

СӘТБАЕВ
УНИВЕРСИТЕТІ



SATBAYEV
UNIVERSITY

Г. К. Турлыбекова, М. Ш. Исмагулова

ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

Есептер шығару құралы
(техникалық мамандықтардың 1–2 курс студенттері үшін)

Университеттің Оқу-әдістемелік кеңесі
оқу құралы ретінде ұсынған

Алматы 2022

ӘОЖ 537(075.8)

ББК 22.33я73

Т 81

Пікір жазғандар:

Асембаева М. К., физ.-мат. ғыл. канд., «Жылу физикасы және техникалық физика» каф. ассоц. проф., әл-Фараби атындағы ҚазҰУ;

Бастыкова Н. Х., PhD, «Плазма физикасы, нанотехнология және компьютерлік физика» каф. ассоц. проф., әл-Фараби атындағы ҚазҰУ;

Майлина Х. Р., физ.-мат. ғыл. канд., «Жалпы физика» кафедрасының ассоц. проф., Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ

Сәтбаев университеті Оқу-әдістемелік кеңесінің 2022 ж. басылым жоспары бойынша басылды.

Турлыбекова Г. К., Исмагулова М. Ш.

Т81 Электр және магнетизм. Есептер шығару құралы (техникалық мамандықтардың 1–2 курс студенттері үшін). – Алматы: ҚазҰТЗУ, 2022. – 115 б., Сурет 33. Библиогр. – 14 атау.

ISBN 978-601-323-313-0

Оқу құралы ҚР Білім және ғылым министрлігі бекіткен Типтік оқу бағдарламасына және мамандықтың МЖБС талаптарына сай, сондай-ақ, практикалық сабақтарды жүргізудің психологиялық-педагогикалық негіздерін ескере отырып құрастырылған.

Оқу құралының әдістемесі студенттер физиканың теориялық негіздерін меңгеру барысында ойлау қабілеттерінің белсенді болуына ықпал етеді, ғылыми-техникалық ақпараттар ағымында бағдарлана алу дағдысын қалыптастырады, сондай-ақ, болашақ инженерлік қызметте алған білімді практикалық қолдана білуге бағыттайды.

Оқу құралы техникалық мамандықтардың студенттеріне арналған. Құралда типтік есептерге және күрделі есептерге толығымен талдау келтірілген, сондай-ақ, өздігінен шығаруға есептер берілген.

ISBN 978-601-323-313-0

© Турлыбекова Г. К.,
Исмагулова М. Ш., 2022
© ҚазҰТЗУ, 2022

Кіріспе

Есептер шығара алу – оқу материалын меңгеру және тереңдетіп оқуды бағалаудың ең жақсы критерийі болып табылады. Жұмыс түріне байланысты инженерге әртүрлі өндірістік: технологиялық, конструкторлық, зерттеулік есептерді шешуге тура келеді. Көп жағдайда бұлар типтік емес және дәстүрлі емес есептер. Мұндай жағдайда инженер өздігінен есептің шартын тұжырымдап және оны шешу жолдарын іздеуге тура келеді. Яғни, есеп шығара алу – әрбір инженерге қажетті кәсіби қабілет.

Физикалық есептерді шығару:

- физиканың негізгі заңдары мен формулаларын түсінуге және есте сақтауға;

- нақты, практикалық сұрақтарды шешу үшін жалпы заңдарды қолдана алу білімі мен дағдыларын дамытуға мүмкіндік береді.

Физикалық есептерді шешуді үш кезеңге бөледі:

- физикалық,
- математикалық,
- шешімді талдау.

Физикалық кезең есептің шартымен танысу, оның негізінде жатқан физикалық заңдылықтарды анықтаудан тұрады. Ары қарай, есептің шартын физикалық шамалардың белгіленуі арқылы қысқаша жазып, оларды Халықаралық бірліктер жүйесінде (ХБЖ) өрнектеу. Одан кейін, есептің мазмұнын білдіретін схемалық сызбасын сызып, берілген құбылысты сипаттайтын барлық шамаларды сызбада көрсету. Егер процесті толық сипаттау үшін есептің шартында берілмеген шамаларды қолдану керек болса, оларды есептің шешіміне қосу қажет. Талдаудан кейін ізделініп отырған физикалық шама белгісіз болатын теңдеулер құрылып, физикалық кезең математикалық кезеңге ауысады.

Математикалық кезең теңдеулер жүйесін шешуден басталып, есептің сандық мәндегі жауабын алумен аяқталады.

Талдау кезеңі табылған шаманың өлшем бірлігін анықтаудан, алынған сандық жауаптың ізделініп отырған шаманың физикалық мүмкін мәнімен сәйкес келуін тексеруден тұрады.

Оқу құралы 4 тараудан тұрады, әрбір тарау:

- негізгі анықтамалар мен формулалар келтірілген таныстыру бөлімінен;

- физикадан есептерді шығару кезінде қолданылатын ең көп таралған тәсілдер, жалпы әдістер нақты есептердің мысалдарында қарастырылған және сипатталған әдістемелік бөлімнен;

- өздігінен шығару үшін ең типтік есептердің жиынтығынан тұратын бөлімдерден тұрады.

Есептерді шығаруға және рәсімдеуге нұсқаулар

1. Есептің шартын толығымен жазу.

2. Сандық мәндерді жазып, оларды физикалық шамаларды өлшеудің Халықаралық бірліктер жүйесіне аудару (ХБЖ).

3. Осы есепті шешу барысында қолданылатын физикалық шамалардың сәйкесінше белгіленулерін көрсете отырып, есептің мазмұнын түсіндіретін сурет немесе сызбаны сызу.

4. Есептің шартын талдап және оны шығару үшін қажет негізгі заңдарды көрсетіп, оларды аналитикалық түрде жазу. Егер шамалар векторлық болса, онда суретте оның бағытын көрсетіп, және бұл бағыттар қалай анықталатындығын түсіндіру керек.

5. Егер есепті шешу барысында қандай да бір заңды сипаттайтын немесе қандай да бір физикалық шаманың анықтамасы болып табылмайтын дербес формула қолданылса, онда оны өздігінен қорытып шығару қажет.

6. Есепті шығару жолын қысқа түрде, бірақ түпкілікті түсіндірулермен келтіру қажет. Есепті шығару және талдау нәтижесі теңдеулер жүйесін құру болып табылады, бұл теңдеулер барлық ізделініп отырған шамалардан тұрады.

7. Есептің шешімін аналитикалық түрде алу, яғни ізделініп отырған шамаларды берілген шамалар арқылы әріптік түрде және стандартты физикалық тұрақтылар арқылы өрнектеу.

8. Алынған формулаға ХБЖ өрнектелген барлық шамалардың сандық мәндерін қою. Есептеу жүргізіп, ізделініп отырған нәтижені алу. Ізделініп отырған шаманың өлшем бірліктерін көрсетіп, жауапты жазу.

9. Алынған нәтижені талдау.

10. Өлшем бірлікті тексеру.

1 ТАРАУ

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

1.1 Негізгі формулалар мен анықтамалар

1. Кез-келген дененің заряды дискретті элементар зарядтардан тұратындығы, және олардың модульдері $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл-ға еселі екендігі белгілі. Элементар заряд e – табиғаттағы ең кіші заряд.

$$q = \pm ne, \quad e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \quad (1.1)$$

n – бүтін сан.

Заряд тасымалдаушылар – элементар бөлшектер. Теріс элементар электр зарядына ие ең кіші бөлшек – электрон, электронның массасы $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг.

Оң элементар электр зарядына ие ең кіші бөлшек – позитрон. Мұндай зарядқа ядро құрамына енетін протон да ие. Протон массасы $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

2. Кулон заңы:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon r^2}, \quad k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \quad (1.2)$$

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрлік тұрақты.

3. Электр өрісі – материяның ерекше түрі, осы өріс арқылы электр зарядтары өзара әсерлеседі. Электр өрісін сандық жағынан сипаттайтын шамалар: электр өрісінің кернеулігі және потенциал.

Кернеулік – электростатикалық өрісті күш жағынан сипаттайды, ол өріске енгізілген q_0 бірлік, оң, сыншы, нүктелік зарядқа өріс қандай күшпен әсер ететінін анықтайды:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}, \quad [E] = 1 \text{ Н/Кл} = 1 \text{ В/м}. \quad (1.3)$$

Нүктелік зарядтың электр өрісінің кернеулігі:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{\varepsilon r^3} \vec{r}, \quad E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{\varepsilon r^2} \quad (1.4)$$

Потенциал – электр өрісін энергетикалық жағынан сипаттайтын шама, ол сан жағынан өрістің берілген нүктесіндегі бірлік оң зарядтың потенциалдық энергиясына тең:

$$\varphi = \frac{W}{q_0}, \quad [\varphi] = 1\text{В (Вольт)} = 1\text{Дж/Кл}. \quad (1.5)$$

Өрістің бастапқы және соңғы нүктелері арасындағы потенциалдар айырымы – бірлік оң зарядтың өрістің бастапқы нүктесінен соңғы нүктесіне орын ауыстыруы кезіндегі жасалған жұмысына тең.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q_0}. \quad (1.6)$$

Нүктелік зарядтың электр өрісінің потенциалы:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}. \quad (1.7)$$

4. Кернеулік пен потенциал арасындағы байланыс:

$$\vec{E} = -\text{grad } \varphi = -\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{k}\right),$$

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – OX, OY, OZ осьтерінің бағытын көрсететін бірлік векторлар.

Біртекті электр өрісі үшін:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l}. \quad (1.8)$$

5. $\vec{E}$ векторының циркуляциясы туралы теорема:

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = 0 \quad (1.9)$$

6. Электр өрісінің кернеулік векторының элементар ағыны:

$$d\Phi = \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \cdot dS \cdot \cos \alpha = E_n dS \quad (1.10)$$

Электр өрісінің кернеулік векторының толық ағыны:

$$\Phi = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_S E \cdot dS \cdot \cos \alpha = \int_S E_n dS. \quad (1.11)$$

α – $\vec{E}$ векторының бағыты мен бетке түсірілген $\vec{n}$ нормаль вектордың бағыты арасындағы бұрыш. Егер бет кернеулік сызықтарына перпендикуляр болса ($\alpha = 0^\circ$) және электр өрісінің кернеулігі тұрақты болса ($\vec{E} = const$), онда

$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{S} = E \cdot S \quad (1.12)$$

Халықаралық бірліктер жүйесі бойынша (ХБЖ):

$$[\Phi] = \frac{В}{м} \cdot м^2 = \frac{Дж \cdot м}{Кл} = \frac{Н \cdot м \cdot м}{А \cdot с} = \frac{кг \cdot м}{с^2} \cdot \frac{м^2}{А \cdot с} = \frac{кг \cdot м^3}{А \cdot с^3} = кг \cdot м^3 \cdot А^{-1} \cdot с^{-3}$$

7. Гаусс теоремасы: электр өрісінің кернеулік векторының кез келген пішіндегі тұйық бет бойынша ағыны, осы беттің ішінде орналасқан зарядтардың алгебралық қосындысын электр тұрақтысына ε_0 -ге бөлгенге тең.

$$\Phi = \sum_{i=1}^N \Phi_i = \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{\varepsilon \varepsilon_0} = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{\varepsilon \varepsilon_0}. \quad (1.13)$$

8. Зарядтың сызықтық тығыздығы:

$$\tau = \frac{dq}{dl} \text{ немесе } \tau = \frac{q}{l}. \quad (1.14)$$

Зарядтың беттік тығыздығы:

$$\sigma = \frac{dq}{dS} \text{ немесе } \sigma = \frac{q}{S}. \quad (1.15)$$

Зарядтың көлемдік тығыздығы:

$$\rho = \frac{dq}{dV} \text{ немесе } \rho = \frac{q}{V}. \quad (1.16)$$

Заряд пен зарядтың тығыздықтары арасындағы байланыс:

$$dq = \sigma dS = \tau dl = \rho dV.$$

9. Бірқалыпты зарядталған шексіз жазықтықтың электр өрісі:

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon \varepsilon_0}. \quad (1.17)$$

Өртүрлі зарядталған екі параллель шексіз жазықтықтардың электр өрісі:

а) Жазықтықтар арасында:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon \varepsilon_0}; \quad (1.18)$$

б) Жазықтықтардан тысқары: $E = 0$.

10. Оқшауланған өткізгіш пен конденсатордың электр сыйымдылығы:

$$C = \frac{q}{\varphi}; \quad C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}. \quad (1.19)$$

11. Зарядталған конденсатордың энергиясы:

$$W_{эл} = \frac{q(\varphi_1 - \varphi_2)}{2} = \frac{C(\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2} = \frac{q^2}{2C}. \quad (1.20)$$

Электр өрісі энергиясының көлемдік тығыздығы:

$$w_{эл} = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2}. \quad (1.21)$$

1.2 Есептерді шығару мысалдары

1.1 есеп. Шамалары $q_1 = q_2 = q_3 = 3$ нКл бірдей үш нүктелік заряд тең қабырғалы үшбұрыштың төбелерінде орналасқан. Осы төрт зарядтан тұратын жүйе тепе-теңдікте болуы үшін, үшбұрыштың центріне қандай q_4 зарядты орналастыру қажет?

Берілгені:

$$q_1 = q_2 = q_3 = 3 \text{ нКл}$$

Табу керек: q_4 —?

Шешуі. Үшбұрыштың төбелерінде орналасқан зарядтар бірдей жағдайда болғандықтан, үшбұрыштың центріне төртінші заряд орналасқан жағдайды басқа үш зарядтың өрісінде орналасқан бір заряд үшін тепе-теңдік шартын қарастыру жеткілікті.

Тепе-теңдік шартын q_1 заряд үшін қарастырайық.

q_1 тепе-теңдікте болады, егер оған басқа зарядтар тарапынан әсер ететін күштердің векторлық қосындысы нөлге тең болса:

$$\vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = \vec{F} + \vec{F}_4 = 0.$$

$\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ и $\vec{F}_4$ — q_1 зарядқа q_2 , q_3 және q_4 зарядтар тарапынан әсер ететін күштер.

$\vec{F} - \vec{F}_2$ және $\vec{F}_3$ күштердің тең әсерлі күші.

$\vec{F}$ және $\vec{F}_4$ күштер бір түзудің бойымен қарама-қарсы бағытталғандықтан, векторлық теңдікті скаляр түрде жазсақ:

$$F - F_4 = 0.$$

Бұдан $F = F_4$.

$F_2 = F_3$ екенін ескерсек, суреттен көрініп тұрғандай $F = 2F_2 \cos \frac{\alpha}{2}$.

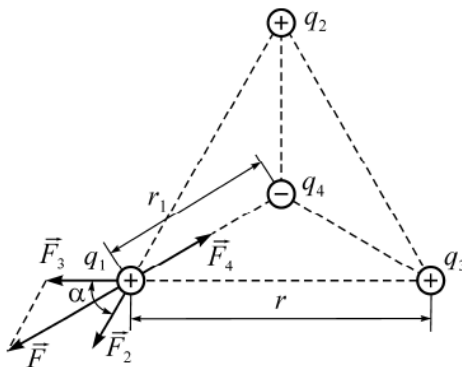
Онда $F_4 = 2F_2 \cos \frac{\alpha}{2}$.

$q_1 = q_2 = q_3$ екенін ескеріп, Кулон заңын қолданамыз

$$\frac{q_1 q_4}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} = 2 \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos \frac{\alpha}{2}.$$

Бұдан шығатыны:

$$q_4 = q_1 \frac{r_1^2}{r^2}.$$



1.1 сурет.

r_1 және r арасындағы байланысты $\alpha = 60^\circ$, $\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$ екенін ескере отырып, 1.1-суреттен анықтаймыз.

$$r_1 = \frac{r}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{r}{\sqrt{3}}$$

Ең соңында алатынымыз

$$q_4 = \frac{q_1}{\sqrt{3}}$$

Зарядтың сандық мәнін қойып $q_1 = 3 \text{ нКл} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$, q_4 -ті анықтаймыз:

$$q_4 = \frac{3 \cdot 10^{-9}}{\sqrt{3}} = 1,732 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.}$$

Жауабы: $1,732 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$.

1.2есеп. $q_1 = 2 \text{ нКл}$ және $q_2 = -4 \text{ нКл}$ екі нүктелік электр зарядтары ауада бір-бірінен $d = 8 \text{ см}$ арақашықтықта орналасқан. q_1 зарядтан $r_1 = 9 \text{ см}$ және q_2 зарядтан $r_2 = 5 \text{ см}$ арақашықтықтағы A нүктесіндегі осы зарядтар туғызған өрістің $\vec{E}$ кернеулігі мен φ потенциалын анықтаңыздар.

Берілгені:

$$q_1 = 2 \text{ нКл} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_2 = -4 \text{ нКл} = -4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

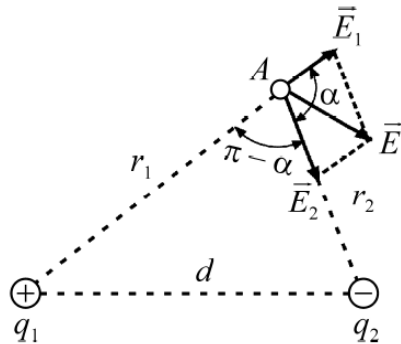
$$d = 8 \text{ см} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$r_1 = 9 \text{ см} = 9 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$r_2 = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$\varepsilon = 1$$

Табу керек: $\vec{E}$ —? φ - ?



