағанда қарама-қарсы бағытта болады. Егер индукция B_2 мәндері абсолют шамасы бойынша B_1 мәндеріне тең болса, онда теріс өріс нөлге дейін кемігенде және одан әрі оң мәндеріне қарай өскенде, индукцияның өзгерісі $B_1B_r - B_2$ ұқсас, гистерезис тұзағының $B_2 - B_r - B_1$ бұтағы бойынша өзгереді. Егер индукция өзгерісі бір бағыттағы қанығудан екінші бағыттағы қанығуға дейін өтетін болса, онда оны гистерезистің максимал тұзағы дейді. Егер H -тың амплитудалық мәнінде магниттелу қанығу мәніне жетпесе, онда жеке цикл деп аталатын тұзақтар құрайды, олар максимал тұзақтың ішінде жатады. Әлбетте, коэрцитив күштің H_c және қалдық индукцияның шын мәндері тек максимал тұзағынан алынады.

5.2 Тәжірибе қондырғысының сипаттамасы

Гистерезис тұзағын алу үшін қолданылатын қондырғының сұлбасы 5.5-суретінде көрсетілген. Сұлбада пунктир сызық арқылы, M электрмагниттің ферромагнит өзекшесінде пайда болатын өрістің B индукциясын өлшеу үшін қолданылатын құрал болып көрсетілген. Электрмагниттің орамасы N орамнан тұрады да, B ток көзінен қоректенеді.



5.5 сурет

Электрмагнит полюстерінің арасында орамасы бар жеңіл S рамка орналасқан. Электрмагнит орамасы арқылы ток жіберсек, темір өзекше магниттеліп, полюстер арасында магнит өрісі пайда болады. Егер S рамкадан I_0 тұрақты ток жүретін болса, онда оған B магнит өрісіне пропорционал өзгертін айналдырушы күш моменті әсер етеді де, тілше белгілі бір бұрышқа бұрылады. Аспап шкаласы S рамкадағы токтың нақты бір мәніне сәйкес Тл бірлігінде бөліктенген. Өзекшедегі магнит өрісі кернеулігі мына формуламен анықталады, яғни

$$H = nI, \quad (5.2)$$

мұнда n - орам санының тығыздығы (аспапта көрсетілген).

I токтың шамасын, демек H өріс кернеулігін R_1 реостат арқылы өзгертуге болады. Тізбектегі токтың бағытын өзгерту Π айырып-қосқыш арқылы іске асады. PA құралы I токты, ал mA құралы S рамкадағы токты өлшейді.

5.3 Жұмыстың орындалу реті мен өлшеу нәтижелерін өңдеу

5.3.1 Электр тізбегімен, құралдармен толық танысқаннан кейін 5.5-суретінде көрсетілген тізбекті жинау.

5.3.2 K_1 кілтін қосып, R_2 реостат көмегімен рамкаға белгілі ток күшін қою (құрал бөліктенген токтың мәні аспапта көрсетілген).

5.3.3 Электрмагнит өзекшесінде қалдық магниттелу бар жағдайда аспап тілі нөлден басқа шамаға ауытқиды. Электрмагнит орамдарынан бірнеше рет кері бағытта ток жіберіп және оның шамасын нөлге дейін азайтып, өзекшені магнитсіздендіру керек. S рамкасында ток болып және өзекше толығымен магнитсізделгенде B аспап тілі нөлде болуға тиіс.

5.3.4 Реостатты R_1 кедергінің ең үлкен мәніне, ал Π айырып-қосқышын «+» жағдайына қою керек. Токтың шамасын $0,1$ А аралығында (R_1 реостаты арқылы) өсіре отырып, B мен I байланысын алу.

5.3.5 Индукцияның B максимал мәніне жеткеннен кейін, I токты біртіндеп (аз мөлшерде) нөлге дейін азайтып B мен I байланысын алуын жалғастырамыз. П-кілтін ажыратып $I = 0$ мәніндегі B жазып алу.

5.3.6 Кілтті П қарсы клеммаға ауыстырып-қосып (яғни электрмагниттегі токтың бағытын өзгертіп), B мен I арасындағы байланысты алу тәжірибесін қайталау, яғни алғашында реостаттың көмегімен токты көбейтіп, артынан B шамасының максимал мәніне жеткеннен кейін азайтады. Токтың мәні минималға жеткенде, П кілтті ажыратып, $I = 0$ үшін B мәнін жазу.

5.3.7 П кілтті бастапқы жағдайына қойып (5.3. 4 б.), ток шамасын B -ның ең үлкен мәніне жеткенше өсіру.

5.3.8 Жоғарыдағы 5.2 формуласымен орамдағы әр ток күші үшін H мәнін есептеу.

5.3.9 B мен H байланысты графигін құрып, тұйық гистерезис тұзағын алу

5.3.10 Негізгі магниттелу қисығынан H - тың әртүрлі нүктелері үшін 5.1 формуласын қолданып, темірдің μ магнит өтімділігін есептеп және μ -тің H -қа байланысты графигін құру.

5.3.11 Өлшеулер мәліметтерін 5.1 - кестеге енгізу.

5.3.12 Алынған нәтижелер бойынша зерттелген ферромагнетиктің негізгі қасиеттері туралы қорытынды жасау.

5.1 кесте

I, A	$B, Tл$	$H, A/м$	μ

5.4 Бақылау сұрақтары

5.4.1 Магнетик түрлері, олардың сипаттамалары мен қасиеттері.

5.4.2 Гистерезис құбылысының мағынасы? Гистерезис тұзағы, оның негізгі параметрлері.

5.4.3 Темірдің магнит өтімділігі магнит өріс кернеулігімен қандай байланыста болады? Не себептен біз оның мәнін тек негізгі магниттелу қисығының нүктелері арқылы есептей аламыз?

5.4.4 Тәжірибе қондырғысының жұмыс принципі.

6 ЭМК-15 зертханалық жұмысы. Магнетрон тәсілі арқылы электронның меншікті зарядын анықтау

Жұмыстың мақсаты: бөлшектің өзара перпендикуляр электр және магнит өрістеріндегі қозғалысын оқып үйрену.

Тапсырмалар:

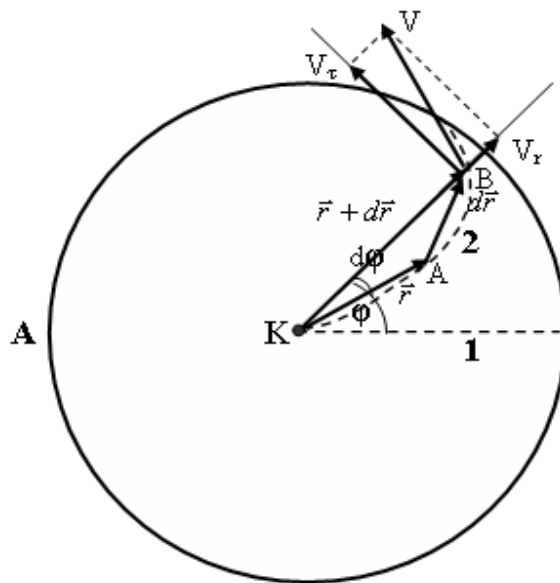
- магнетрон тәсілімен танысу;
- электронның меншікті зарядын анықтау.

6.1 Жұмыстың теориясы

Жұмыста электрон зарядының массасына қатынасын (e/m) магнетрон тәсілі арқылы табамыз. Магнетрон - жиілігі өте жоғары (СВЧ) электромагниттік толқын шығаратын электрвакуумды аспап. Қолданып отырған тәсілде және магнетронда электр мен магнит өрістерінің пішіндері бірдей.

Вакуумдық диод катодын қыздырғанда ұшып шығатын электрондар катод пен анод арасындағы сақина кеңістігінде қозғалады (электродтар коаксиалды цилиндрлер). Электродтардың осындай пішінінде және орналасуына байланысты электр өрісі \vec{E} электродтар арасында анодтан катодқа радиус бойымен бағытталады. Диод, соленоид ішіне, соленоидтың магнит өрісі \vec{B} диод өсіне параллель болатындай етіп орналасқан, былайша айтқанда электр өрісіне перпендикуляр. Бұл жағдайда электр өрісі электрондарды электрод кеңістігінде үдетіп, ал магнит өрісі олардың траекторияларын қисайтады.

Электрондардың қарастырылып отырған электр және магнит өрістеріндегі қозғалыс траекторияларын қарастырайық. Электронның катодтан ұшып шыққан бастапқы жылдамдығын нөлге тең деп алайық, демек электрондардың жылулық қозғалысы жылдамдығын ескермейміз. Олай болса, электр және магнит өрістерінің берілген бағдарларына сәйкес, электрондар қозғалысы электродтар осіне перпендикуляр жазықтықта болады. Есептеулер үшін электронның қозғалысын сипаттау мақсатында координаталар жүйесін қолданамыз, яғни электронның орнын катод осінен \vec{r} қашықтық пен φ полярлық бұрышпен сипаттаймыз (6.1 сурет).