1.2-сурет

Шешуі. Электр өрісі үшін суперпозиция принципіне сәйкес әрбір заряд осы кеңістіктегі басқа зарядтардың болуына тәуелсіз өріс туғызады, сондықтан:

1) Екі заряд туғызған қорытқы электр өрісінің кернеулігі жекелеген әрбір заряд туғызған өріс кернеуліктерінің геометриялық қосындысына тең.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$

2) Екі заряд туғызған қорытқы өрістің φ потенциалы әрбір заряд туғызған өріс потенциалдарының алгебралық қосындысына тең:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2.$$

Ауада ($\epsilon = 1$) орналасқан q_1 және q_2 зарядтардың электр өрісінің кернеулігін келесі түрде жазамыз:

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r_1^2}; \quad E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r_2^2}.$$

q_1 заряд оң болғандықтан $\vec{E}_1$ векторы күш сызықтары бойымен зарядтан сыртқа қарай бағытталады; ал q_2 заряд теріс болғандықтан $\vec{E}_2$ векторы күш сызықтары бойымен q_2 зарядқа қарай бағытталады.

$\vec{E}$ векторының абсолют мәнін косинустар теоремасынан анықтаймыз:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\frac{q_1^2}{r_1^4} + \frac{q_2^2}{r_2^4} + 2 \frac{q_1}{r_1^2} \frac{q_2}{r_2^2} \cos \alpha},$$

мұндағы α – $\vec{E}_1$ және $\vec{E}_2$ векторлары арасындағы бұрыш. Қабырғалары r_1 , r_2 және d үшбұрыштан косинустар теоремасы бойынша α бұрышты анықтаймыз:

$$d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos(\pi - \alpha).$$

$$\cos \alpha = -\cos(\pi - \alpha) = \frac{d^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1r_2} = \frac{8^2 - 9^2 - 5^2}{2 \cdot 9 \cdot 5} = \frac{21}{45} = 0,467.$$

Қорытқы өріс кернеулігін анықтайтын болсақ:

$$E = 9 \cdot 10^9 \sqrt{\frac{(2 \cdot 10^{-9})^2}{(9 \cdot 10^{-2})^4} + \frac{(4 \cdot 10^{-9})^2}{(5 \cdot 10^{-2})^4} + 2 \frac{2 \cdot 10^{-9}}{9 \cdot 10^{-2}} \frac{4 \cdot 10^{-9}}{5 \cdot 10^{-2}} \cdot 0,467}$$

$$= 9,2 \cdot 10^4 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Соңғы формулада q_2 зарядтың таңбасы ескерілмеді, себебі зарядтың таңбасы өріс кернеулігінің бағытын анықтайтын болғандықтан, қорытқы өріс кернеулігінің бағытын анықтаған кезде зарядтардың таңбасы ескерілді (1.2-сурет).

Ауада орналасқан q_1 және q_2 нүктелік зарядтар туғызған электр өрісінің потенциалы келесі формулалармен анықталады:

$$\varphi_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r_1}, \quad \varphi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r_2}.$$

Екі зарядтың қорытқы өрісінің потенциалы:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r_1} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r_2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right).$$

$$\varphi = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{2 \cdot 10^{-9}}{9 \cdot 10^{-2}} + \frac{-4 \cdot 10^{-9}}{5 \cdot 10^{-2}} \right) = -5,2 \cdot 10^2 \text{ В}.$$

Өлшем бірлікті тексерейік:

$$[E] = [k] \frac{[q]}{[r]^2} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2 \text{Кл}}{\text{Кл}^2} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}};$$

$$[\varphi] = [k] \frac{[q]}{[r]} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2 \text{Кл}}{\text{Кл}^2} \frac{\text{Кл}}{\text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}.$$

Жауабы: $E = 9,2 \cdot 10^4 \text{ В/м}$; $\varphi = -5,2 \cdot 10^2 \text{ В}$.

1.3 есеп. Радиусы R жіңішке сақина бойымен q заряд бірқалыпты таралған. Жіңішке сақина осінің бойында қай нүктеде электр өрісінің кернеулігі ең үлкен мәнге ие болады?

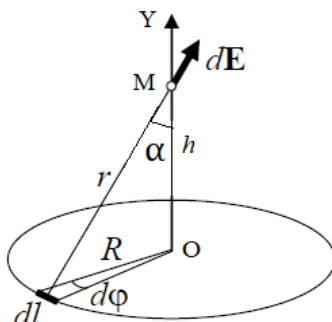
Берілгені: R q	Шешуі. Сақина бойынан ұзындықтың шексіз аз бөлігін қиып аламыз (1.3-сурет): $dl = R d\varphi$, бұл бөліктегі заряд $dq = \tau dl$, мұндағы $\tau = q/2\pi R$ — сақинадағы зарядтың сызықтық тығыздығы.
Табу керек: E - ?	dq нүктелік заряд M нүктесінде өріс туғызады, оның өріс кернеулігі: $dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2}.$

Зарядтан М нүктесіне дейінгі арақашықтық:

$$r = \sqrt{R^2 + h^2}, \quad h = OM.$$

Сақинаның кез-келген элементар бөлігінен М нүктесіне дейінгі арақашықтық тұрақты болады және r -ға тең. Сонымен қатар, сақинаның барлық нүктелері (барлық dl элементі) үшін Y пен r арасындағы α бұрышы да бірдей болады.

$$\cos \alpha = \frac{h}{\sqrt{R^2 + h^2}}.$$



1.3-сурет. Зарядталған сақинаның өрісін есептеу

Симметрия бойынша пайымдаулардан, толық кернеуліктің горизонталь құраушысы нөл екендігін білеміз. Яғни, толық кернеуліктің вертикаль құраушысы, Y осіне проекциясы ғана қалады. Онда қорытқы кернеулік векторы сақина центрінен тұрғызылған перпендикуляр бойымен бағытталады.

$$\begin{aligned} dE_y &= dE \cos \alpha. \\ E &= \oint dE_y = \oint dE \cos \alpha = \frac{h}{\sqrt{R^2 + h^2}} \oint \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{(R^2 + h^2)} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qh}{(R^2 + h^2)^{3/2}}. \end{aligned}$$

Алынған нәтижеден көрініп тұрғандай, өріс кернеулігі $h = 0$, $h \rightarrow \infty$ кездерінде нөлге тең және барлық оң жартылай осьте таңбасын өзгертпейді, яғни қандай да бір нүктеде өріс кернеулігі максимумға ие болады. Кернеулік $(E_y)_{\max}$ максимумға ие болатын нүктені табу үшін экстремум шартын қолданамыз.

$$\frac{\partial E_y}{\partial h} = 0.$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial E_y}{\partial h} &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\partial}{\partial h} \left(\frac{h}{(R^2 + h^2)^{3/2}} \right) \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{(R^2 + h^2)^{3/2} - 3h^2(R^2 + h^2)^{1/2}}{(R^2 + h^2)^3} = \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{(R^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}((R^2 + h^2) - 3h^2)}{(R^2 + h^2)^3} = 0.\end{aligned}$$

Осыдан

$$h_{max} = \frac{R}{\sqrt{2}}.$$

Өріс кернеулігінің максимум мәнін келесі түрде анықтаймыз:

$$E_{max} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qh_{max}}{(R^2 + h_{max}^2)^{3/2}} = \frac{q}{6\sqrt{3}\pi\epsilon_0 R^2}.$$

$$\text{Жауабы: } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qh}{(R^2 + h^2)^{3/2}}, \quad h_{max} = \frac{R}{\sqrt{2}}, \quad E_{max} = \frac{q}{6\sqrt{3}\pi\epsilon_0 R^2}.$$

1.4 есеп. Ұзындығы $l = 15$ см жіңішке стержень бойымен бірқалыпты заряд таралған. Стержень осі жатқан түзу бойында жақын ұшынан $r = 20$ см арақашықтықта $q_1 = 35$ нКл нүктелік заряд орналасқан (1.4-сурет). Заряд стерженьмен $F = 10$ мкН күшпен өзара әсерлеседі. Стерженьдегі τ зарядтың сызықтық тығыздығын анықтаңыз.

Берілгені:

$$q_1 = 35 \text{ нКл} = 35 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$l = 15 \text{ см} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

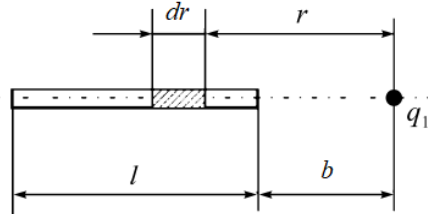
$$b = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$F = 10 \text{ мкН} = 10^{-5} \text{ Н}$$

$$\epsilon = 1$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

Табу керек τ - ?



1.4-сурет

Шешуі. Кулон заңы нүктелік зарядтар үшін болғандықтан, ал стерженьде таралған заряд нүктелік заряд емес болғандықтан, Кулон заңын қолдану үшін q_1 нүктелік заряд пен стерженьнің элементар бөлігінде таралған dq нүктелік зарядтың өзара әсерлесу күшін қарастырамыз.

Стерженьнен нүктелік заряды $dq = \tau \cdot dr$ болатын dr элементар бөлікті қарастырамыз. Кулон заңына сәйкес, q_1 мен $\tau \cdot dr$ зарядтары арасындағы өзара әсерлесу күші

$$d\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot \tau dr}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}.$$

Барлық $d\vec{F}$ бағыттас, сондықтан, толық күшті табу үшін dF үшін скаляр өрнекті қолдануға болады:

$$dF = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot \tau dr}{r^2}$$

$$F = \frac{q_1 \cdot \tau}{4\pi\epsilon_0} \int_b^{l+b} \frac{dr}{r^2} = \frac{q_1 \cdot \tau}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{l+b} \right) = \frac{q_1 \cdot \tau \cdot l}{4\pi\epsilon_0 b(l+b)}.$$

Осыдан, стерженьдегі зарядтың сызықтық тығыздығы:

$$\tau = \frac{4\pi\epsilon_0 b(l+b)F}{q_1 l}.$$

$$\tau = \frac{0,2 \cdot 0,35 \cdot 10^{-5}}{9 \cdot 10^9 \cdot 35 \cdot 10^{-9} \cdot 0,15} = 0,0015 \frac{\text{Кл}}{\text{м}}$$

Өлшем бірлікті тексерейік:

$$[\tau] = \frac{[\epsilon_0] \cdot [b] \cdot [l] \cdot [F]}{[q_1] \cdot [l]} = \frac{\Phi \cdot \text{м} \cdot \text{м} \cdot \text{Н}}{\text{м} \cdot \text{Кл} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Н}}{\text{В} \cdot \text{Кл}} = \frac{\text{Н}}{\text{В}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{Кл}}{\text{Дж}}$$

$$= \frac{\text{Н} \cdot \text{Кл}}{\text{Н} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Кл}}{\text{м}}.$$

Жауабы: $q = 1,5 \text{ мКл/м}$

1.5 есеп. Кернеулігі 45 кВ/м біртекті электр өрісінде 3 нКл заряд орын ауыстырады. Зарядтың орын ауыстыру модулі 15 см, орын ауыстыру векторы күш сызықтарына 45° бұрыш жасайды. Анықтаңыздар: өрістің жұмысын, заряд пен өрістің өзара әсерлесуінің потенциалдық энергиясының өзгерісін, орын ауыстырудың бастапқы және соңғы нүктелері арасындағы потенциалдар айырымын. Өрісте теріс заряд орын ауыстырған жағдай үшін де жоғарыдағы сұрақтарға жауап беріңіздер.

Берілгені:

$$\begin{aligned} q_1 &= 3 \text{ нКл} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \\ l &= 15 \text{ см} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ \alpha &= 45^\circ \\ E &= 45 \text{ кВ/м} = 45 \cdot 10^3 \text{ В/м} \\ \varepsilon &= 1 \\ \varepsilon_0 &= 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \end{aligned}$$

Табу керек:

$$A - ? \quad \Delta W - ? \quad \varphi_1 - \varphi_2 - ?$$

Шешуі. Біртекті электр өрісінде заряд орын ауыстырған кездегі өріс жұмысы:

$$\begin{aligned} A &= E \cdot q \cdot l \cdot \cos \alpha \\ A &= 45 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-9} \cdot 0,15 \cdot \cos 45^\circ = \\ &= 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ Дж.} \end{aligned}$$

Бұл жағдайдағы потенциалдық энергияның өзгерісі жасалған жұмысқа тең:

$$\begin{aligned} \Delta W &= -A \\ \Delta W &= -14,3 \cdot 10^{-6} \text{ Дж (потенциалдық энергия кеміген).} \end{aligned}$$

Біртекті электр өрісі үшін кернеулік пен потенциалдар айырымы арасындағы байланыс:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed = El \cos \alpha.$$

Бұл жағдайда заряд күш сызықтарына α бұрышпен орын ауыстырғандықтан:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 45 \cdot 10^3 \cdot 0,15 \cdot \cos 45^\circ = 4,8 \text{ В.}$$

Егер зарядты теріс зарядқа ауыстырса, онда A және ΔW шамаларының таңбалары ғана өзгереді.

Өлшем бірлікті тексерейік:

$$[A] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \cdot \text{Кл} \cdot \text{м} = \text{Дж}; \quad [\varphi] = \frac{\text{В}}{\text{м}} \cdot \text{м} = \text{В}.$$

Жауабы: $A = 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$, $\Delta W = -14,3 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$, $\varphi_1 - \varphi_2 = 4,8 \text{ В}$.

1.6 есеп. Сынаптың бірдей, шар тәріздес N тамшысы бірдей φ потенциалға дейін аттас зарядталған. Осы тамшылардың бірігуі нәтижесінде пайда болған үлкен сынап тамшысының Φ потенциалы қандай болады?

Берілгені:	Шешуі. Әр тамшының зарядын q , ал радиусын r деп белгілейік, сонда әрбір тамшының потенциалы:
N $\varphi_1 = \varphi_2 = \dots = \varphi_N$	$\varphi = k \frac{q}{r}.$
Табу керек: Φ - ?	N тамшының бірігуі кезінде пайда болған үлкен тамшының заряды:

$$Q = Nq.$$

Үлкен тамшының радиусын R деп белгілейміз, оның потенциалы:

$$\Phi = k \frac{Q}{R} = k \frac{Nq}{R} \cdot \frac{r}{r} = \frac{N\varphi r}{R}.$$

Кішкентай және үлкен тамшылардың көлемдері, сәйкесінше келесі түрде жазылады:

$$v = \frac{4}{3}\pi r^3, \quad V = \frac{4}{3}\pi R^3.$$

Тамшылардың радиустардың қатынасы:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3v}{4\pi}}, \quad R = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3Nv}{4\pi}}, \quad \frac{r}{R} = \frac{1}{\sqrt[3]{N}}.$$

Онда үлкен сынап тамшысының потенциалы төмендегідей анықталады:

$$\Phi = \frac{N\varphi r}{R} = \frac{N\varphi}{\sqrt[3]{N}} = \varphi N^{\frac{2}{3}}.$$

$$\text{Жауабы: } \Phi = \varphi N^{\frac{2}{3}}.$$

1.7 есеп. Бірдей зарядталған екі шариктың центрлері арасындағы арақашықтық $d = 30$ см, шариктердің өзара әсерлесу күші $F = 1,5$ мкН. Егер шариктердің радиустары $r = 1$ см болса, олар қандай потенциалға дейін зарядталған?

Берілгені:

$$q_1 = q_2 = q$$

$$r_1 = r_2 = r = 10^{-2} \text{ м}$$

$$d = 30 \text{ см} = 0,3 \text{ м}$$

$$F = 1,5 \text{ мкН} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$$

Табу керек: φ – ?

Шешуі. Суперпозиция принципі бойынша екі зарядталған шариктің кез келген нүктедегі қорытқы өріс кернеулігі:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2.$$

Яғни, әрбір шариктің потенциалы екі құраушыдан тұрады:

1) $\varphi_1 - q_1$ заряд туғызған өріс потенциалы;

2) $\varphi_2 - q_2$ заряд туғызған өріс потенциалы.

Бірінші құраушыны анықтайық.

Кулон заңына сәйкес, шариктер арасындағы өзара әсерлесу күші:

$$F = k \frac{q^2}{d^2}.$$

Онда әрбір шариктің заряды: $q = d \sqrt{\frac{F}{k}}.$

Радиусы r шариктағы бұл q заряд шариктің бетінде потенциал тудырады:

$$\varphi_1 = k \frac{q}{r} = k \frac{d \sqrt{\frac{F}{k}}}{r} = \frac{d \sqrt{kF}}{r}.$$

Бірінші шарик тұрған жерде екінші шарик туғызған потенциал:

$$\varphi_2 = k \frac{q}{r} = \sqrt{kF}$$

Сондықтан, әрбір шариктің потенциалы:

$$\varphi = \frac{d \sqrt{kF}}{r} + \sqrt{kF} = \sqrt{kF} \left(1 + \frac{0,3 \text{ д}}{0,01 \text{ р}} \right).$$

$$\varphi = \sqrt{9 \cdot 10^9 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6}} \left(1 + \frac{0,3}{0,01} \right) = 3602,2 \text{ В}.$$

Өлшем бірлікті тексерейік:

$$[\varphi] = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}} \cdot \text{Н} = \sqrt{\frac{\text{Дж}^2}{\text{Кл}^2}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}.$$

Жауабы: $\varphi = 3602 \text{ В}.$

1.8 есеп. Радиусы R диэлектрлік шар ρ көлемдік тығыздықпен бірқалыпты зарядталған. Шардың электр өрісінің кернеулігі мен потенциалының таралуын анықтаңыздар.

Берілгені:	Шешуі. Шар заряды: $q = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$.
$R, \rho, \varepsilon_{\text{ср}}, \varepsilon_{\text{ш}}$	Шардың центрінен $r > R$ арақашықтықтағы, шардан тысқары жатқан кез-келген A нүктесінде оның өрісі q нүктелік зарядтың өрісіндей болады.
Табу керек: $E(r)$ -? $\varphi(r)$ -?	Шардың сыртында өріс кернеулігі келесі түрде болады:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{\varepsilon_{\text{ср}} r^2} = \frac{1}{3} \frac{R^3 \rho}{\varepsilon_{\text{ср}} \varepsilon_0 r^2}.$$

Шардың бетіндегі өріс кернеулігі ($r = R$):

$$E = \frac{1}{3} \frac{R \rho}{\varepsilon_{\text{ср}} \varepsilon_0}.$$

Шардың ішіндегі өрісті анықтау үшін Гаусс теоремасын қолданамыз.