6.1 сурет

Электронның (r, φ) жазықтығында А нүктесінен В нүктесіне қарай қозғалысын моменттер теңдеуін пайдаланып, өрнектеу ыңғайлы, яғни

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = [\vec{r}, q\vec{E}] + [\vec{r}, q[\vec{v}\vec{B}]], \quad (6.1)$$

мұндағы - $q = -e$ – электрон заряды.

Осы (6.1) теңдеуді катод осі бойымен бағытталған z осіне жобалайық:

$$\frac{d(mr^2\dot{\phi})}{dt} = eBr\dot{r}. \quad (6.2)$$

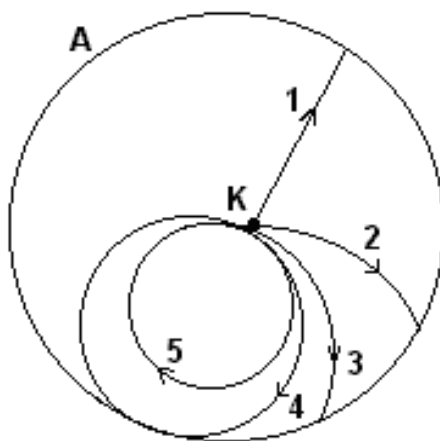
Теңдеудің (6.1) әр қосылғыштарының z осіне жобасын табу кезінде $L_z = J_z\omega$, мұндағы J_z - электронның z осіне қатысты инерция моменті, яғни $J_z = mr^2$, одан $L_z = mr^2\dot{\phi}$ шығатыны ескерілді. Әлбетте $[\vec{r}, q\vec{E}]_z = 0$. Екінші қосылғыштың жобасы $[\vec{r}, q[\vec{v}\vec{B}]]_z = eBr\dot{r}$. Теңдеуді (6.2) уақыт бойынша интегралдайық:

$$mr^2\dot{\phi} + C = \frac{1}{2}eBr^2. \quad (6.3)$$

Интегралдаудың C тұрақтысын бастапқы шарттардан табуға болады. Катод радиусы r_k - өте аз шама, сондықтан электронның қозғалысы басында r де аз, электрондар жылдамдықтары v да аз, демек $\dot{\phi}$ де аз, демек бұл қозғалыстың бастапқы мезетінде $r = 0$ деуге болады. Сонда (6.3) теңдеудегі интегралдау тұрақтысы нөлге тең болады. Сонымен:

$$\omega = \dot{\phi} = \frac{eB}{2m}, \quad (6.4)$$

аламыз.



6.2 сурет

Демек, электрондардың айналуының бұрыштық жылдамдығы B -ға сызықты тәуелділікте болып, берілген магнит өрісі индукциясы үшін тұрақты болады. Электрондардың айналуының бұрыштық жылдамдығының болуы магнит өрісі олардың траекториясын қисайтатындығының дәлелі. Электрондардың траекторияларының түрлерінің бірі 6.2-суретте көрсетілген.

Жалпы жағдайда электрондардың траекториясы, қисықтық радиусы анодқа жақындаған сайын кеміп отыратын айнымалы қисықтықты қисық

сызық болады. Магнит өрісі неғұрлым күшті болса, траектория соғұрлым көп қисаяды. $B=0$ болса, онда траектория түзу сызық (6.2-суретте, 1) болады. Өрістің аз мәндерінде траектория аздап қисаяды, алайда электрон анодқа жетеді (2, 3 қисықтар). Магнит өрісінің белгілі бір $B_{кр}$ критикалық мәнінде траектория өте көп қисаяды да, өзінің катодтан ең қашық нүктесінде анодты тек жанап қана өтеді (4 қисығы). Ақырында $B > B_{кр}$ мәнінде электрон анодқа еш түспейді де, катодқа қайта оралады (5 қисығы). Диодтағы ток $B = B_{кр}$ болғанда күрт төмендей бастайды.

Критикалық өрістің $B_{кр}$ мәнін табуға болады, егер $B = B_{кр}$ кезінде электронның $r = r_a$ (r_a - анодтың радиусы) нүктедегі жылдамдығының радиал құраушысы \dot{r} нөлге айналатынын ескерсек. Бұл нүктеде жылдамдықтың тек тангенциал құраушысы бар:

$$v_\tau = v = r_a \omega. \quad (6.5)$$

Электрон магнит өрісінде қозғалғанда магнит өрісі жұмыс жасамайды, сондықтан электрон катодтан анодқа орын ауыстырғанда, электр өрісінің жұмысы осы орын ауыстыру кезіндегі кинетикалық энергияның өсімшесіне тең болады:

$$eU = \frac{mv^2}{2}, \quad (6.6)$$

мұндағы U – катод пен анодтың арасындағы потенциалдар айырмасы. Катодтан ұшып шыққан электрондардың бастапқы жылдамдығы ескерілмейді. Осы (6.6) формулаға (6.4) және (6.5) формулалардан v және ω мәндерін қойып аламыз.

$$U = \frac{1}{8} r_a^2 B_{кр}^2 \frac{e}{m}, \quad (6.7)$$

Бұдан

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a}{B_{кр}^2 \cdot r_a^2}. \quad (6.8)$$

Ұзындығы L мен D диаметрі шамалас соленоидтың магнит өрісі индукциясы мына формуладан табылады, яғни:

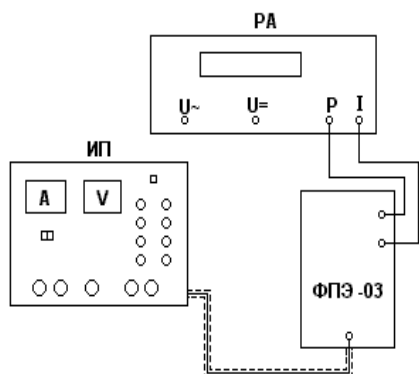
$$B_{кр} = \mu_0 n I_{кр} \frac{L}{\sqrt{L^2 + D^2}} = \frac{\mu_0 N I_{кр}}{\sqrt{L^2 + D^2}}, \quad (6.9)$$

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

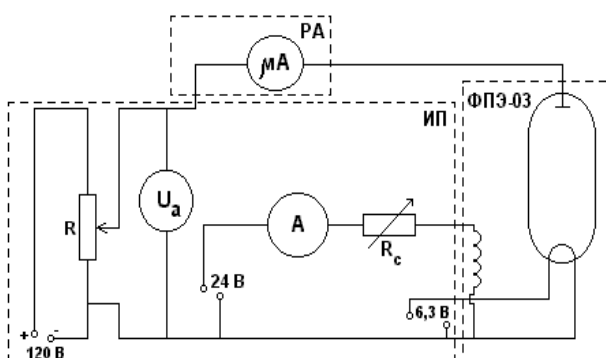
N - соленоидтың орамдар саны.

6.2 Тәжірибе қондырғысының сипаттамасы

Қондырғының қарапайым электр сұлбасы 6.3 және 6.4 суреттерінде көрсетілген.



6.3 сурет



6.4 сурет

Диод пен соленоид ФПЭ-03 касеті құрамына кіреді, ал қондырғы /ИП/ ток көзінен қоректенеді. Диодтың қыздырғыш қылы 6.3 В, соленоид орамасы-24 В, анод тізбегі-120 В шығыс кернеуімен қоректенеді, олардың кернеулерін R потенциометр арқылы өзгертуге болады. Анод тогын РА аспабымен, ал соленоид тогы мен анод кернеуін ток көзінде орналасқан /ИП/ амперметр және вольтметр көрсетулерімен анықтаймыз.

6.3 Жұмыстың орындалу тәртібі мен тәжірибе нәтижелерін өңдеу

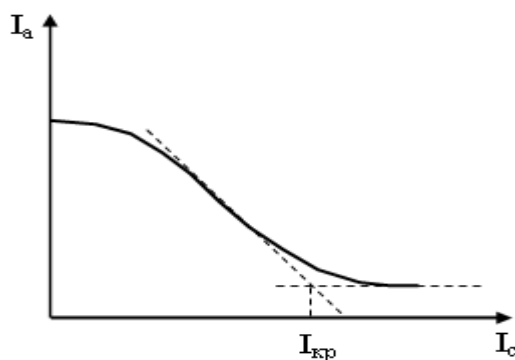
6.3.1 Электр сұлбасын жинау (6.3 және 6.4-суреттер), ол үшін ФПЭ-03 бетіндегі ұяларды қоректендіру көзі /ИП/ және РА өлшегіш құралдың сәйкес ұяларымен қосу.

6.3.2 ИП-дағы вольтметр арқылы анод кернеуін $U_a = 50$ В қою.

6.3.3 Анод кернеуінің тұрақты мәнінде соленоид тогын /0.1 А сайын/ өсіре отырып, ең кіші мәнінен ең үлкен мәніне дейінгі аралықта анод тогының I_a соленоид тогына I_c тәуелділігін алып, мәліметтерді 6.1- кестеге енгізу.

6.3.4 Анод кернеуінің екі мәні үшін /ең үлкен 50 В/ 6.3.2 және 6.3.3 бапты қайталап, өлшеулер нәтижелерін 6.1- кестеге жазу.