Шардың ішінде орналасқан, оның центрінен r' арақашықтықтағы ($r' < R$) B нүктесіндегі өріс радиусы r' сфера ішінде орналасқан q' зарядпен ғана анықталады.

Осы сфера арқылы өтетін кернеулік векторының ағыны:

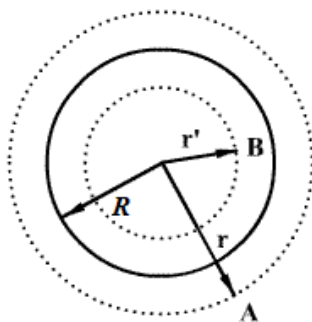
$$\Phi = 4\pi r'^2 E$$

Басқа жағынан алсақ, Гаусс теоремасы бойынша:

$$\Phi = \frac{q'}{\varepsilon_{\text{ш}} \varepsilon_0}.$$

Мұндағы q' – радиусы r' сфераны қамтитын заряд:

$$q' = \frac{4}{3}\pi r'^3 \rho$$



1.5-сурет

Соңғы үш тендеуден өріс кернеулігін анықтасақ:

$$E = \frac{1}{3} \frac{\rho r'}{\varepsilon_{\text{ш}} \varepsilon_0}.$$

Шар туғызған өрістің кернеулігінің таралуы келесі түрде болады:

$$E(r) = \begin{cases} \frac{1}{3} \frac{R^3 \rho}{\varepsilon_{\text{ср}} \varepsilon_0 r^2}; & r \geq R \text{ кезінде.} \\ \frac{1}{3} \frac{\rho r}{\varepsilon_{\text{ш}} \varepsilon_0}; & r \leq R \text{ кезінде.} \end{cases}$$

Соңғы тендеулер жүйесінен көрініп тұрғандай, шар бетінде кернеуліктің шамасының өзгерісі байқалады (1.6-сурет). Шар ішінде кернеуліктің шамасы шардың центрінен арақашықтыққа байланысты тура пропорционал артады. «Шар-қоршаған орта» шекарасында электр өрісінің кернеулігі секіrmелі түрде өзгереді, оның шамасы шар мен ортаның диэлектрлік өтімділіктеріне тәуелді болады. Электрлік ығысу векторы ортаның қасиеттеріне тәуелсіз болғандықтан екі ортаның шекарасында электрлік ығысу векторы шамасының секіrmелі өзгерісі болмайды.

Шардың ішіндегі және сыртындағы потенциалдың таралуын анықтайық, ол үшін өріс кернеулігі мен потенциалдың байланыс формуласын қолданамыз:

$$E = -\frac{d\varphi}{dr}, \text{ немесе } d\varphi = -E dr.$$

«Шексіздіктегі» потенциалды $\varphi(\infty) = 0$ деп аламыз.

Шардың сыртындағы өріс нүктелік зарядтың өрісіндей болатындығын ескеріп, шар бетіндегі $r > R$ өріс потенциалын анықтауға болады:

$$\begin{aligned} \varphi(R) &= -\int_R^{\infty} E(r) dr = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_{\text{ср}}} \int_R^{\infty} \frac{dr}{r^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_{\text{ср}}\varepsilon_0 R} = \frac{\rho R^2}{3\varepsilon_{\text{ср}}\varepsilon_0}. \\ \varphi(r) &= \frac{q}{4\pi\varepsilon_{\text{ср}}\varepsilon_0 r} = \frac{\rho R^3}{3\varepsilon_{\text{ср}}\varepsilon_0 r}. \end{aligned}$$

Шар ішінде ($r < R$) шардың центрі мен оның беті арасындағы потенциалдар айырымы:

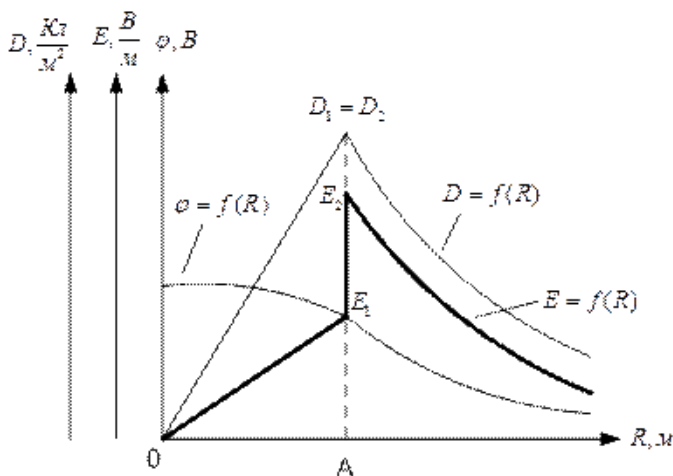
$$\begin{aligned}\varphi_0 - \varphi_R &= - \int_0^R E \, dr = - \int_r^R \frac{1}{3} \frac{\rho r}{\varepsilon_{\text{ш}} \varepsilon_0} \, dr = - \frac{1}{3} \frac{\rho}{\varepsilon_{\text{ш}} \varepsilon_0} \int_r^R r \, dr \\ &= - \frac{1}{6} \frac{\rho}{\varepsilon_{\text{ш}} \varepsilon_0} (R^2 - r^2).\end{aligned}$$

Шардың центріде $r = 0$ шар потенциалы нөлден ерекше болады:

$$\varphi_0 = \varphi_R - \int_0^R E \, dr = \frac{\rho R^2}{3 \varepsilon_{\text{ср}} \varepsilon_0} - \frac{1}{6} \frac{\rho}{\varepsilon_{\text{ш}} \varepsilon_0} R^2 = \frac{\rho R^2}{6 \varepsilon_{\text{ср}} \varepsilon_{\text{ш}} \varepsilon_0} (2 \varepsilon_{\text{ш}} - \varepsilon_{\text{ср}}).$$

Сонымен, шар туғызған өрістің потенциалының таралуы келесі түрде болады:

$$\varphi(r) = \begin{cases} \frac{1}{3} \frac{R^3 \rho}{\varepsilon_{\text{ср}} \varepsilon_0 r}; & r \geq R \text{ кезінде.} \\ \frac{\rho R^2}{6 \varepsilon_{\text{ср}} \varepsilon_{\text{ш}} \varepsilon_0} (2 \varepsilon_{\text{ш}} - \varepsilon_{\text{ср}}); & r = R \text{ кезінде.} \end{cases}$$



1.6-сурет. Зарядалған диэлектрлік шардың өріс кернеулігінің арақашықтыққа тәуелділігі

1.9 есеп. $C_1 = C_2 = C$ электр сыйымдылықтары бірдей екі жазық конденсатор тізбектей жалғанып, электр қозғаушы күші $\mathcal{E}$ ток көзіне қосылған. Егер ток көзінен ажыратпай, екінші конденсатордың пластиналарының арасын диэлектрлік өтімділігі $\varepsilon=7$ диэлектрикпен толтырса, онда бірінші конденсатордың пластиналарындағы U_1 кернеудің түсуі қалай өзгереді?

Берілгені:	Шешуі.
$C_1 = C_2 = C$	Бастапқыда конденсаторлардың сыйымдылықтары бірдей болған кезде, екі конденсатордың да пластиналарындағы потенциалдар айырымы да бірдей болады:
$\varepsilon_1 = 1$	$U_1 = U_2 = \mathcal{E}/2,$
$\varepsilon_2 = \varepsilon = 3,5$	
$\mathcal{E}$	Екінші конденсаторды диэлектрикпен толтырғаннан кейін, оның электр сыйымдылығы ε есе артады:
Табу керек:	
$U'_1 - ?$	

$$C'_2 = \varepsilon C_2 = \varepsilon C.$$

Бірінші конденсатордың электр сыйымдылығы өзгермейді, яғни

$$C'_1 = C_1.$$

Ток көзі ажыратылмағандықтан, конденсатор батареяларындағы жалпы потенциалдар айырымы өзгермей $\mathcal{E}$ -ға тең болады, бірақ екі конденсаторға бөлінеді, себебі, конденсаторлардың сыйымдылықтары бірдей емес.

Бірінші конденсатордағы кернеу:

$$U'_1 = q/C'_1 = q/C_1,$$

мұндағы q – конденсатор пластиналарындағы заряд.

Конденсаторларды тізбектей жалғаған кезде әрбір пластинадағы және батареядағы заряд бірдей болғандықтан,

$$q = C'_6 \cdot \mathcal{E}.$$

Тізбектей жалғанған конденсатор батареясының сыйымдылығы диэлектрикпен толтырғаннан кейін:

$$C'_6 = \frac{\varepsilon C}{1 + \varepsilon}.$$

Бұдан

$$q = \frac{\epsilon C}{1 + \epsilon} \mathcal{E}.$$

Бірінші конденсатордың пластиналарындағы кернеудің түсуін анықтайық

$$U'_1 = q/C'_1 = \frac{\epsilon C}{1 + \epsilon} \mathcal{E} \cdot \frac{1}{C} = \frac{\epsilon}{1 + \epsilon} \mathcal{E}.$$

Бірінші конденсатордың пластиналарындағы потенциалдар айырымы қалай өзгергенің анықтау үшін, келесі қатынасты есептейміз:

$$\frac{U'_1}{U_1} = \frac{\epsilon}{1 + \epsilon} \mathcal{E} \frac{2}{\mathcal{E}} = \frac{2\epsilon}{1 + \epsilon}.$$

$$\frac{U'_1}{U_1} = \frac{2 \cdot 3,5}{1 + 3,5} = 1,56.$$

Жауабы: Екінші конденсаторды диэлектрикпен толтырғаннан кейін, бірінші конденсатордың пластиналарындағы потенциалдар айырымы 1,56 есе артты.

1.10 есеп. $U = 450$ В потенциалдар айырымына дейін зарядталған жазық конденсатордың пластиналарының арасында екі қабат диэлектрик орналасқан: қалыңдығы $d_{\text{шыны}} = 3$ мм шыны және қалыңдығы $d_{\text{эб}} = 2,5$ мм эбонит. Әрбір пластинаның ауданы $S = 150$ см². Анықтаңыздар: 1) әрбір қабаттағы өріс кернеулігін, электрлік ығысуды және кернеудің түсуін; 2) конденсатордың электрсійымдылығын.

Берілгені:

$$U = 450 \text{ В}$$

$$d_{\text{ст}} = 3 \text{ мм} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$d_{\text{эб}} = 2 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$S = 150 \text{ см}^2 = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$\epsilon_{\text{ст}} = 7$$

$$\epsilon_{\text{эб}} = 3$$

Табу керек: E - ? D - ?

U - ? C - ?

Шешуі. Диэлектриктердің бөліну шекарасынан өткен кезде электрлік ығысу векторының нормаль құраушысы өзгермейді:

$$D_{n \text{ ст}} = D_{n \text{ эб}}.$$

Конденсаторда $\vec{D}$ векторының күш сызықтары диэлектриктердің бөліну шекарасына перпендикуляр болғандықтан, электрлік ығысу векторының тангенциал құраушысы нөлге тең, онда

$$D_{n \text{ ст}} = D_{\text{ст}}; \quad D_{n \text{ эб}} = D_{\text{эб}}.$$

Теңдеулерді салыстыру нәтижесінде:

$$D_{\text{ст}} = D_{\text{эб}}$$

Төмендегі формуланы қолдана отырып, кернеулікті табамыз:

$$D = \varepsilon \varepsilon_0 E.$$

$$\varepsilon_{\text{ст}} \varepsilon_0 E_{\text{ст}} = \varepsilon_{\text{эб}} \varepsilon_0 E_{\text{эб}}.$$

Конденсатордың пластиналары арасындағы потенциалдар айырымы диэлектрик қабаттардағы потенциалдар айырымының қосындысына тең:

$$U = U_{\text{ст}} + U_{\text{эб}} = E_{\text{ст}} d_{\text{ст}} + E_{\text{эб}} d_{\text{эб}},$$

себебі, әрбір қабаттағы өріс біртекті болады.

Соңғы екі теңдеуді біріктіріп шеше отырып, кернеулікті анықтаймыз:

$$E_{\text{ст}} = \frac{\varepsilon_{\text{эб}} U}{\varepsilon_{\text{эб}} d_{\text{ст}} + \varepsilon_{\text{ст}} d_{\text{эб}}};$$

$$E_{\text{эб}} = \frac{\varepsilon_{\text{ст}} U}{\varepsilon_{\text{эб}} d_{\text{ст}} + \varepsilon_{\text{ст}} d_{\text{эб}}}.$$

Есептеулер жүргіземіз:

$$E_{\text{ст}} = \frac{3 \cdot 450}{3 \cdot 3 \cdot 10^{-3} + 7 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} = \frac{1350}{30 \cdot 10^{-3}} = 45 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{м}};$$

$$E_{\text{эб}} = \frac{7 \cdot 450}{3 \cdot 3 \cdot 10^{-3} + 7 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} = \frac{3150}{30 \cdot 10^{-3}} = 105 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{м}};$$

$$U_{\text{эб}} = E_{\text{эб}} d_{\text{эб}} = 105 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 210 \text{ В};$$

$$U_{\text{ст}} = E_{\text{ст}} d_{\text{ст}} = 45 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 135 \text{ В};$$

$$D_{\text{ст}} = \varepsilon_{\text{ст}} \varepsilon_0 E_{\text{ст}} = 7 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 45 \cdot 10^3 \\ = 2787,75 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}^2$$

$$D_{\text{эб}} = \varepsilon_{\text{эб}} \varepsilon_0 E_{\text{эб}} = 3 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 105 \cdot 10^3 \\ = 2787,75 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}^2$$

Конденсатордың сыйымдылығын анықтайық:

$$C = \frac{q}{U} = \frac{\sigma S}{U} = \frac{DS}{U_{\text{ст}} + U_{\text{эб}}}.$$

Мұндағы $q = \sigma S$ – конденсатордың әрбір пластинасындағы заряд, σ – конденсатор пластиналарындағы зарядтардың беттік тығыздығы, ол сан жағынан D электрлік ығысу векторының модуліне тең.

$$C = \frac{2787,75 \cdot 10^{-8} \cdot 1,5 \cdot 10^{-2}}{210 + 135} = 12,12 \cdot 10^{-10} \text{ Ф} = 1212 \text{ пФ}.$$

Өлшем бірлікті тексерейік:

$$[U] = \frac{[U]}{[d]} = \frac{B}{m}; \quad [U] = [E][d] = \frac{B}{m} \cdot m = B;$$

$$[D] = [\varepsilon_0][E] = \frac{\Phi}{m} \cdot \frac{B}{m} = \frac{Kл}{B} \cdot \frac{B}{m^2} = \frac{B}{m^2};$$

$$[C] = \frac{[\sigma][S]}{[U]} = \frac{Kл \cdot m^2}{m^2 B} = \Phi.$$

Жауабы: $E_{ст} = 45 \cdot 10^3 \frac{B}{m}$; $E_{эб} = 105 \cdot 10^3 \frac{B}{m}$; $U_{эб} = 210 \text{ В}$;

$U_{ст} = 135 \text{ В}$;

$D_{ст} = D_{эб} = 2787,75 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}^2$; $C = 1212 \text{ пФ}$.

1.3 Өздігінен шығару үшін берілген есептер

1. Квадраттың төбелерінде әрқайсысы 30 нКл нүктелік зарядтар орналасқан. Берілген зарядтар жүйесі тепе-теңдікте болу үшін квадраттың центріне қандай теріс зарядты орналастыру қажет?

Жауабы: $|q_5| = 2,87 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$

2. $q_1 = q_2 = q_3 = 10^{-6} \text{ Кл}$ зарядтар тең қабырғалы үшбұрыштың төбелерінде орналасқан, үшбұрыштың қабырғалары 20 см. Ауада орналасқан зарядтардың біріне басқа екі заряд тарапынан әсер ететін күшті анықтаңыздар.

Жауабы: $F = 0,39 \text{ Н}$

3. Диаметрлері 1 см бірдей екі қорғасын шариктері бір-бірінен 1 м арақашықтықта орналасқан. Егер бірінші шариктің әрбір атомынан бір электроннан алып, алынған барлық электронды екінші шарикке ауыстыратын болса, олар бір-біріне қандай күшпен тартылады?

Жауабы: $6,9 \cdot 10^{16} \text{ Н}$

4. Радиустары $8,22 \cdot 10^{-3} \text{ см}$ бірдей екі май тамшыларында бірдей аттас зарядтар бар. Тамшылардың арақашықтығы олардың сызықтық өлшемдерінен айтарлықтай үлкен. Егер тамшылардың кулондық тебілу күші тартылу күшін теңгеретін болса, зарядтардың шамасын анықтаңыз. Жауабы: $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$

5. Зарядтары q -ға тең үш бірдей заряд тең қабырғалы үшбұрыштың төбелерінде орналасқан. Зарядтар жүйесі тепе-

теңдікте болуы үшін қандай заряд керек және оны қайда орналастыру қажет? Жауабы: үшбұрыштың центріне; $\frac{q\sqrt{3}}{3}$

6. Төрт кішкентай шарик жіңішке, өткізгіш емес жіптермен жалғанған, созылған кезде жіптер ромб түзеді. Егер ромбтың қарама-қарсы төбелеріндегі шариктердің заряды $Q_1=Q_2=Q$ және $q_1=q_2=q$ болса, жіптердің арасындағы бұрыш неге тең?