6.3.5 Әрбір анод кернеуі үшін анодтағы токты ордината, ал соленоидтағы ток мәндерін абсцисса осіне салып, анод тогының соленоид тогына байланысты графигін салу. Графиктен иілу және анод тогының ең кіші өзгеру нүктелерінен жанама жүргізіп, қиылысқан нүктесінен I_c осіне түзу жүргізе отырып (6.5 сурет), $I_{кр}$ шамасын табу. Алынған $I_{кр}$ мәндерін 6.2- кестеге енгізу.



6.5 сурет

6.3.6 Соленоидтағы токтың әр $I_{кр}$ критикалық мәні үшін (6.9) формула бойынша $B_{кр}$ магнит өрісі индукциясын есептеу. L, D, N, r_a мәндері ФПЭ-03 касетасының алдыңғы бетінде берілген.

6.3.7 Әрбір $B_{кр}$ мәні үшін (6.8) формуласынан e/m шамасын тауып және оның орташа мәнін есептеу.

6.3.8 Алынған e/m қатынасын табудағы жіберген қателіктерін есептеу.

6.3.9 Тәжірибе жүзінде алынған e/m шамасын кестелік /электронның меншікті заряды/ мәнімен салыстырып, айырмашылықтың болу себебін көрсету.

6.1 кесте

$U_a =$		$U_a =$		$U_a =$	
I_c, A	I_a, mA	I_c, A	I_a, mA	I_c, A	I_a, mA

6.2 кесте

U_a, B	$I_{кр}, A$	$B_{кр}, Tл$	$e/m, Кл/кг$

6.4 Бақылау сұрақтары

6.4.1 Электронның меншікті зарядының мәнін анықтауда магнетрон тәсілінің мағынасы қандай?

6.2 Зарядталған бөлшек v жылдамдықпен индукциясы B магнит өрісіне: а) перпендикуляр; б) қандай да болмасын бір бұрыш жасап қозғалғандағы траекториялары қандай болады?

6.3 Заряды бар бөлшектің жылдамдығы біртекті электр өрісінің күш сызықтарына параллель бағытта болса, бөлшек қандай қозғалыста болады?

6.4.4 Суретте коаксиалды электроды бар диод үшін бөлшек траекториясының кез келген нүктесіндегі \vec{E} және \vec{B} векторларының, сондай-ақ Лоренц күші \vec{F} және \vec{v} векторларының бағыттары қандай болады?

6.4.5 B шамасының әртүрлі мәндерінде электронның траекториялары қандай болуы мүмкін? $B_{кр}$ дегеніміз не?

6.4.6 Электрондардың траектория пішініне E және B шамаларының өзгеруі қалай әсер етеді?

6.4.5 I_a тогының I_c тогына байланыс сызығы қалай түсіндіріледі?

6.4.6 Электронның меншікті заряды U_a мәніне қалай байланысты?

7 ЭМК-16 Зертханалық жұмысы. Өзара индукция құбылысын оқып үйрену

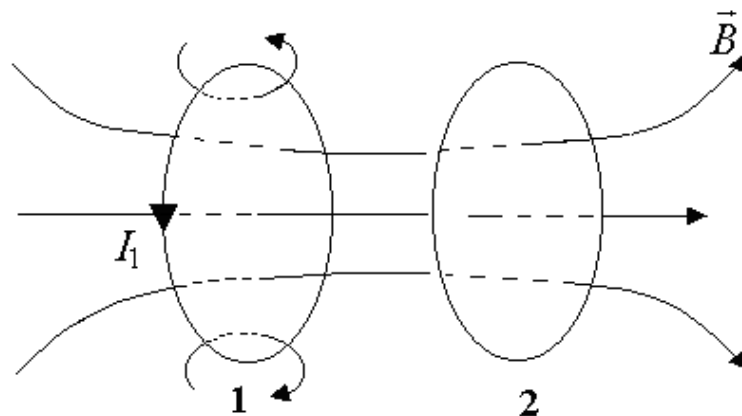
Жұмыстың мақсаты: екі ораманың өзара индуктивтігін тәжірибе жүзінде анықтау тәсілін меңгеру.

Тапсырмалар:

- коаксиалды орналасқан екі ораманың өзара индуктивтілігін өлшеу;
- өзара индуктивтіліктің орамалардың бір-бірінен қашықтығына, ондағы токтың амплитудасына және жиілігіне байланысын оқып үйрену.

7.1 Жұмыстың теориясы мен тәжірибе қондырғысының сипаттамасы

Бір-бірінен қандай да болмасын бір қашықтықта орналасқан 1 және 2 екі контурды (7.1 сурет) қарастырайық.



7.1 сурет

Егер контурлардың біреуі (мысалы, 1) арқылы ток жүргізсек, онда осы ток тудыратын \vec{B}_1 магнит өрісі 2 контурын қияды. Егер I_1 тогы айнымалы болса, онда Фарадейдің электрмагниттік индукция заңы бойынша айнымалы магнит өрісі 2 контурда электр қозғаушы күшін индукциялайды да, онда ток (немесе оның өзгерісі) пайда болады. Сонымен контурлар бір-бірімен электрмагниттік индукция арқылы байланысқан екен.

Магнит индукциясының әр нүктедегі сан мәні, өріс тудыратын (Био-Савар-Лаплас заңы) ток күшіне пропорционал, демек 2 контур арқылы өтетін бірінші ток тудыратын магнит ағыны I_1 тогына пропорционал болады:

$$\Phi_{21} = \int_2 \bar{B}_1 d\bar{s}_2 = M_{21} I_1. \quad (7.1)$$

Бұған ұқсас, екінші контурда I_2 тогы болғанда, бірінші контурды қиып өтетін магнит ағыны:

$$\Phi_{12} = M_{12} I_2. \quad (7.2)$$

Формулалардағы (7.1 және 7.2) пропорционалдық коэффициенттері M_{21} мен M_{12} контурлардың өзара индуктивтігі деп аталады. Олар контурлардың пішініне, өлшеміне және өзара орналасуына, сондай-ақ, ортаның магниттік қасиеттеріне байланысты. Ферромагнетиктер болмаған жағдайда бұл коэффициенттер бір-біріне тең болады:

$$M_{12} = M_{21}. \quad (7.3)$$

Бұл жұмыста екі коаксиалды: біреуі ұзын (1), екіншісі қысқа (2) цилиндр орамалардың өзара индуктивтігі зерттеледі. Қысқа орама 2 ұзын ораманың ішіне енгізілгенде, ол оны бойлап қозғала алады.

Егер ораманың біреуі (мысалы, 1) арқылы айнымалы ток жүргізсек:

$$I_1 = I_{1m} \cos \omega t,$$

онда екінші орамада индукция электр қозғаушы күші қозады

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt} = M_{21} I_{1m} \sin \omega t.$$

Оның ε_2 амплитудалық мәні:

$$\varepsilon_{2m} = M_{21} I_{1m} \omega,$$

бұдан

$$M_{21} = \frac{\varepsilon_{2m}}{I_{1m} \omega}. \quad (7.4)$$

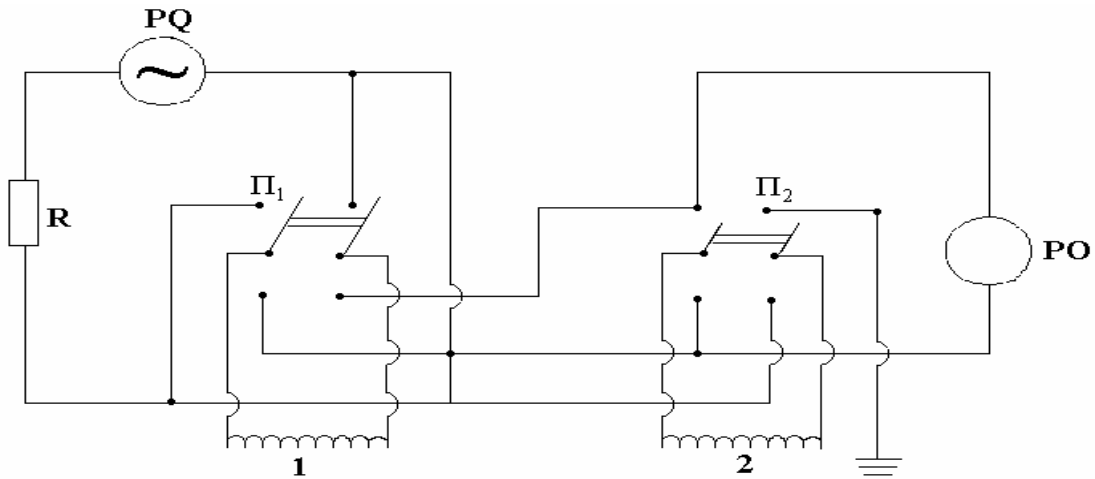
Егер екінші орамаға ток берілсе, онда бірінші орамада электр қозғаушы күші қозады. Жоғарыдағыға ұқсас:

$$M_{12} = \frac{\varepsilon_{1m}}{I_{2m} \omega}. \quad (7.5)$$

аламыз.

Сонымен, орамалардың біреуіне белгілі ток беріп және екінші орамада қозатын ЭҚК-ін өлшеп алу арқылы өзара индуктивтілікті анықтауға болады.