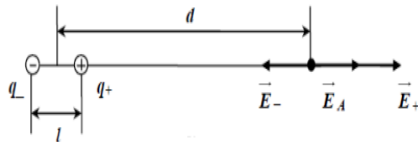
Жауабы: $2 \arctg(\frac{Q}{q})^{\frac{2}{3}}$

7. Радиустары мен массалары бірдей екі шарик беттері түйісетіндей етіп, ұзындығы бірдей жіптерге ілінген. Шариктерге $q = 8$ мкКл заряд бергеннен кейін олар бір-бірінен тебіліп, 90° -қа ауытқиды. Егер шариктердің центрінен іліну нүктесіне дейінгі арақашықтық 40 см болса, шариктердің m массасын анықтаңыз.

Жауабы: $m \approx 0,18$ кг

8. Радиустары $R=1$ см екі кішкентай аттас зарядталған шариктер ұзындығы $l = 1$ м болатын екі жіпке ілінген. Шариктердің заряды $q=4$ мкКл. Шариктер ілінген жіптер $\alpha=90^\circ$ бұрыш жасайды. Анықтаңыздар: а) шариктердің массасын; б) диэлектриктің диэлектрлік өтімділігін, егер оның тығыздығы $\rho=800$ кг/м³ болса, шарикті сұйық біртекті диэлектрикке батырғанда, жіптердің арасындағы бұрыш $\beta=60^\circ$. Жауабы: $m=0,016$ кг; $\varepsilon=2$

9. Су молекуласын зарядтарының шамасы электронның зарядына тең, ұзындығы $l = 3,9 \cdot 10^{-11}$ м диполь деп қарастыруға



болады. Дипольдың центрінен $d=3 \cdot 10^{-9}$ м арақашықтықтағы дипольдің осінің жалғасы бойындағы А нүктесіндегі (суретке қараңыз) судың бір молекуласы туғызған электр өрісінің кернеулігін анықтаңыз. Жауабы: $E_A=4,16 \cdot 10^6$ В/м

10. 2 нКл және -1 нКл екі нүктелік заряд бір-бірінен 5 см арақашықтықта орналасқан. Бірінші зарядтан 6 см және екінші зарядтан 4 см арақашықтықтағы нүктедегі өріс кернеулігі мен потенциалын анықтаңыздар. Жауабы: $E=4,97 \cdot 10^3$ В/м, $\varphi=75$ В

11. Зарядтардың сызықтық тығыздығы 20 нКл/м, бірқалыпты зарядталған радиусы 1 см ұзын цилиндр электр

өрісін туғызады. 25 нКл нүктелік зарядты цилиндр бетінің ортаңғы жағынан 1 см арақашықтықта орналасқан нүктеден 3 см арақашықтықтағы нүктеге тасымалдау үшін жасалған өріс күштерінің жұмысын анықтаңыздар. Жауабы: $A=6,2 \cdot 10^{-6}$ Дж

12. Электр біртекті электр өрісінің күш сызықтары бойымен қозғалады. Потенциалы 100 В болатын қандай да бір нүктеде электрон 4 Мм/с жылдамдыққа ие болды. Электрон өзінің жылдамдығының жартысын жоғалтатын нүктенің потенциалын анықтаңыздар. Жауабы: $\varphi_2=66$ В

13. $Q_1=3$ мКл және $Q_2=20$ нКл оң зарядтар вакуумде бір-бірінен $r_1=1,5$ м арақашықтықта орналасқан. Зарядтарды $r_2=1$ м арақашықтыққа жақындату үшін қандай A жұмыс жасау керегін анықтаңыздар. Жауабы: $A=180$ мкДж

14. 10 электронның зарядына тең заряд массасы 10^{-13} кг тамшыда орналасқан. Тамшы горизонталь орналасқан жазық конденсатордың пластиналары арасында $2,2$ м/с² үдеумен жоғары көтеріледі. Конденсатордың пластиналарындағы зарядтың беттік тығыздығын анықтаңыздар. Ауаның кедергісі ескерілмейді.

Жауабы: $6,6 \cdot 10^{-6}$ Кл/м²

15. Жазық конденсатордың пластиналары арасындағы диэлектрик қалыңдығы 1 мм слюда қабатынан және қалыңдығы 2 мм парафин қабатынан тұрады. Егер конденсаторға 700 В кернеу берілген болса, диэлектриктің әрбір қабатындағы электр өрісінің кернеулігін және потенциалдар айырымын анықтаңыздар. Слюданы диэлектрлік өтімділігі 6, парафиндікі 2.

Жауабы: 100 кВ/м, 300 кВ/м; 100 В, 600 В

16. Ұзындығы $l = 20$ см жіңішке стержень бірқалыпты зарядталған. Стерженьнің осінің жалғасы бойында, стержень ұшынан $a = 10$ см арақашықтықта $q_1 = 40$ нКл нүктелік заряд орналасқан, заряд стерженьмен $F = 6$ мкН күшпен өзара әсерлеседі. Стерженьдегі τ зарядтың сызықтық тығыздығын анықтаңыздар.

Жауабы: $\tau=2,5$ нКл/м

17. Радиусы $R=5$ см тұтас эбонит шар ($\epsilon=3$) бірқалыпты зарядталған, зарядтың көлемдік тығыздығы $\rho=10$ нКл/м³. Келесі нүктелердегі электр өрісінің кернеулігін анықтаңыздар: 1) шардың центрінен $r_1=3$ см арақашықтықтағы; 2) шардың бетіндегі; 3) шардың центрінен $r_3=10$ см арақашықтықтағы.

$E(r)$ тәуелділік графигін сызыңыздар.

Жауабы: $E_1=3,37$ В/м; $E(R)_1=6,28$ В/м; $E(R)_2=18,8$ В/м; $E(R)_3=4,7$ В/м

18. Радиусы $R=10$ см тұтас парафин шар бірқалыпты зарядталған, зарядтың көлемдік тығыздығы $\rho=1$ мКл/м³.

Шардың центріндегі және оның бетіндегі электр өрісінің потенциалын анықтаңыздар. $\varphi(r)$ тәуелділік графигін тұрғызыңыздар. Жауабы: $\varphi_R=377$ В; $\varphi_0=472$ В

19. Радиустары $R_1=6$ см және $R_2=10$ см зарядталған екі концентрлі металл сфералардың зарядтары $q_1=1$ нКл және $q_2=-0,5$ нКл. Сфера центрінен $r_1=5$ см, $r_2=9$ см, $r_3=15$ см арақашықтықтағы нүктелердегі өріс кернеулігін анықтаңыздар.

Жауабы: $E_1=0$; $E_2=1,11$ кВ/м; $E_3=200$ В/м

20. Шексіз ұзын зарядталған жіптен $r_1=4$ см арақашықтықта $q=-0,66$ нКл нүктелік заряд орналасқан. Өріс әсерінен заряд жіпке $r_2=2$ см арақашықтыққа дейін жақындайды, осы кезде $A=5$ мкДж жұмыс жасалады. Жіптегі зарядтың сызықтық тығыздығын анықтаңыз.

Жауабы: $\tau=0,6$ мкКл/м

21. Керосинге ($\varepsilon=2$) батырылған металл шардың потенциалы $\varphi=4,5$ кВ және зарядтың беттік тығыздығы $\sigma=11$ мкКл/м². Шардың энергиясын анықтаңыз. Жауабы: $W=65$ мкДж

22. Жазық ауа конденсаторының пластиналары арасындағы тартылыс күші $F=50$ мН. Әрбір пластинаның ауданы $S=200$ см². Конденсатор өрісі энергиясының көлемдік тығыздығын анықтаңыздар.

Жауабы: $\omega=2,5$ Дж/м³

23. 600 В потенциалдар айырымына дейін зарядталған жазық конденсатордың пластиналары арасында диэлектриктің екі қабаты орналасқан: қалыңдығы 5 мм шыны және қалыңдығы 3 мм эбонит. Әрбір пластинаның ауданы 200 см². Анықтаңыздар: а) әрбір диэлектриктің қабатындағы өріс кернеулігін, электрлік ығысуды және кернеудің түсуін; б) конденсатордың электрлік сыйымдылығын.

Жауабы: 1) $E_1=5 \cdot 10^4$ В/м, $E_2=11,7 \cdot 10^4$ В/м,

$U_1=250$ В, $U_2=350$ В, $D=D_1=3,1 \cdot 10^{-6}$ Кл/м². 2) $C=103$ пФ.

24. Кернеулігі $E_0=700$ В/м біртекті электр өрісіне өріске перпендикуляр қалыңдығы $d=1,5$ мм және ауданы 200 см² шыны пластинка ($\varepsilon=7$) орналастырылған. Анықтаңыздар: 1) шыныдағы байланысқан зарядтардың беттік тығыздығын; 2) пластинкада шоғырланған электростатикалық өріс энергиясын.

Жауабы: $\sigma=5,31$ нКл/м²; $W=9,29$ пДж

25. $(2/3) \cdot 10^{-9}$ Кл зарядқа ие бөлшек үдеткіш электр өрісінде қозғала отырып, 10 МэВ кинетикалық энергияға ие болады. Егер

бөлшектің бастапқы кинетикалық энергиясы нөлге тең болса, бөлшектің жүрген жолының өрістің бастапқы және соңғы нүктелері арасындағы потенциалдар айырымын табыңыздар.

Жауабы: $(\varphi_1 - \varphi_2) = 2,4 \text{ мВ}$

26. Жердің электростатикалық өрісінің кернеулігі 200 В/м болатын жеріндегі 1 м^2 жердің бетіне әсер ететін күшті және Жердің электр зарядының беттік тығыздығын анықтаңыздар.

Жауабы: $\sigma = 1,77 \text{ нКл/м}^2$; $F = 0,177 \text{ мкН}$

27. Абсолютті электрометр көмегімен 20 кВ потенциалдар айырымын өлшеген кезде конденсатордың астарларының өзара тартылыс күші 18 г гирьмен теңгеріледі. Егер конденсатордың пластиналары арасындағы арақашықтық $0,5 \text{ см}$ болса, конденсатордың қозғалмалы пластинасының ауданы қандай?

Жауабы: $S = 25 \text{ см}^2$

28. 1 кВ потенциалдар айырымына дейін зарядталған жазық конденсатордың астарлары бір-бірінен диэлектрик пластинасы арқылы окшауланған. Егер диэлектрикті алып тастаған кезде конденсатор астарларының арасындағы потенциалдар айырымы 3 кВ -қа дейін артатын болса, пластина материалының диэлектрлік өтімділігі неге тең?

Жауабы: $\epsilon_1 = 3$

29. 1 кВ потенциалдар айырымына дейін зарядталған жазық конденсатордың астарлары арасына қалыңдығы 3 мм шыны пластина ($\epsilon = 7$) орналастырылған. Пластина бетіндегі байланысқан (поляризациялық) зарядтардың беттік тығыздығын анықтаңыздар.

Жауабы: $\sigma_p = 1,77 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}^2$

30. Электрсыйымдылықтары $C_1 = 4 \text{ мкФ}$ және $C_2 = 6 \text{ мкФ}$ екі тізбектей жалғанған конденсаторлардан тұратын батареяны $\Delta\varphi = 2 \text{ кВ}$ потенциалдар айырымына дейін зарядтап, одан кейін кернеу көзінен ажыратады. Егер конденсатордың аттас зарядталған астарларын параллель жалғаса, батареяның энергиясы қаншалықты кемиді?

Жауабы: $(W_1 - W_2) = 0,192 \text{ Дж}$

31. 1 кВ потенциалдар айырымына дейін зарядталған жазық конденсатордың астарларының арасына қалыңдығы 6 мм шыны пластина ($\epsilon = 7$) орналастырылған. Егер пластинаның ауданы 40 см^2 болса, поляризацияланған пластинаның энергиясын анықтаңыз.

Жауабы: $W = 17,7 \text{ мкДж}$

32. Жазық ауа конденсаторының пластиналарының ауданы $S = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ және олардың арақашықтығы $d = 5 \text{ мм}$.

Конденсатордың астарларының арасындағы өріс кернеулігі $E=6 \cdot 10^4$ В/м. Конденсаторды кернеу көзінен ажыратқаннан кейін пластиналардың арасын алыстатады. Осы кезде пластиналар арасындағы потенциалдар айырымы екі есе артады. Конденсатордың сыйымдылығын, пластиналар арасындағы потенциалдар айырымын және пластиналарды бір-бірінен алыстатқанға дейінгі және кейінгі пластиналардағы зарядтардың беттік тығыздығын анықтаңыздар.

Жауабы: $C_1=14,2$ пФ, $C_2=7,1$ пФ, $U_1=300$ В, $U_2=600$ В, $\sigma_1=\sigma_2=0,53$ мКл/м²

33. Сыйымдылықтары $C_1=3 \cdot 10^{-6}$ Ф және $C_2=6 \cdot 10^{-6}$ Ф екі конденсаторды бір-біріне жалғап, ЭҚК-і $\varepsilon=120$ В батареяға қосқан. Әрбір конденсатордағы зарядты және астарлары арасындағы потенциалдар айырымын анықтаңыздар, егер конденсаторлар 1) параллель, 2) тізбектей жалғанған болса.

Жауабы: 1) $U_1=U_2=120$ В, $q_1=0,36$ мКл, $q_2=0,72$ мКл;

3) $U_1=80$ В, $U_2=40$ В, $q_1=q_2=0,24$ мКл

34. Электрон $v_0=1$ Мм/с жылдамдықпен конденсатордың пластиналарына $\alpha=30^\circ$ бұрышпен жазық конденсатор өрісіне ұшып кіреді. Пластиналар ұзындығы $l=5$ см. Электрон конденсатордан ұшып шыққанда оның жылдамдығы конденсатор пластиналарына параллель бағытталған жағдай үшін электр өрісінің кернеулігін анықтаңыз.

Жауабы: $E=49,3$ В/м

35. Жазық конденсатордың пластиналары арасындағы кеңістік диэлектрикпен толтырылған. Пластиналар арасындағы арақашықтық $d=2$ мм. Пластиналарға $U_1=600$ В потенциалдар айырымы берілген. Егер конденсаторды кернеу көзінен ажыратып, пластиналар арасындағы диэлектрикті алып тастаса, пластиналардағы потенциалдар айырымы $U_2=1800$ В-қа дейін артады. Диэлектриктегі байланысқан зарядтардың беттік тығыздығын $\sigma_{\text{байл}}$ және диэлектриктің диэлектрлік қабылдағыштығын χ табыңыздар.

Жауабы: $\chi=2$, $\sigma_{\text{байл}}=5,3 \cdot 10^{-6}$ Кл/м²

36. Сыйымдылықтары $C_1=100$ пФ және $C_2=200$ пФ тізбектей жалғанған екі конденсаторға $U=300$ В тұрақты кернеу берілген. Әрбір конденсаторда шоғырланған энергияны анықтаңыздар. Жауабы: $W_1=2 \cdot 10^{-6}$ Дж, $W_2=1 \cdot 10^{-6}$ Дж

2 ТАРАУ

ТҰРАҚТЫ ТОК

2.1 Негізгі формулалар мен анықтамалар

1. Ток күші:

$$I = \frac{dq}{dt}, \quad (2.1)$$

мұндағы $dq - dt$ уақыт мезетінде өткізгіштің көлденең қимасы арқылы өткен заряд.

2. Ток тығыздығы:

$$j = \frac{dI}{dS}, \quad (2.2)$$

мұндағы S – өткізгіштің көлденең қимасының ауданы.

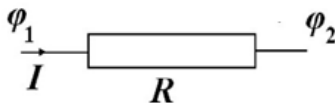
3. Ток тығыздығының зарядталған бөлшектердің реттелген қозғалысының $v_{др}$ орташа жылдамдығымен байланысы:

$$\vec{j} = q_+ n_+ v_{др+} + q_- n_- v_{др-} \quad (2.3)$$

4. Ом заңдары:

а) Тізбектің біртекті бөлігі немесе пассивті тізбек бөлігі үшін (тізбектің ЭҚК кірмеген бөлігі үшін):

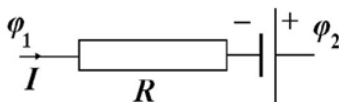
$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}, \quad (2.4)$$



2.1 сурет. Тізбектің біртекті бөлігі

мұндағы $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ – тізбек бөлігінің ұштарындағы потенциалдар айырымы (кернеу); R – тізбек бөлігіндегі кедергі.

б) Тізбектің біртекті емес бөлігі немесе активті тізбек бөлігі үшін (ЭҚК бар тізбек бөлігі үшін):



2.2 сурет. Тізбектің біртекті емес бөлігі

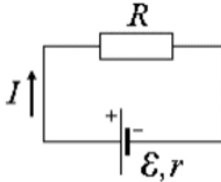
$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 \pm \mathcal{E}_{12}}{R} = \frac{U}{R}, \quad (2.5)$$

мұндағы $\mathcal{E}_{12}$ – ток көзінің ЭҚКі; R – тізбектің толық кедергісі (сыртқы және ішкі кедергілердің қосындысы).

«+» немесе «-» таңбалары ток көзінің полюсына байланысты таңдалады.

в) тұйық (толық) тізбек үшін:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r}, \quad (2.6)$$



мұндағы R – сыртқы тізбектің кедергісі; r – ішкі кедергі (ток көзінің кедергісі).

2.3-сурет. Тұйық электр тізбегі

5. Кирхгоф ережелері.

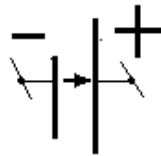
✓ Бірінші ереже: түйінде тоғысатын токтардың алгебралық қосындысы нөлге тең

$$\sum_{i=1}^n \pm I_i = 0. \quad (2.7)$$

✓ Екінші ереже: электр тізбегінің кез келген тұйық контурындағы ток күші мен кедергінің көбейтінділерінің алгебралық қосындысы осы контурдағы электрқозғаушы күштердің алгебралық қосындысына тең:

$$\sum_{k=1}^m \pm I_k R_k = \sum_{i=1}^n \pm \varepsilon_i.$$

Теңдеудегі IR кернеудің түсуі «+» таңбамен алынады, егер контурды айналып өту бағыты токтың бағытымен сәйкес келсе; және керісінше контурды айналып өту бағытына токтың бағыты қарама-қарсы болса, онда IR көбейтіндісінің таңбасы «-» болады. ε ток көзінің ЭҚК-нің бағыты оң болып табылып, «+» алынады, егер контурды айналып өту бағыты ток көзі ішінде әсер етуші бөгде күштердің өрісі бағытымен сәйкес келсе. 2.4-суретте ток көзі ішіндегі бөгде күштердің өрісінің бағыты (стрелкамен) көрсетілген.



2.4 сурет. Бөгде күштердің бағыты

6. Біртекті өткізгіштің R кедергісі және G өткізгіштігі:

$$R = \rho \frac{l}{S}; \quad G = \gamma \frac{S}{l}. \quad (2.8)$$

мұндағы ρ – меншікті кедергі; γ – меншікті өткізгіштік; l – өткізгіштің ұзындығы; S – өткізгіштің көлденең қимасының ауданы.

7. Меншікті кедергінің температураға тәуелділігі:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t) = \rho_0 \alpha T,$$

ρ_0 – 0°C кезіндегі меншікті кедергі, α – кедергінің температуралық коэффициенті; t, T – сәйкесінше Цельсий және Кельвин шкаласы бойынша температуралар.

8. Ток жұмысы:

$$dA = IU dt = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt. \quad (2.9)$$

9. Джоуль–Ленц заңы (токтың жылулық әсері):

$$dQ = dA = I^2 R dt, \quad (2.10)$$

мұндағы dQ – өткізгіштен бөлініп шығатын жылу мөлшері; dt – жылу бөлініп шығатын уақыт аралығы.

10. Толық тізбектегі ток қуаты:

$$P = I \mathcal{E}. \quad (2.11)$$

Тізбектің сыртқы бөлігіндегі ток қуаты:

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}. \quad (2.12)$$

11. Дифференциалдық түрдегі Ом заңы:

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}. \quad (2.13)$$

12. Дифференциалдық түрдегі Джоуль – Ленц заңы:

$$w = \gamma E^2 \quad (2.14)$$

мұндағы w – жылулық қуаттың көлемдік тығыздығы (бірлік көлемнен бірлік уақытта бөлініп шығатын жылу мөлшері).

2.2 Есептерді шығару мысалдары

2.1 есеп. Кедергісі $R = 10$ Ом өткізгіштегі ток күші $\tau = 3$ с уақыт аралығында $I_0 = 0$ -дан $I = 3$ А-ге дейін бірқалыпты артады. Өткізгіш арқылы өткен зарядты және осы уақытта өткізгіштен бөлінген жылу мөлшерін анықтаңыздар.

Берілгені:

$$I_0 = 0$$

$$I = 3 \text{ А}$$

$$\tau = 3 \text{ с}$$

$$R = 10 \text{ Ом}$$

Табу керек:

$$q - ? \quad Q - ?$$

Шешуі. Өткізгіштегі ток күші өзгеріп отырғандықтан, есептеу үшін $q=It$ өрнегін қолдана алмаймыз, сондықтан зарядтан дифференциал алып $dq=Idt$, оны интегралдаймыз:

$$q = \int_0^{\tau} I dt$$

Ток бірқалыпты өскендіктен $I=kt$, мұндағы k – пропорционалдық коэффициент,

$$k = \frac{I - I_0}{\tau} = \frac{I}{\tau}.$$

Онда:

$$dq = kt dt = \frac{I}{\tau} t dt.$$

$$q = \frac{I}{\tau} \int_0^{\tau} t dt = \frac{I\tau}{2}.$$

Джоуль-Ленц заңына сәйкес, dt уақытта бөлініп шығатын жылу мөлшері:

$$dQ = I^2 R dt = k^2 t^2 R dt.$$

$$Q = k^2 R \int_0^{\tau} t^2 dt = \left(\frac{I}{\tau}\right)^2 R \frac{\tau^3}{3} = \frac{1}{3} I^2 R \tau$$

Есептеулер жүргіземіз:

$$q = \frac{3 \cdot 3}{2} = 4,5 \text{ Кл.}$$

$$Q = \frac{1}{3} \cdot 3^2 \cdot 10 \cdot 3 = 13,5 \text{ Дж.}$$

Өлшем бірлікті тексерейік:

$$[q] = [I][t] = A \cdot c = \text{Кл}; \quad [Q] = A^2 \cdot \text{Ом} \cdot c = \text{Дж}$$

Жауабы: $q = 4,5 \text{ Кл}$, $Q = 13,5 \text{ Дж}$.

2.2 есеп. ЭҚК-тері 1,4 және 1,8 В, ішкі кедергілері сәйкесінше 0,3 және 1 Ом екі ток көзі тізбектей жалғанған (2.5-сурет). Сыртқы тізбектің кедергісі 7,7 Ом. Екінші ток көзінің клеммаларындағы кернеуді анықтаңыздар.

Берілгені:

$$\mathcal{E}_1 = 1,4 \text{ В}$$

$$\mathcal{E}_2 = 1,8 \text{ В}$$

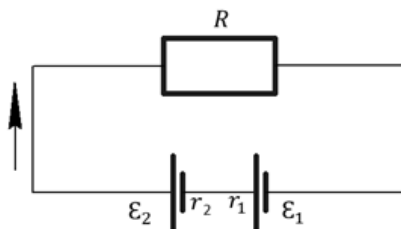
$$r_1 = 0,3 \text{ Ом}$$

$$r_2 = 1 \text{ Ом}$$

$$R = 7,7 \text{ Ом}$$

Табу керек:

$$U_2 - ?$$



2.5-сурет.

Шешуі. Екінші ток көзінің клеммаларындағы U_2 кернеуді келесі формуламен анықтауға болады:

$$U_2 = \mathcal{E}_2 - I r_2.$$

Толық тізбек үшін Ом заңына сәйкес тізбектің барлық элементтері (оның ішінде, екінші ток көзі арқылы да) арқылы өтетін ток күшінің шамасы:

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2}{R + r_1 + r_2}.$$

Онда;

$$U_2 = \mathcal{E}_2 - \frac{(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2)r_2}{R + r_1 + r_2} = \frac{\mathcal{E}_2(R + r_1 + r_2) - (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2)r_2}{R + r_1 + r_2} = \frac{\mathcal{E}_2(R + r_1) - \mathcal{E}_1 r_2}{R + r_1 + r_2}.$$

$$U_2 = \frac{1,8 \cdot (7,7 + 0,3) - 1,4 \cdot 1}{7,7 + 0,3 + 1} = 1,44 \text{ В.}$$

Жауабы: $U_2 = 1,44 \text{ В}$

2.3 есеп. Көлденең қимасының d диаметрі 0,4 мм темір өткізгіш арқылы 12 А ток жүреді. Еркін электрондардың n концентрациясы өткізгіштегі атомдардың n' концентрациясына тең деп алып, электрондардың бағытталған қозғалысының $v_{др}$ орташа жылдамдығын анықтаңыздар (2.6-сурет).

Берілгені:	Шешуі. Электрондардың бағытталған, реттелген қозғалысының орташа жылдамдығы, дрейфтік жылдамдық деп аталады, ол төмендегідей анықталады:
$d = 0,4$ мм $I = 12$ А $n = n'$	$v_{др} = \frac{l}{t}, \quad (1)$
Табу керек: $v_{др} - ?$	мұндағы t – өткізгіштің көлеміндегі 1 және 2-ші қималары арасындағы барлық еркін электрондардың 2-ші қима арқылы өтетін уақыт аралығы.

Сондай-ақ, 2ші қима арқылы электрондар заряд тасымалдап,

$$q = eN,$$

ток туғызады:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{eN}{t}, \quad (2)$$

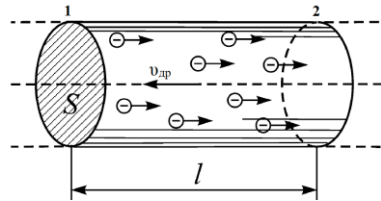
мұндағы e – элементар заряд; N – қималармен шектелген өткізгіш көлеміндегі еркін электрондар саны.

Өткізгіштің V көлеміндегі еркін электрондар саны:

$$N = nV = n l S, \quad (3)$$

мұндағы S – қима ауданы, l – 1 мен 2 қималар арасындағы арақашықтық.

Есептің шарты бойынша $n = n'$.



2.6-сурет.

Сәйкесінше,

$$n = n' = \frac{N}{V} = \frac{m N_A}{M V} = \frac{N_A \cdot \rho}{M}, \quad (4)$$

мұндағы N_A – Авогадро тұрақтысы; V – металл көлемі; M – металдың мольдік массасы; ρ – оның тығыздығы.

(4) формуладағы n өрнегін (3) теңдікке қойып, төмендегіні аламыз:

$$N = n l S = \frac{N_A \cdot \rho}{M} l S, \quad (5)$$

(5) формуладағы N өрнегін (2) теңдікке қойып, ток күші үшін келесі өрнекті аламыз:

$$I = \frac{eN}{t} = \frac{e}{t} \cdot \frac{N_A \cdot \rho}{M} l S. \quad (6)$$

Бұдан шығатыны:

$$l = \frac{I M t}{N_A \cdot \rho \cdot S \cdot e}. \quad (7)$$

Ары қарай, (7) формуланы (1) формулаға қойсақ:

$$v_{др} = \frac{l}{t} = \frac{I M}{N_A \cdot \rho S e}. \quad (8)$$

Өткізгіштің S көлденең қимасының ауданын d диаметр арқылы өрнектеп, электрондардың дрейфтік жылдамдығын табамыз:

$$v_{др} = \frac{4 I \cdot M}{\pi \cdot d^2 \cdot N_A \cdot \rho \cdot e}.$$

Темірдің тығыздығы: $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$, мольдік массасы: $56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$

Есептеулер жүргіземіз:

$$\begin{aligned} v_{др} &= \frac{4 \cdot 12 \cdot 56 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,16 \cdot 10^{-6} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 7800 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \\ &= 7,12 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}}. \end{aligned}$$

Өлшем бірлік тексерейік:

$$\begin{aligned} [v_{др}] &= \frac{[I] \cdot [M]}{[d]^2 \cdot [N_A] \cdot [\rho] \cdot [e]} = \frac{\text{А} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\text{м}^2 \cdot \frac{1}{\text{моль}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{Кл}} = \frac{\text{А} \cdot \text{м}}{\text{Кл}} \\ &= \frac{\text{Кл} \cdot \text{м}}{\text{с} \cdot \text{Кл}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}. \end{aligned}$$

$$\text{Жауабы: } v_{др} = 7,12 \cdot \frac{10^{-3} \text{ м}}{\text{с}}.$$

2.4 есеп. 2.7-суретте электр тізбегі берілген. Тізбектегі $R_1=100$ Ом, $R_2= 50$ Ом, $R_3 = 20$ Ом, гальваникалық элементтің ЭҚК-і $\mathcal{E}_1 = 2$ В. Тізбекте көрсетілген бағытта жүріп жатқан $I_3 = 50$ мА токты гальванометр тіркейді. Екінші элементтің $\mathcal{E}_2$ ЭҚК-ін анықтаңыздар. Гальванометрдің кедергісі және гальваникалық элементтердің ішкі кедергісі ескерілмейді.

Берілгені:

$$\begin{aligned} R_1 &= 120 \text{ Ом}, \\ R_2 &= 30 \text{ Ом}, \\ R_3 &= 10 \text{ Ом}, \\ \mathcal{E}_1 &= 1,5 \text{ В} \\ I_3 &= 30 \text{ мА} \end{aligned}$$

Табу керек: $\mathcal{E}_2$ – ?
 I_1 – ? I_2 – ?

Шешуі. Бұл есепті шығару үшін Кирхгоф ережелерін қолданамыз. Ол үшін 2.7-суретте көрсетілгендей токтың бағытын таңдап аламыз. Контурды сағат тілі бағытымен айналып өтеміз.

N түйіні үшін Кирхгофтың бірінші ережесін қолданамыз:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

Кирхгофтың екінші ережесін $ABCDNA$ контурына қолданып, алған формуланы (-1)-ге көбейтеміз:

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 = \mathcal{E}_1$$

Кирхгофтың екінші ережесін $ANKHA$ контурына қолданамыз:

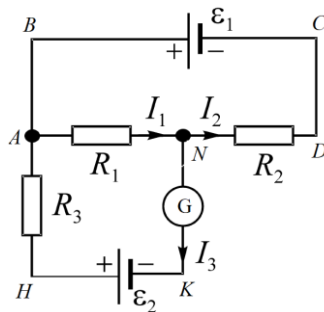
$$I_1 R_1 + I_3 R_3 = \mathcal{E}_2$$

Алынған үш формулаға да сандық мәндерін қоямыз:

$$\begin{aligned} I_1 - I_2 &= 0,03; \\ 120I_1 + 30I_2 &= 1,5; \\ 120I_1 + 0,03 \cdot 10 &= \mathcal{E}_2. \end{aligned}$$

Теңдеулердегі белгісіз шамаларды теңдіктің сол жағына өткіземіз, ал белгілі шамаларды оң жақта қалдырып, келесі теңдеулер жүйесін аламыз:

$$I_1 - I_2 = 0,03;$$



2.7-сурет.

$$\begin{aligned}80I_1 + 20I_2 &= 1; \\120I_1 - \mathcal{E}_2 &= -0,3.\end{aligned}$$

Бастапқы екі теңдеуді бірге шеше отырып, келесі мәндерді аламыз:

$$I_1 = 0,016 \text{ A}, \quad I_2 = -0,014 \text{ A}.$$

I_2 токтың алдындағы « $\leftarrow$ » таңбасы 2.7-суреттегі I_2 токтың бағыты дұрыс алынбағандығын білдіреді, шын мәнінде ток карама-қарсы бағытта жүріп жатыр.

Онда үшінші теңдіктен $\mathcal{E}_2 = 2,22 \text{ В}$ екендігі шығады.

$$\text{Жауабы: } \mathcal{E}_2 = 2,22 \text{ В}, \quad I_1 = 0,016 \text{ A}, \quad I_2 = -0,014 \text{ A}$$

2.5 есеп. Қыздырғыш ретінде қолданылатын нихром сымның көлденең қимасының ауданы $S=0,4 \text{ мм}^2$, ол $t_1 = 30^\circ \text{ C}$ температурада алынған массасы $m = 1 \text{ кг}$ суды $\tau = 12$ минутта қайнатады. Егер қыздырғыш $U = 120 \text{ В}$ кернеуге арналған болса, және оның ПӘК-і $\eta = 70 \%$ болса, сымның ұзындығы қандай болуы керек?

Нихромның меншікті кедергісі $\rho=1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, судың меншікті жылу сыйымдылығы $c = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ және судың меншікті булану жылуы $r = 2,26 \cdot 10^3 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Берілгені:

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$t_1 = 30^\circ \text{ C}$$

$$S = 0,4 \text{ мм}^2 = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$U = 120 \text{ В}$$

$$\eta = 70 \%$$

$$\rho = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$c = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

$$r = 2,26 \cdot 10^3 \text{ кДж}/\text{кг}$$

$$\tau = 720 \text{ с}$$

Шешуі. Қыздырғыштың пайдалы әсер коэффициенті пайдалы энергияның жұмсалған энергияға қатынасы арқылы анықталады:

$$\eta = \frac{Q_{\text{пайд}}}{Q_{\text{жұмс}}} \cdot 100\%.$$

Пайдалы энергия суды қыздыру мен қайнатуға кетеді:

$$Q_{\text{пайд}} = cm(t_{\text{қайн}} - t_1) + rm.$$

Табу керек: $l - ?$

Жұмсалған энергия – қыздырғыш бойымен ток жүрген кезде бөлінетін жылу мөлшері.

Джоуль-Ленц заңына сәйкес:

$$Q_{\text{жұмс}} = \frac{U^2}{R} \tau.$$

Мұндағы R – өткізгіштің кедергісі,

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Барлық формулаларды біріктіріп, келесі өрнекті аламыз:

$$m[c(t_{\text{қайн}} - t_1) + r] = \eta \frac{U^2 S}{\rho l} \tau.$$

Жоғарыдағы теңдеуден сымның ұзындығын анықтаймыз:

$$l = \eta \frac{U^2 S}{\rho m[c(t_{\text{кип}} - t_1) + r]} \tau.$$

Есептеулер жүргіземіз:

$$l = 0,7 \cdot \frac{120^2 \cdot 0,4 \cdot 10^{-6}}{1,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot [4,2 \cdot 10^3 (100 - 30) + 2,26 \cdot 10^6]} \cdot 720 = 1,14 \text{ м}.$$

Өлшем бірлікті тексереміз:

$$[l] = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{м}^2}{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{кг} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot \text{К} + \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right]} \cdot \text{с} = \text{м}$$

Бұл жерде Джоуль-Ленц заңын қолдандық, ол бойынша:

$$\text{Дж} = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с}}{\text{Ом}}.$$

Жауабы: $l = 1,14 \text{ м}$

2.6 есеп. Көлденең қимасының ауданы $S = 4,5 \text{ мм}^2$ мыс өткізгіштен тұратын тізбекке қорғасын сақтандырғыш (предохранитель) қосу керек. Өткізгіш сымды $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ -дан жоғары қыздырғанда, қорғасын сақтандырғыш балку үшін оның көлденең қимасы қандай болуы қажет? Қорғасынның бастапқы температурасы $t = 27^\circ\text{C}$, қорғасынның балку температурасы $t_{\text{балку}} = 327^\circ\text{C}$.