Орамалардың (1 және 2) өзара индуктивтігін өлшеуге арналған қондырғының электр сұлбасы 7.2 - суретте берілген.



7.2 сурет

Ораманың біреуі дыбыс жиілікті PQ генераторынан қоректенеді, одан $U = U_m \cos \omega t$, кернеуі R кедергі арқылы беріледі. Генератор панелінде орналасқан вольтметр кернеудің әсерлік мәнін өлшейді, яғни:

$$U_9 = U_m / \sqrt{2} . \quad (7.6)$$

Кедергінің R мәні мына қатынас шарт орындалатындай етіп алынады

$$R = \sqrt{R_1^2 + L_1^2 \omega_1^2} .$$

Бұл жағдайда 1 орама арқылы жүретін токты

$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R} \cos \omega t = I_{1m} \cos \omega t \quad (7.7)$$

өрнекпен анықталады деуге болады.

Мұндағы
$$I_{1m} = \frac{U_m}{R} .$$

Сонымен (7.6), (7.7) өрнектерін және $\omega = 2\pi\nu$ екенін ескере отырып, екінші және бірінші орамалардың өзара индуктивтігін есептейтін формуланы жазуға болады:

$$M_{21} = \frac{\varepsilon_{2m} \cdot R}{2\pi\nu \cdot U_9 \sqrt{2}} = \frac{\varepsilon_{2m} R}{8,88 U_9 \nu} \quad (7.8)$$

ЭҚК-інің ε_{2m} амплитудасын өлшеу үшін PO осциллографы қолданылады.

Бірінші және екінші орамалардың M_{12} өзара индуктивтігін анықтау үшін екінші орамамен ток жүргізіп алып, бірінші орамада қозатын ЭҚК-ін өлшеу керек. Ол үшін П₁ және П₂ айырып-қосқыштарды қарама-қарсы орындарына ауыстыру қажет (7.2 сурет).

7.2 Жұмыстың орындалу реті және өлшеу нәтижелерін өңдеу

7.2.1 Орамалардың M_{21} және M_{12} өзара индуктивтіктерін өлшеу және оның орамалардың өзара орналасуына тәуелділігін зерттеу:

- қондырғыны жұмысқа даярлау: генератор PQ мен осциллографтың РО қосылуын тексеру; орамалардың бір-біріне қатысты орналасуын көрсететін шкаласы бар штоктың көмегімен қозғалмалы 2 орамасын ең шеткі орынға орналастыру;

- кернеудің U_3 мәні мен генератордың ν жиілігі мәнін қою (оқытушының нұсқауы бойынша), 1 орамаға кернеу беру (Π_1 айырып-қосқышының көмегімен), ал 2 орамасының ЭҚК-ін осциллографқа (Π_2 айырып-қосқышының көмегімен);

- осциллограф көмегімен ε_{2m} мәнін анықтау. Бұл үшін шкала бөліктерімен, H сигнал кескінінің шеткі нүктелерінің ара қашықтығын вертикаль бойымен өлшеу қажет, канал күшейткішінің k коэффициентін ("V/дел." Айырып-қосқышы) жазып алу. Амплитуданың ε_{2m} мәні мына формуламен анықтау:

$$\varepsilon_{2m} = \frac{k \cdot H}{2}; \quad (7.9)$$

- ораманы қарама-қарсы шеткі орынға қарай әр 1 см сайын қозғай отырып, ε_{2m} мәндерін жазып алу;

- формула (7.8) арқылы M_{21} мәндерін есептеу. Барлық мәліметтерді 7.1-кестеге енгізу;

7.1 кесте

$U_3 = \dots B$		$\nu = \dots Гц$		$R = 10^4 \text{ Ом}$	
$z, \text{ см}$	ε_{2m}		$z, \text{ см}$	ε_{1m}	
	<i>Бөл</i>	<i>B</i>		<i>бөл</i>	<i>B</i>
	$k = \dots$			$k = \dots$	

- орамалардың 1 және 2 «орындарын ауыстырып» (Π_1 және Π_2 айырып-қосқыштардың көмегімен), 7.3; 7.4 өлшеулерді қайталап, M_{12} есептеу;

- өзара индуктивтіктердің M_{21} және M_{12} координатқа z (z 1 және 2 орамалардың центрлерінің ара қашықтығы) байланыстылығы графигін салу.

7.2.2 Қоректендіруші кернеу амплитудасының әртүрлі мәндері үшін ораманың M_{21} өзара индуктивтігін өлшеу:

- орамаларды (1 және 2) бір-біріне қатысты орналастыру;

- оқытушының нұсқауымен қоректендіруші PQ генераторының жиілігін қою;

- ЭҚК-інің ε_{2m} амплитуда мәндерін 1 орама тізбегіндегі U_3 кернеуінің 0-5 В аралығында әр 0,1 В сайынғы мәндері үшін өлшеу;

- M_{21} мәндерін (7.8 формуласы бойынша) есептеу;

- алынған мәліметтерді 7.2-кестеге енгізу.

7.2 кесте

$v = \dots \Gamma\text{ц}$		$R = 10^4 \text{ Ом}$				$k = "V/\text{бөл.}"$			
U_3, B									
ε_{2m}, B									
$M_{21}, \Gamma\text{н}$									

7.2.3 Қоректендіруші кернеудің әртүрлі жиіліктері үшін M_{21} өлшеу:

- 2 орамасын 1 орамаға қатысты ортаңғы орынға қою;
- генератор кернеуі амплитудасын оқытушы нұсқауымен (0-5 В аралығында) қою;
- ε_{2m} амплитудасын тербелістердің 5-тен 20 кГц аралықтарындағы әртүрлі жиіліктерге сәйкес (10 мәннен кем емес) өлшеу;
- M_{21} есептеу. Алынған мәліметтерді 7.3 - кестеге енгізу;

7.3 кесте

$U_3 = \dots B$		$R = 10^4 \text{ Ом}$							
$v = \dots \Gamma\text{ц}$									
ε_{2m}, B									
$M_{21}, \Gamma\text{н}$									

- әр тапсырмадағы алынған нәтижелерді талдау. Орамалардың өзара индуктивтігіне олардың салыстырмалы орналасуы, олардың біреуімен жүретін ток күші амплитудасы мен жиілігі қалай әсер ететіндігі туралы қорытынды жасау.

7.3 Бақылау сұрақтары

7.3.1 Екі немесе бірнеше контурлардың магниттік байланысы немен өрнектеледі?

7.3.2 Екі контурдың өзара индуктивтігі неге байланысты?

7.3.3 Осы жұмыста орамалардың өзара индуктивтігін анықтау әдістемесінің мәні неде?

7.3.4 Екі контурдың өзара индукциясының ЭҚК-і неге тең?

7.3.5 Бұл жұмыста өзара индукцияның ЭҚК-і қалай өлшенеді?

Әдебиеттер тізімі

- 1 Савельев И.В. Жалпы физика курсы.- М.: Наука, 1989. - т. 2.
- 2 Бәйімбетов Ф.Б., Электр және магнетизм: оқу құралы / Ф.Б. Бәйімбетов, Т.С. Рамазанов; Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ.- Алматы: Қазақ университеті, 2011.- 280 б.
- 3 Трофимова Т.И. Жалпы физика курсы. -М.: Высш. шк., 2002.
- 4 Иродов И.Е., Электрмагнетизм. Негізгі заңдар: оқулық / И.Е. Иродов.- Алматы, 2013.- 332 б. (ҚР ЖОО қауымдастығы).

Мазмұны

Кіріспе.....	3
1 Зертханалық жұмыс ЭМК-10. Магнит өрістерін модельдеу тәсілімен зерттеу	4
2 Зертханалық жұмыс ЭМК-11. Жердің магнит индукциясының горизонталь құраушысын өлшеу	11
3 Зертханалық жұмыс ЭМК-12. Соленоидтың магнит өрісін Холл эффекті көмегімен анықтау	14
4 Зертханалық жұмыс ЭМК-13. Айнымалы магнит өрістеріндегі ферромагнетиктердің магниттік сипаттамаларын және гистерезис тұзағын анықтау.....	17
5 Зертханалық жұмыс ЭМК-14. Темірдің магниттік қасиеттерін оқып үйрену	22
6 б Зертханалық жұмыс ЭМК-15. Электронның меншікті зарядын магнетрон тәсілімен анықтау	27
7 Зертханалық жұмыс ЭМК-16. Өзара индукция құбылысын оқып үйрену	32
Әдебиеттер тізімі	37

Байпақбаев Түркістан Сайдахметұлы
Искаков Жарылқасын
Сәрсенбаева Сулуқас Низаматдинқызы

ЭЛЕКТР ТОГЫ. МАГНЕТИЗМ

Барлық мамандықтардың студенттері үшін зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар

Редактор Қ. С.Телғожаева
Стандарттау бойынша маман Н.Қ.Молдабекова

Басуға қол қойылды
Таралымы 80 дана
Көлемі 2,25 баспа табақ.

Пішімі 60×84 1/16
Баспаханалық қағаз №1
Тапсырыс бағасы 1125 теңге

«Алматы энергетика және байланыс университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамының
көшірмелі-көбейткіш бюросы
050013, Алматы, Байтұрсынов көшесі, 126