Берілгені:

$$S_1 = 4,5 \text{ мм}^2 = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$\Delta t_1 = 10^\circ\text{C}$$

$$t = 27^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{балку}} = 327^\circ\text{C}$$

$$c_1 = 400 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$$

$$d_1 = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$\rho_1 = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$c_2 = 140 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$$

$$d_2 = 11,3 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$\lambda = 0,25 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{K}$$

$$\rho_2 = 20,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Табу керек: $l - ?$

Шешуі. Сақтандырғыштарды электр тізбегіне қосу максаты, сымдардың температурасы рұқсат етілген температурадан асып кетсе, ол күйіп кетеді.

Мұндай сақтандырғыштарды тізбекке тізбектей жалғайды, сондықтан тізбектің сымдарымен қандай ток жүрсе, сақтандырғыштан да сондай ток өтеді.

Сақтандырғыштың өлшемдерін анықтау үшін Джоуль–Ленц заңын қолданамыз. Өткізгіш сымдар бойымен электр тогы жүргенде τ уақытта бөлінетін жылу мөлшері:

$$Q_1 = I^2 R_1 \tau.$$

Мұндағы I – өткізгіш сымдардағы және сақтандырғыштағы ток күші, R_1 – өткізгіш сымдардың кедергісі.

Бұл энергияның барлығы өткізгіш сымдарды қыздыруға кетеді, себебі, бұл есепте қоршаған ортаны қыздыруға кеткен энергия шығыны ескерілмейді.

Өткізгіш сымдардың ішкі энергиясы келесі шамаға артады:

$$Q_1 = c_1 m_1 \Delta t_1 .$$

Мұндағы c_1 – мыстың меншікті жылу сыйымдылығы; m_1 – өткізгіш сымдардың массасы.

Онда келесі түрде жазсақ болады:

$$I^2 R_1 \tau = c_1 m_1 \Delta t_1 . \quad (1)$$

Мыстың тығыздығын d_1 , мыстың меншікті кедергісін ρ_1 , өткізгіштің ұзындығын l_1 , оның көлденең қимасының ауданын S_1 деп белгілесек, онда өткізгіш массасы мен кедергісі, сәйкесінше, келесі түрде жазылады:

$$m_1 = d_1 S_1 l_1; \quad R_1 = \rho_1 \frac{l_1}{S_1} . \quad (2)$$

(2) өрнекті (1) өрнекке қойып, l_1 -ге бөліп, келесі теңдікті аламыз:

$$I^2 \frac{\rho_1}{S_1} \tau = c_1 d_1 S_1 \Delta t_1 . \quad (3)$$

Сақтандырғыш үшін де осындай пайымдаулар қолданамыз. Джоуль-Ленц заңы бойынша кедергісі R_2 сақтандырғыш бойымен электр тогы жүргенде бөлінетін жылу мөлшері:

$$Q_2 = I^2 R_2 \tau ,$$

Бұл жылу сақтандырғыштың қызуына және балкуына кетеді:

$$Q_2 = c_2 m_2 \Delta t_2 + \lambda m_2 .$$

Мұндағы c_2 – қорғасынның меншікті жылу сыйымдылығы және λ – қорғасынның меншікті балку жылуы; m_2 – сақтандырғыштың массасы;

$\Delta t_2 = t_{\text{балку}} - t$ – қорғасынның бастапқы және соңғы температураларының айырымы.

Есептің шарты бойынша жылудың шығыны ескерілмейтін болғандықтан, энергияның сақталу заңы бойынша

$$I^2 R_2 \tau = c_2 m_2 \Delta t_2 + \lambda m_2 . \quad (4)$$

Қорғасынның тығыздығын d_2 , қорғасынның меншікті кедергісін ρ_2 , сақтандырғыштың ұзындығын l_1 , оның көлденең кимасының ауданын S_2 деп белгілесек, онда сақтандырғыштың массасы мен кедергісі, сәйкесінше, келесі түрде жазылады:

$$m_2 = d_2 S_2 l_2; \quad R_2 = \rho_2 \frac{l_2}{S_2}. \quad (5)$$

(5) өрнекті (4) өрнекке қойып, l_2 -ге бөліп, келесі теңдікті аламыз:

$$I^2 \frac{\rho_2}{S_2} \tau = d_2 S_2 (c_2 \Delta t_2 + \lambda). \quad (6)$$

(6) теңдеуді (3) теңдеуге бөлсек:

$$\frac{c_1 d_1 S_1 \Delta t_1}{d_2 S_2 (c_2 \Delta t_2 + \lambda)} = \frac{\rho_1 S_2}{\rho_2 S_1}.$$

Онда

$$S_2 = S_1 \sqrt{\frac{c_1 d_1 \rho_2 \Delta t_1}{d_2 \rho_1 (c_2 \Delta t_2 + \lambda)}}.$$

Сандық мәндерін қоямыз:

$$\begin{aligned} S_2 &= 4,5 \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{400 \cdot 8,9 \cdot 10^3 \cdot 20,8 \cdot 10^{-8} \cdot 10}{11,3 \cdot 10^3 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot (140 \cdot 300 + 0,25 \cdot 10^5)}} \\ &= 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Өлшем бірлік көрініп тұр.

$$\text{Жауабы: } S_2 = 3,910^{-6} \text{ м}^2 = 3,9 \text{ мм}^2.$$

2.3 Өздігінен шығару үшін берілген есептер

1. Электрлік қыздыру шамы $I=0,2$ А ток күшін тұтынады. Вольфрам қылының диаметрі $d = 0,02$ мм, шам жанып тұрған кездегі қылдың температурасы $t = 2000^\circ \text{C}$. Қылдағы электр өрісінің E кернеулігін анықтаңыз. Вольфрамның меншікті кедергісі $\rho_0 = 5,6 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, кедергінің температуралық коэффициенті $\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$. Жауабы: $E=360 \text{ В/м}$

2. ЭҚК-і $\varepsilon_1 = 12$ В және ішкі кедергісі $r_1 = 0,2$ Ом тұрақты ток генераторы ЭҚК-і $\varepsilon_2 = 10$ В және ішкі кедергісі $r_2 = 0,6$ Ом аккумуляторлар батареясын зарядтайды. Батареяға кедергісі $R=3$ Ом шам параллель жалғанған. Аккумуляторлар батареясындағы және шамдағы ток күшін анықтаңыздар.

Жауабы: $I_2 \approx 1,6$ А; $I \approx 3,6$ А

3. $I = 8$ А ток күшін алу үшін аралас батареяға жалғанған бірдей аккумуляторлардың ең аз мөлшері алынған. Егер аккумуляторларды тізбектей жалғаса, тізбекте қандай ток алуға болады? Бір аккумулятордың ЭҚК-і $\varepsilon_1 = 2$ В, ішкі кедергісі $r_1 = 0,2$ Ом.

Жауабы: $I \approx 7,2$ А

4. U_0 кернеуге арналған электр пеші, осындай кернеуі бар желіге қосқанда $P_1 = 250$ Вт қуат тұтынады. Егер пештің номиналь қуаты $P_0 = 300$ Вт болса, желіге тізбектей (параллель) қосылған осындай екі пеш қандай қуат тұтынады? Қызу нәтижесінде пештердің кедергілерінің өзгерісі ескерілмейді.

Жауабы: $P_{\text{тізб}} \approx 136$ Вт; $P_{\text{паралл}} \approx 420$ Вт

5. Электр пеші массасы $m=1$ кг, температурасы $t_1 = 20^0$ С суды $\tau = 10$ минутта қайнатуы тиіс. Қыздырғыш ретінде қолданылған нихром сымының көлденең қимасының ауданы $S=0,5$ мм², егер пеш $U = 120$ В кернеуге арналған және оның ПӘК-і $\eta = 80\%$ болса, нихром сымның ұзындығы қандай болуы қажет? Нихром сымның меншікті кедергісі $\rho = 1,1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м, судың меншікті жылу сыйымдылығы және меншікті булану жылуы сәйкесінше: $c=4,2$ кДж/(кг·К) және $r = 2,26 \cdot 10^3$ кДж/кг.

Жауабы: $l \approx 1,2$ м

6. Ұзындығы l өткізгіш бойымен I ток жүреді. Егер электронның зарядының оның массасына қатынасы γ болса, өткізгіштегі электрондардың қосынды импульсі неге тең?

Жауабы: $I \cdot l / \gamma$

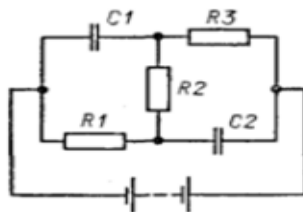
7. Мыс және алюминий екі сымдардың массалары бірдей. Мыс сымның ұзындығы алюминий сымнан 10 есе үлкен. Мыстың тығыздығы алюминийдің тығыздығынан 3,3 есе артық, ал меншікті кедергісі 1,65 есе аз. Мыс пен алюминий сымдардың кедергілерінің айырмашылығы қанша есе? Жауабы: 200 есе

8. Ұзындығы 5 м өткізгіш сымның ұштарындағы потенциалдар айырымы 4,2 В. Егер сымның меншікті кедергісі $2 \cdot 10^{-7}$ Ом·м және кедергінің температуралық коэффициенті $6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ болса, 120^0 C температура кезіндегі өткізгіш сымдағы ток тығыздығын анықтаңыздар. Жауабы: $j \approx 4,3 \text{ A/mm}^2$

9. Сымның кедергісі 36 Ом. Оны бірнеше бірдей бөлікке болып, бұл бөліктерді параллель жалғаған кезде, оның кедергісі 1 Ом. Сымды қанша бөлікке бөлгені анықтаңыз.

Жауабы: 6

10. Суретте келтірілген тізбектегі C_2 және C_1 конденсаторлардағы зарядтар сәйкесінше, $3q$ және $2q$, схемадағы батареяның ЭҚК-ін анықтаңыздар. Ток көзінің ішкі кедергісі ескерілмейді. C_1 және C_2 конденсаторлардың сыйымдылықтары



C және $2C$, R_1 , R_2 және R_3 резисторлардың кедергілері R , $2R$ және R -ге тең. Жауабы: q/C

11. Кедергісі 1,8 Ом резисторға гальваникалық элементті тұйықтаған кезде тізбектегі ток күші 0,7 А болды, ал кедергісі 2,3 Ом резисторға элементті тұйықтағанда ток Қысқаша тұйықталу тогы неге тең? Жауабы: 7 А

12. ЭҚК-тері 1,08 В және ішкі кедергілері 0,6 Ом болатын 12 элементтен батарея құралған. Батарея 4 топтан тұрады, әр топта үш элементтен бар. Топтағы элементтер параллель жалғанған, ал топтар өзара тізбектей жалғанған. Егер батареяны кедергісі 11,2 Ом резисторға тұйықтаса, әр элементтегі ток күшін анықтаңыздар. Жауабы: 0,12 А

13. Егер шам 220 В кернеуге арналған және 150 Вт қуат тұтынатын болса, қыздыру шамының қылы арқылы әр секунд сайын қанша электрон өтеді? Жауабы: $4,25 \cdot 10^{18}$.

14. Электр сымының кедергісі 300 Ом. Тұтынушыға 25 кВт қуат беру кезінде, электр сымындағы шығын берілетін қуаттың 4% аспау үшін генератор қандай кернеу беруі қажет?

Жауабы: 14 кВ

15. Егер электростанциядағы кернеу 230 В, ал өткізгіш сымдардағы кернеудің рұқсат етілген шығыны 10%-дан аспайтын болса, жалпы ұзындығы 1,5 км, көлденең қимасының ауданы 18 мм² мыс сымдар арқылы тұтынушыға қандай қуат беруге болады?

Жауабы: 3,36 кВт

16. Номиналь қуаттары $P_1 = 40$ Вт және $P_2 = 60$ Вт екі шам бірдей кернеуге есептелген, шамдар тізбектей жалғанып, қажетті кернеудегі желіге қосылған. Шамдар қандай қуаттарды тұтынады? Қай шам жарығырақ жанады?

Жауабы: 14,4 Вт; 9,6 Вт

17. Гальваникалық элемент туғызған сыртқы тізбектегі ток күші 3 А, ал кернеу 2В. Егер гальваникалық элементтің ішкі кедергісі 0,02 Ом болса, элементтің ПӘК-ін анықтаңыздар.

Жауабы: 97%

18. Кедергісі 5 Ом өткізгішті тұйықтағанда, элементтер батареясы туғызған ток күші 1 А болды. Батареяның қысқаша тұйықталу тогы 6А. Батарея қандай пайдалы қуат бере алатындығын анықтаңыз.

Жауабы: 9 Вт

19. 10⁰С температурадағы 0,6 л электр шәйнегін тоққа қосып, токтан ажыратуды ұмытып кетеді. Тоққа қосқаннан кейін қанша уақыттан соң шәйнектегі барлық су қайнайды? Шәйнектегі орамның кедергісі 14,4 Ом, желідегі кернеу 120 В, шәйнектің ПӘК-і 60 %.

Жауабы: 44 мин

20. ЭҚК-і 110 В және ішкі кедергісі 4 Ом генератор тізбегіне электр пеші қосылған. Пешке тізбектей жалғанған амперметр 2,5 А ток күшін көрсетеді. Егер 1 л суды 0,5 сағатта қайнатуға болатын болса, пештің ПӘК-і неге тең? Судың бастапқы температурасы 4⁰С.

Жауабы: 89%

21. $P_1 = 600$ Вт және $P_2 = 300$ Вт қуатты тұтынатын электр кастрюль мен шәйнек желіге параллель жалғанған. Кастрюль мен шәйнектегі су бірізгіде $t = 20$ мин соң қайнайды.

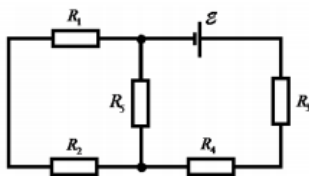
Егер кастрюль мен шәйнекті тізбектей жалғайтын болса, олардағы су қанша уақыттан кейін қайнайды?

Жауабы: 3 сағ 45 мин

22. Тізбек бөлігінде ұзындығы 2 м, көлденең қимасының ауданы $0,48 \text{ мм}^2$ болат сым никель сымға тізбектей жалғанған, никель сымның ұзындығы 1 м, көлденең қимасының ауданы $0,21 \text{ мм}^2$. $0,6 \text{ А}$ ток күшін алу үшін тізбек бөлігіне қандай кернеу беру қажет?

Жауабы: $U = 1,5 \text{ В}$

Суретте келтірілген электр схемасындағы кедергілердің мәні: $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = 30 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$, $R_4 = 40 \text{ Ом}$, $R_5 = 15 \text{ Ом}$. Ток көзінің ЭҚК-і $\varepsilon = 120 \text{ В}$. Электр тізбегінің әр бөлігінен жүретін токтардың шамасын есептеңіздер.



Жауабы: $I_1 = 0,6 \text{ А}$, $I_2 = -1,4 \text{ А}$, $I_3 = 2 \text{ А}$

23. Кедергісі $R = 20 \text{ Ом}$ өткізгіштегі ток күші $\Delta t = 2 \text{ с}$ уақыт аралығында $I_0 = 0$ -ден $I_{\text{max}} = 6 \text{ А}$ дейін сызықтық заңмен өзгереді. Өткізгіштегі бірінші секундтағы бөлінген Q_1 жылу мөлшерін және екінші секундта бөлінген Q_2 жылу мөлшерін, сонымен қатар, Q_2/Q_1 жылу мөлшерлерінің қатынасын анықтаңыз.

Жауабы: $Q_2/Q_1 = 7$

24. ЭҚК-і $\varepsilon = 6 \text{ В}$ тұрақты ток көзі тізбегіне кедергісі $R = 80 \text{ Ом}$ резистор жалғанған. Анықтаңыздар: 1) көлденең қимасының ауданы $S = 2 \text{ мм}^2$ жалғаушы өткізгіштердегі ток тығыздығын; 2) $t = 1 \text{ с}$ уақыт мезетінде өткізгіштердің көлденең қимасы арқылы өтетін N электрондар санын.

Ток көзі мен жалғаушы сымдардың кедергісі ескерілмейді.

Жауабы: 1) $j = 3,75 \cdot 10^4 \text{ А/м}^2$; 2) $N = 4,69 \cdot 10^{17}$ электрон

25. 5 Ом кедергі, вольтметр және ток көзі параллель жалғанған. Вольтметр 10 В кернеуді көрсетеді. Егер кедергіні 12 Ом ға дейін арттырса, вольтметр 12 В кернеуді көрсетеді. Ток көзінің ЭҚК-і мен ішкі кедергісін анықтаңыз. Жауабы: 2 Ом ; 14 В

26. Электр тізбегі ЭҚК-тері $\varepsilon_1 = 6 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 2 \text{ В}$, $\varepsilon_3 = 4 \text{ В}$ ток көздерінен және кедергілері $R_1 = 2 \text{ Ом}$ және $R_2 = R_3 = 4 \text{ Ом}$

реостаттардан тұрады. R_2 реостаттағы ток күшін және оның ұштарындағы кернеуді анықтаңыздар. Жауабы: 1,375 А; 5,5 В

27. Кедергісі 20 Ом өткізгіштегі ток күші 2 с уақыт аралығында 0-ден 4 А-ге дейін бірқалыпты өседі. Өткізгіштен бастапқы жарты секундта бөлінетін жылу мөлшерін анықтаңыздар. Жауабы: 90 Дж

28. Кедергісі $R=3$ Ом өткізгіштің ұштарындағы кернеу $t=20$ с уақыт аралығында $U_0 = 2$ В-тан $U = 4$ В-қа дейін бірқалыпты артқан кезде өткізгіш бойымен ағып өтетін Q зарядты анықтаңыз. Жауабы: $Q = 140$ Кл

29. Қыздыру шамының вольфрам қылының $t_1 = 20^\circ\text{C}$ температурадағы кедергісі $R_1 = 35,8$ Ом. Егер шамды кернеуі $U = 120$ В желіге қосқан кезде, вольфрам қылы арқылы $I=0,33$ А ток өтетін болса, қылдың t_2 температурасы қандай болады? Вольфрамның температуралық кедергі коэффициенті $\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Жауабы: $t_2 = 2411^\circ\text{C}$

30. ЭҚК-тері 2 В және ішкі кедергілері $r = 0,3$ Ом бірдей екі элемент берілген. Егер сыртқы кедергі: а) $R = 0,2$ Ом; б) $R = 16$ Ом болса, сыртқы тізбек бөлігінде үлкен ток алу үшін элементтерді қалай жалғау керек (тізбектей немесе параллель)? Әр жағдай үшін токты тауып, оларды салыстырыңыздар. Жауабы: Ток көздері тізбектей жалғанған: а) $R = 0,2$ Ом кезінде $I_1=5\text{A}$; б) $R = 16$ Ом кезінде $I_2=0,24$ А.

Ток көздері параллель жалғанған:

а) $R = 0,2$ Ом кезінде $I_3=5,7$ А; б) $R = 16$ Ом кезінде $I_4=0,12$ А

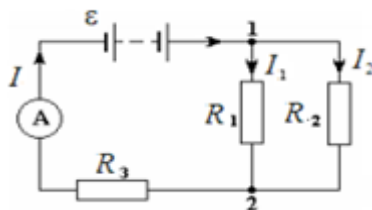
Алынған токтарды салыстыра отырып, R сыртқы кедергі аз кезінде параллель жалғаған тиімді ($I_3 > I_1$), ал R үлкен кедергі кезінде ток көздерін тізбектей жалғаған тиімді ($I_2 > I_4$) екендігі көрінеді.

31. Ток көзін бастапқыда $R_1 = 2$ Ом сыртқы кедергіге, содан кейін $R_2 = 0,5$ Ом сыртқы кедергіге тұйықтайды. Егер екі жағдайда да сыртқы тізбекте бөлінетін қуат бірдей және $P_1 = 2,54$ Вт екендігі белгілі болса, ток көзінің $\mathcal{E}$ ЭҚК-ін және оның r ішкі кедергісін анықтаңыздар. Жауабы: $\mathcal{E} \approx 4,86$ В, $r = 1$ Ом

32. Егер сыртқы тізбекте ток күші 4 А кезінде 10 Вт қуат бөлінсе, ал ток күші 2 А кезінде қуат 8 Вт болса, ток көзінің $\mathcal{E}$ ЭҚК-і мен r ішкі кедергісін анықтаңыздар.

Жауабы: $\mathcal{E}=5,5$ В, $r=0,75$ Ом

33. Батарейаның ЭҚК-і $\varepsilon=120$ В, сыртқы кедергілер $R_3 = 30$ Ом, $R_2 = 60$ Ом, Тізбектің схемасы суретте келтірілген. Амперметр $I=2$ А ток шамасын көрсетеді. R_1 кедергіде бөлінетін қуатты табыңыз. Ток көзінің кедергісі ескерілмейді.

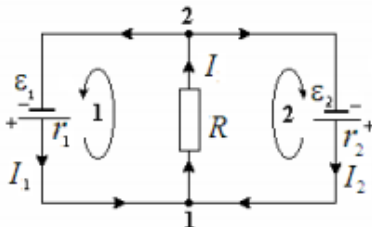


Жауабы: $P = 57,6$ Вт

34. ЭҚК-і $\varepsilon = 24$ В, ішкі кедергісі $r=1$ Ом аккумулятор батареясының қысқыштарына қыздырғыш жалғанған. Тізбекке жалғанған қыздырғыш $P=80$ Вт қуат тұтынады. Тізбектегі ток күшін және ток көзінің пайдалы әсер коэффициентін анықтаңыздар.

Жауабы: $I = 7,5$ А ; ПӘК $\eta = 0,44$

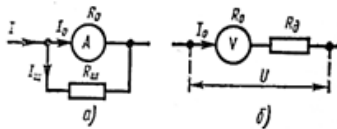
35. ЭҚК-тері бірдей $\varepsilon_1=\varepsilon_2=2$ В және ішкі кедергілері $r_1 = 1$ Ом, $r_2 = 2$ Ом ток көздері R сыртқы кедергіге тұйықталған. Бірінші ток көзі арқылы $I_1 = 1$ А ток жүреді. R кедергіні, екінші ток көзі арқылы өтетін I_2 тоқты, және R кедергі арқылы өтетін I тоқты анықтаңыздар. Тізбекті жалғау схемасы суретте келтірілген. Жауабы: Екінші ток көзі арқылы өтетін ток $I_2 = 0,5$ А, қосынды ток $I = I_1 + I_2 = 1,5$ А. Сыртқы кедергі $R = 0,66$ Ом



36. Мыс өткізгіштегі электр тогының тығыздығы 100 А/см². Егер мыстың меншікті кедергісі $1,8 \cdot 10^{-8}$ Ом·м болса, жылулық ток қуатының тығыздығын анықтаңыздар.

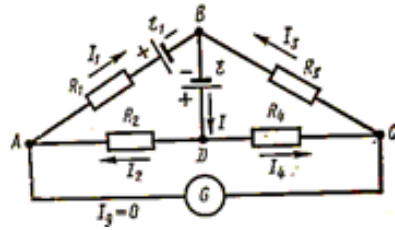
Жауабы: $\omega=18$ кВт/м³

37.Ішкі кедергісі $R_0=9,9$ Ом миллиамперметр 10 мА-ден жоғары емес токтарды өлшеуге арналған. Бұл аспапты 1) 1 А-ге дейінгі токтарды және 2) 1 В-қа дейінгі кернеулерді өлшеуге қолдану үшін не істеу қажет?



Жауабы: 1) $R_{ш}=0,1$ Ом; 2) $R_{к}=90,1$ Ом

38. Суретте келтірілген электр схемасында R_2 , R_3 , R_4 кедергілер және ε , ε_1 ЭҚК-тер берілген. Егер G гальванометр арқылы өтетін ток $I_g=0$ болса, R_1 кедергіні анықтаңыздар. Алынған нәтижені $\varepsilon_1=0$ кезінде де қарастырыңыздар.



Жауабы: $R_1 = \frac{R_3 R_2}{R_4} - \frac{R_2 (R_3 + R_4)}{R_4} \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon}$, егер $\varepsilon_1=0$ болса, онда

нәтиже ε -ға тәуелді болады: $R_1 = \frac{R_3 R_2}{R_4}$

3 ТАРАУ

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

3.1 Негізгі формулалар мен анықтамалар

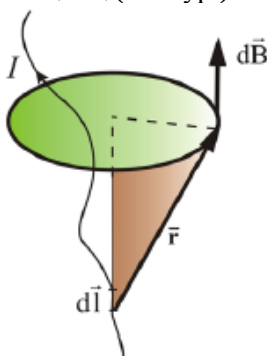
1. Магнит өрісі – қозғалыстағы зарядтардың, тогы бар өткізгіштердің және тұрақты магниттердің айналасында пайда болатын және қозғалыстағы зарядтарға әсер ету арқылы байқалатын материяның түрі.

2. Био-Савар-Лаплас заңы бойынша I ток жүріп жатқан контурдың dl элементі кеңістіктің қандай да бір A нүктесінде индукциясы $d\vec{B}$ магнит өрісін туғызады:

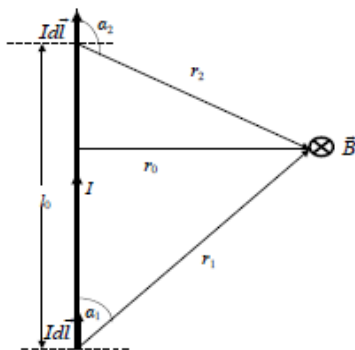
$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0 I [d\vec{l}, \vec{r}]}{4\pi r^3}, \quad dB = \frac{\mu\mu_0 I \sin \alpha dl}{4\pi r^2}. \quad (3.1)$$

$[B] = \text{Тл (Тесла)} = \text{Н}/(\text{А} \cdot \text{м})$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магниттік тұрақты; μ – ортаның салыстырмалы магниттік өтімділігі; $\vec{r}$ – dl ток элементінен A нүктесіне дейін жүргізілген радиус-вектор,

r – dl ток элементінен A нүктесіне дейін жүргізілген арақашықтық (3.1-сур.).



3.1-сурет. Био-Савар-Лаплас заңына берілген сурет



3.2-сурет. Ұзындығы шектеулі түзу тогы бар өткізгіш туғызған магнит өрісі

Био-Савар-Лаплас заңын әртүрлі контурларға қолдана отырып, магнит өрісінің индукциясын анықтауға болады:

а) Дөңгелек токтың центріндегі өрістің магнит индукциясы:

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2R}. \quad (3.2)$$

мұндағы R – өткізгіштің қисықтық радиусы.

б) Ұзындығы шексіз, түзу тогы бар өткізгіш туғызған өрістің магнит индукциясы:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{R}. \quad (3.3)$$

мұндағы R – өткізгіштен қарастырылып отырған нүктеге дейінгі арақашықтық.

с) Ұзындығы шектеулі, түзу тогы бар өткізгіш туғызған өрістің магнит индукциясы:

$$dB = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2). \quad (3.4)$$

3. Қозғалыстағы зарядтың магнит өрісі:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q[\vec{v}, \vec{r}]}{r^3}. \quad B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \sin(\vec{v}, \vec{r})}{r^3} \quad (3.5)$$

мұндағы q – зарядтан бақылау нүктесіне дейін жүргізілген радиус-вектор.

4. Біртекті магнит өрісіне орналастырылған тогы бар контурға әсер ететін айналдырушы момент

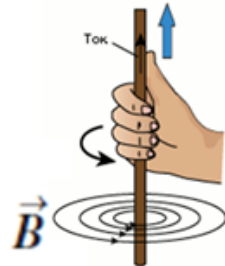
$$\vec{M} = [\vec{p}_m, \vec{B}], \quad M = p_m B \sin \alpha \quad (3.6)$$

мұндағы α – $\vec{B}$ және $\vec{p}_m$ векторлары арасындағы бұрыш.

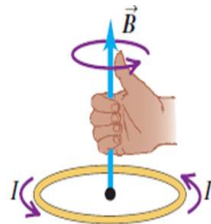
$\vec{p}_m$ – тогы бар контурдың магниттік моменті: $\vec{p}_m = IS\vec{n}$, (3.7)

мұндағы S – тогы бар контурдың ауданы; $\vec{n}$ – контур бетіне түсірілген бірлік нормаль вектор.

Түзу ток туғызған өрістің $\vec{B}$ магнит индукциясының бағытын анықтау үшін *оң қол ережесі*: бас бармақ токтың бағытын көрсететіндей етіп оң қолымызбен өткізгішті ұстасақ төрт саусағымыз магнит индукциясы сызықтарының бағытын көрсетеді.



Дөңгелек ток туғызған өрістің $\vec{B}$ магнит индукциясының бағытын анықтау үшін *оң қол ережесі*: егер төрт саусағымыз токтың бағытын көрсетсе, бас бармақ магнит индукциясы векторының бағытын көрсетеді.



3.3-сурет.
Оң қол ережесі

5. Магнит өрісінің B индукциясы мен H кернеулігі арасындағы байланыс:

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}. \quad (3.8)$$

6. Магнит өрісі осы өрісте қозғалған зарядталған бөлшекке күшпен әсер етеді. Лоренц күші:

$$\vec{F}_L = q[\vec{v}, \vec{B}], \quad F_L = qvB \sin \alpha, \quad (3.9)$$

мұндағы $\vec{v}$ – зарядталған бөлшектің жылдамдығы; α – $\vec{v}$ және $\vec{B}$ векторлары арасындағы бұрыш.

Егер $\vec{v}$ жылдамдық векторы мен $\vec{B}$ магнит индукциясы векторы арасындағы α бұрыш:

1) $\alpha = 0$ немесе π болса, онда бөлшек магнит индукциясы сызықтарының бойымен бірқалыпты, түзу сызықты қозғалады;

2) $\alpha = \pi/2$ болса, онда бөлшек шеңбер бойымен қозғалады, шеңбердің радиусы:

$$R = \frac{mv}{qB}. \quad (3.10)$$

Циклотрондық жиілік:

$$\omega = \frac{v}{R} = v \frac{qB}{mv} = \frac{qB}{mv}, \quad f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{qB}{2\pi mv}. \quad (3.11)$$

Айналу периоды:

$$T = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{2\pi m}{qB}. \quad (3.12)$$

3) α бұрышы кезкелген мәнге ие болса, онда жылдамдықты екі құраушыға жіктеуге болады;

• $\vec{B}$ индукция векторына перпендикуляр құраушы: $v_{\perp} = v \sin \alpha$,

- $\vec{B}$ индукция векторына параллель құраушы: $v_{\parallel} = v \cos \alpha$. Зарядтарланған бөлшек екі түрлі қозғалыс жасайды:
 - радиусын жылдамдықтың $v_{\perp}$ құраушысы анықтайтын шеңбер бойымен;
 - тұрақты $v_{\parallel}$ жылдамдықпен магнит индукциясы сызықтары бойымен түзу сызықты.
- Нәтижесінде бөлшек спираль бойымен қозғалады. Спиральдың радиусы:

$$R = \frac{mv_{\perp}}{qB} = \frac{mv \sin \alpha}{qB}. \quad (3.13)$$

Спираль қадамы – бөлшектің магнит индукциясы сызықтары бойымен, шеңбер бойымен бір айналымда жүріп өткен арақашықтығы:

$$L = v_{\parallel} T = v \cos \alpha \cdot \frac{2\pi m}{qB}. \quad (3.14)$$

7. Индукциясы $\vec{B}$ магнит өрісіне орналастырылған тогы бар өткізгіштің $d\vec{l}$ элементіне әсер ететін Ампер күші:

$$d\vec{F} = I[d\vec{l} \times \vec{B}]; \quad dF = I \cdot dl \cdot B \cdot \sin \alpha.$$

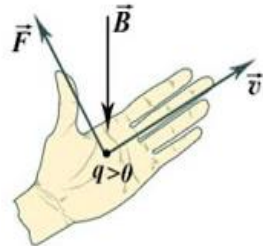
Лоренц күшінің бағытын анықтау.

Сол қол ережесі: егер сол қолымызды В векторы алақанға кіретіндей етіп орналастырсақ, төрт саусақ оң зарядтың жылдамдығының бағытымен бағыттала, онда бас бармақ оң зарядқа әсер ететін Лоренц күшінің бағытын көрсетеді.

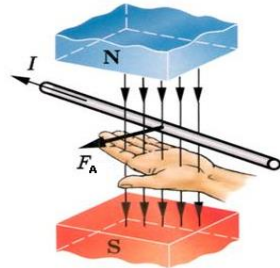
Егер заряд теріс болса, онда Лоренц күшінің бағыты қарама-қарсы жаққа қарай бағытталады.

Ампер күшінің бағытын анықтау.

Сол қол ережесі: егер сол қолымызды В векторы алақанға кіретіндей етіп орналастырсақ, ал төрт саусақ өткізгіштегі токпен бағыттас болса, онда бас бармақ Ампер күшінің бағытын көрсетеді.



3.4-сурет. Сол қол ережесі



8. Токтардың өзара әсерлесу күші:

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_2 I_1}{2\pi r}.$$

9. Кез-келген тұйық контур бойынша алынған $\vec{B}$ векторының циркуляциясы осы контурды қамтитын токтардың алгебралық қосындысын μ_0 -ға көбейткенге тең:

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k$$

10. dS аудан арқылы өтетін магнит индукциясы векторының ағыны (магнит ағыны):

$$d\Phi_B = \vec{B} d\vec{S} = B dS \cos \alpha = B_n dS. \quad (3.15)$$

а) біртекті магнит өрісі және жазық бет үшін:

$$\Phi_B = \vec{B} \vec{S} = BS \cos \alpha = B_n S.$$

мұндағы S – контур ауданы; α – контур жазықтығына тұрғызылған нормаль вектор мен магнит индукциясы векторы арасындағы бұрыш;

б) біртекті емес магнит өрісі және кез-келген бет үшін:

$$\Phi_B = \int_S B_n dS$$

интегралдау барлық бет бойынша жүргізіледі.

Бір-бірімен тығыз орналасқан, бірқалыпты оралған N орамнан тұратын соленоид пен тороид үшін толық ағын:

$$\Psi = N\Phi.$$

11. Фарадей заңы: Контурда пайда болған ЭҚК осы контурдағы магнит ағынының өзгеру жылдамдығына шамасы жағынан тең, таңбасы жағынан қарама-қарсы болады:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (3.16)$$

Индукциясы B магнит өрісінде ауданы S рама ω бұрыштық жылдамдықпен айналғанда пайда болатын индукцияның ЭҚК-і

$$\mathcal{E}_i = BS\omega \sin \omega t . \quad (3.17)$$

Индукциясы B магнит өрісінде N орамнан тұратын, ауданы S рама ω бұрыштық жылдамдықпен айналғанда пайда болатын индукцияның ЭҚК-і

$$\mathcal{E}_i = NBS\omega \sin \omega t .$$

12. Магнит өрісінде v жылдамдықпен қозғалатын өткізгіштің ұштарындағы потенциалдар айырымы:

$$\Delta\varphi = Blv \sin \alpha \quad (3.18)$$

мұндағы l – өткізгіштің ұзындығы; α – $\vec{v}$ және $\vec{B}$ векторлары арасындағы бұрыш.

13. Тұйық контурды қиып өтетін магнит ағынының уақыт бойынша өзгерісі барысында контурмен ағып өтетін заряд шамасы:

$$\Delta q = \frac{|\Delta\Phi|}{R} . \quad (3.19)$$

мұндағы R – контур кедергісі.

14. Индуктивтілігі L контурда I ток туғызған магнит ағыны:

$$\Phi_B = LI . \quad (3.20)$$

15. Өздік индукцияның электр қозғаушы күші (ЭҚК):

$$\mathcal{E}_{si} = -L \frac{dI}{dt} . \quad (3.21)$$

мұндағы L – контурдың индуктивтігі.

16. Соленоидтың (тороидтың) индуктивтілігі

$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2 S}{l} = \mu_0 \mu n^2 V , \quad (3.22)$$

мұндағы N – соленоидтың орамдар саны, l , S , V соленоидтың ұзындығы, көлденең қимасының ауданы, көлемі, n – бірлік ұзындықтағы орамдар саны.

17. Тұйықталу экстра тогы:

$$I = I_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right); \quad (3.23)$$

Ажырату экстра тогы

$$I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t}. \quad (3.24)$$

мұндағы $I_0 = \mathcal{E}/R$ – токтың максимал мәні; t – тізбекті тұйықтап/ажыратқаннан кейінгі уақыт.

18. Тұйық контур бойымен ағып жатқан I ток туғызған магнит өрісінің энергиясы:

$$W = \frac{LI^2}{2} \quad (3.25)$$

Ұзын соленоидтың біртекті магнит өрісінің энергиясының көлемдік тығыздығы:

$$w = \frac{B^2}{2\mu_0\mu} = \frac{\mu_0\mu H^2}{2} = \frac{BH}{2}. \quad (3.26)$$

19. Магнит өрісінде тогы бар өткізгіш орын ауыстырғанда жасалған элементар жұмыс

$$dA = I d\Phi, \quad (3.27)$$

мұндағы $d\Phi$ – қозғалыстағы өткізгішті қиып өтетін магнит ағыны.

Магнит өрісінде тұйық контур орын ауыстырған кезде жасалатын жұмыс:

$$A = I\Delta\Phi,$$

мұндағы $\Delta\Phi$ – контурмен байланысқан магнит ағынының өзгерісі

3.2 Есептерді шығару мысалдары

3.1 есеп. Екі шексіз түзу тоғы бар өткізгіштер 0,7 м арақашықтықта орналасқан (3.5-сурет). Өткізгіштердегі токтардың шамалары 10 А және 4 А. Өткізгіштер арқылы өтетін түзудің бойындағы қандай нүктеде осы өткізгіштердің магнит индукциясы нөлге тең? Өткізгіштер ауада орналасқан.

Берілгені:	Шешуі. Есептің шарты бойынша М
$I_2 = 3 \text{ А}$	нүктесіндегі қорытқы магнит өрісінің
$I_1 = 9 \text{ А}$	индукциясы нөлге тең. Бұл жағдай I_2 ток
$R = 0,5 \text{ м}$	туғызған магнит өрісінің индукциясы, I_1 ток
$\mu = 1$	туғызған магнит өрісінің индукциясына модулі
	бойынша тең, бағыты бойынша қарама-қарсы
	болған кезде ғана мүмкін болады:
	$\vec{B}_1 = -\vec{B}_2, \quad B_1 = B_2.$
$x - ?$	

$\vec{B}_1$ және $\vec{B}_2$ векторларының бағытын оң қол ережесімен анықтаймыз.

Био-Савар-Лаплас заңы бойынша шексіз ұзын, түзу өткізгіштердің магнит өрісінің индукциясы:

$$B_1 = \frac{\mu\mu_0 2I_1}{4\pi x},$$

$$B_2 = \frac{\mu\mu_0 2I_2}{4\pi (R-x)}.$$

Теңдеулерді шешеміз:

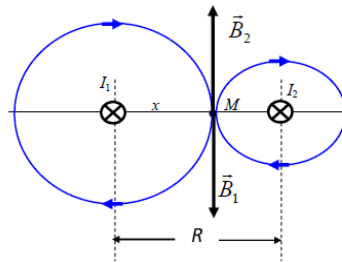
$$\frac{\mu\mu_0 2I_1}{4\pi x} = \frac{\mu\mu_0 2I_2}{4\pi (R-x)}.$$

$$\frac{x}{I_1} = \frac{R-x}{I_2}, \quad I_2 x = I_1 R - I_1 x,$$

$$x = \frac{I_1 R}{I_1 + I_2}. \quad x = \frac{9 \cdot 0,5}{9 + 3} = 0,375 \text{ м}$$

Өлшем бірлігін тексереміз: $[x] = \frac{\text{А} \cdot \text{м}}{\text{А}} = \text{м}.$

Жауабы: I_1 токтан 0,375 м арақашықтықта



3.5-сурет.

3.2 есеп. Шексіз ұзын, түзу екі параллель D және C өткізгіштері бойымен бірдей бағытта $I = 50$ А ток жүреді, өткізгіштер бір-бірінен $d = 12$ см арақашықтықта орналасқан (3.6-сурет). Бірінші өткізгіштен $r_1 = 7$ см, екінші өткізгіштен $r_2 = 15$ см арақашықтықта орналасқан А нүктесіндегі осы өткізгіштер туғызған магнит өрісінің B индукциясын анықтаңыз.

Берілгені:

$$r_2 = 15 \text{ см} = 15 \times 10^{-2} \text{ м}$$

$$r_1 = 7 \text{ см} = 7 \times 10^{-2} \text{ м}$$

$$d = 12 \text{ см} = 12 \times 10^{-2} \text{ м}$$

$$I_1 = I_2 = I = 50 \text{ А}$$

Табу керек $B - ?$

Шешуі. А нүктесіндегі B магнит индукциясын магнит өрістері үшін суперпозиция принципін қолданып анықтаймыз. Ол үшін әр өткізгіш туғызған магнит өрістерінің $\vec{B}_1$ және $\vec{B}_2$ индукцияларының бағытын анықтап, оларды геометриялық қосамыз:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$

$\vec{B}_1$ және $\vec{B}_2$ векторларының бағытын оң қол ережесі бойынша анықтаймыз.

B_1 және B_2 магнит индукцияларының шамасын шексіз түзу тогы бар өткізгішке арналған Био-Савар-Лаплас заңын қолданып, табамыз:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1};$$

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2}.$$

Егер есептің шартында орта көрсетілмеген болса, өткізгіш вакуумде орналасқан деп қарастырамыз, $\mu = 1$.

B магнит индукциясының абсолют мәнін косинустар теоремасын қолданып анықтаймыз:

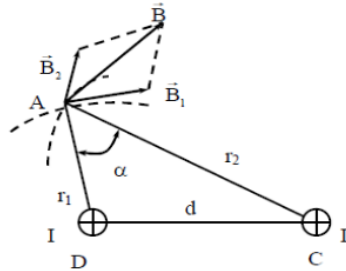
$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 - 2B_1B_2 \cos \alpha}$$

мұндағы α - $\vec{B}_1$ және $\vec{B}_2$ векторлары арасындағы бұрыш.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} - \frac{2}{r_1 r_2} \cos \alpha}.$$

$\cos \alpha$ -ны табу үшін ΔDAC үшбұрышы үшін тағы да косинустар теоремасын қолданамыз.

Үшбұрыштарды салыстырып, $\alpha = \angle DAC$ екенін анықтаймыз.



3.6-сурет.

$$d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1 r_2}, \quad \cos \alpha = \frac{7^2 + 15^2 - 12^2}{2 \cdot 7 \cdot 15} = \frac{13}{21}.$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} - \frac{2}{r_1 r_2} \cos \alpha}.$$

Сандық мәндерін қойып, есептейміз:

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 50}{2\pi} \sqrt{\frac{10^4}{49} + \frac{10^4}{225} - \frac{2 \cdot 10^4}{7 \cdot 15} \cdot \frac{13}{21}} = 0.114 \cdot 10^{-3} \text{Тл} = 114 \text{мкТл}.$$

Өлшем бірлікті тексерейік: $[B] = \frac{\Gamma_H}{\text{м}} \cdot \frac{\text{А}}{\text{м}} = \text{Тл}$

Бұл жерде магнит ағыны үшін $\Phi = BS = LI$ үшін формуланы қолдандық, осыдан

$$L = \frac{BS}{I}, \quad \Gamma_H = \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}^2}{\text{А}}. \quad \text{Жауабы: } B = 114 \text{ мкТл}$$

3.3 есеп. Оң зарядталған бөлшек $U = 104 \text{ В}$ потенциалдар айырымынан өтіп, бір-біріне перпендикуляр кернеулігі $E = 10 \text{ кВ/м}$ электр және индукциясы $B = 0,1 \text{ Тл}$ магнит өрістеріне ұшып кіреді (3.7-сурет). Егер бөлшек екі өріске де перпендикуляр қозғала отырып, түзу сызықты траекториясынан ауытқымаса, бөлшектің зарядының оның массасына қатынасы қандай болады? Бөлшектің қозғалысы кезінде ауырлық күшінің әсері ескерілмейді.

Берілгені:
 $U = 104 \text{ В};$
 $E = 10^4 \text{ В/м}$
 $B = 0,1 \text{ Тл}$
 $\vec{E} \perp \vec{B} \perp \vec{v}$

$\frac{q}{m} - ?$

Шешуі. Бөлшектің зарядының оның массасына қатынасы бөлшектің *меншікті заряды* деп аталады.

U үдеткіш потенциалдар айырымынан өткен бөлшек кинетикалық энергияға ие болады:

$$W_k = \frac{mv^2}{2},$$

бұл энергия электр өрісі күштерінің жұмысына тең:

$$qU = \frac{mv^2}{2}.$$

Онда бөлшектің меншікті заряды:

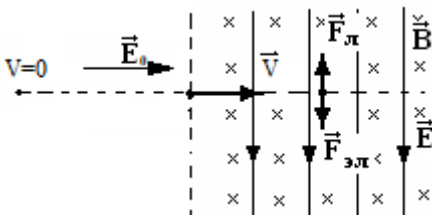
$$\frac{q}{m} = \frac{v^2}{2U}.$$

Бөлшек бір-біріне перпендикуляр электр және магнит өрістеріне ұшып кіргенін ескеріп, бөлшектің жылдамдығын анықтайық. Бөлшекке екі күш әсер етеді:

1) Лоренц күші:

$$\vec{F}_L = q[\vec{v}\vec{B}], F_L = qvB \cdot \sin \alpha.$$

Лоренц күшінің бағытын «сол қол ережесі» бойынша анықтаймыз.



3.7-сурет.

3.7-суретте Лоренц күшінің бағыты көрсетілген, ол сурет жазықтығында жоғары бағытталған ($\sin \alpha = 1$).

2) Бөлшекке электр өрісі тарапынан әсер ететін күш:

$$\vec{F}_{эл} = q\vec{E}.$$

Бұл күш электр өрісінің кернеулік векторының бағытымен бағыттас (бөлшектің заряды оң болғандықтан). Сурет жазықтығында бұл күш төмен бағытталған.

Бөлшек бір-біріне перпендикуляр өрістерде тұзусызықты, бірқалыпты қозғалады, егер бөлшекке әсер етуші күштердің векторлық қосындысы нөлге тең болса:

$$\vec{F}_L + \vec{F}_{эл} = 0 ,$$

яғни $\vec{F}_L$ және $\vec{F}_{эл}$ күштері шамасы бойынша тең, бағыттары бойынша қарама-қарсы болуы керек: $F_L - F_{эл} = 0$; $F_L = F_{эл}$; $qE = qvB$. Осыдан

$$v = \frac{E}{B}$$

Бөлшектің жылдамдығы үшін өрнекті жоғарыда алынған бөлшектің меншікті зарядының өрнегіне қоямыз:

$$\frac{q}{m} = \frac{v^2}{2U} = \frac{E^2}{2UB^2} .$$

Бөлшектің меншікті зарядын есептейміз:

$$\frac{q}{m} = \frac{E^2}{2UB^2} = \frac{10^8}{2 \cdot 104 \cdot 0,1^2} = 4,8 \cdot 10^7 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

Өлшем бірлікті тексерейік:

$$\left[\frac{q}{m} \right] = \frac{[v]^2}{[U]} = \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{В}} = \frac{\text{м}^2 \cdot \text{Кл}}{\text{с}^2 \cdot \text{Дж}} = \frac{\text{м}^2 \cdot \text{Кл}}{\text{с}^2 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}} = \frac{\text{м}^2 \cdot \text{Кл} \cdot \text{с}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Кл}}{\text{кг}} .$$

$\text{В} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} , \text{Дж} = \text{Н} \cdot \text{м}, \text{Н} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$ екенін ескереміз.

$$\text{Жауабы: } \frac{q}{m} = 4,8 \cdot 10^7 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

3.4 есеп. Индукциясы $B=2,0$ Тл біртекті магнит өрісінде протон қозғалады. Оның қозғалыс траекториясы спираль түрінде болады, спираль радиусы $R = 1,0$ мм және спираль қадамы $h = 6,0$ мм (3.8-сурет). Протонның W_k кинетикалық энергиясын есептеңіздер.

Берілгені:

$$B = 2,0 \text{ Тл}$$

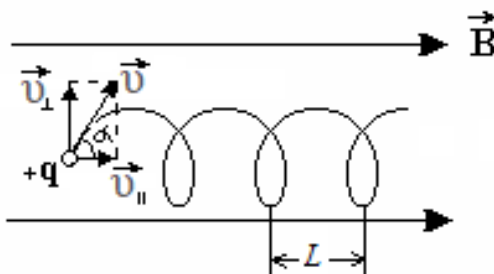
$$R = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$h = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Табу керек W_k -?



3.8-сурет.

Шешуі. Заряд магнит өрісінің күш сызықтарына α бұрышпен ұшып кіреді.

$\vec{v}$ жылдамдық векторын екі құраушыға жіктейміз: $\vec{v}_\perp$ және $\vec{v}_\parallel$

Жылдамдықтың $\vec{v}_\parallel$ құраушысының бағыты магнит өрісінің күш сызықтарының бағытымен бағыттас болады, ал жылдамдықтың $\vec{v}_\perp$ құраушысының бағыты магнит өрісінің күш сызықтарына перпендикуляр болады.

Жылдамдықтың $\vec{v}_\parallel$ құраушысының бағыты да, модулі де Лоренц күшінің әсерінен өзгермейді. Жылдамдықтың $\vec{v}_\perp$ құраушысының бағыты Лоренц күшінің әсерінен үздіксіз өзгеріп отырады, модулі тұрақты болады.

Протон екі тәуелсіз қозғалысқа қатысады: 1) магнит өрісінің күш сызықтарына параллель $\vec{v}_\parallel$ жылдамдықпен түзу сызықты және бірқалыпты; 2) Модулі бойынша тұрақты $\vec{v}_\perp$ жылдамдықпен шеңбер бойымен. Қорытқы қозғалыс траекториясы спираль болады.

Қозғалыстағы бөлшектің кинетикалық энергиясын келесі түрде жазамыз:

$$W_k = \frac{mv^2}{2}, \quad v^2 = v_{\parallel}^2 + v_{\perp}^2$$

$\vec{v}_{\perp}$ және $\vec{v}_{\parallel}$ есептеу үшін спиральдың R радиусын, L қадамын және бөлшектің магнит өрісіндегі айналу периодын анықтайтын формулаларды қолданамыз:

$$T = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{2\pi m}{qB}; \quad R = \frac{mv_{\perp}}{qB} = \frac{mv \sin \alpha}{qB}; \quad L = v_{\parallel} T = v \cos \alpha \cdot \frac{2\pi m}{qB}.$$

Математикалық түрлендірулерден кейін $\vec{v}_{\perp}$ және $\vec{v}_{\parallel}$ жылдамдықтарды анықтайтын өрнектерді аламыз:

$$v_{\parallel} = \frac{L}{T} = \frac{qBL}{2\pi m}; \quad v_{\perp} = \frac{qBR}{m}.$$

Осы жылдамдықтарды протонның кинетикалық энергиясын анықтайтын өрнекке қоямыз:

$$W_k = \frac{m(v_{\parallel}^2 + v_{\perp}^2)}{2} = \frac{q^2 B^2}{2m} \left(R^2 + \frac{L^2}{4\pi^2} \right).$$

Протонның кинетикалық энергиясының сандық мәнін есептейміз:

$$W_k = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2)^2}{2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}} \left(1 \cdot 10^{-6} + \frac{36 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 3,14^2} \right) = 5,9 \cdot 10^{-17} \text{ Дж}.$$

Өлшем бірлікті тексерейік:

$$\begin{aligned} [W_k] &= \frac{[q]^2 [B]^2}{[m]} \left([R]^2 + \frac{[L]^2}{4\pi^2} \right) = \frac{\text{Кл}^2 \cdot \text{Тл}^2}{\text{кг}} \cdot \text{м}^2 \\ &= \frac{\text{А}^2 \cdot \text{с}^2 \cdot \frac{\text{Н}^2}{\text{А}^2 \cdot \text{м}^2}}{\text{кг}} \cdot \text{м}^2 = \text{Дж}. \end{aligned}$$

$$T_{\text{л}} = \text{Н}/(\text{А} \cdot \text{м}), \quad \text{Кл} = \text{А} \cdot \text{с}.$$

$$\text{Жауабы: } W_k = 5,9 \cdot 10^{-17} \text{ Дж}$$

3.5 есеп. Индукциясы $B = 0,2$ Тл біртекті магнит өрісінде радиусы $R = 3,0$ см дөңгелек контур бойымен $I = 1,0$ А ток ағады. $\vec{B}$ магнит индукция векторы мен тогы бар контурдың $\vec{p}_m$ магниттік моменті арасындағы бұрыш $\alpha_1 = 60^\circ$.

Контурдың диаметрі сәйкес келетін ось бойымен контурды $\alpha_2 = 90^\circ$ -қа бұру үшін сыртқы күштер қандай A' жұмыс жасау керек (3.9-сурет)?

Берілгені:
 $R = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м};$
 $I = 1,0 \text{ А};$
 $B = 0,2 \text{ Тл};$
 $\alpha_1 = 60^\circ;$
 $\alpha_2 = 90^\circ$

$A' - ?$

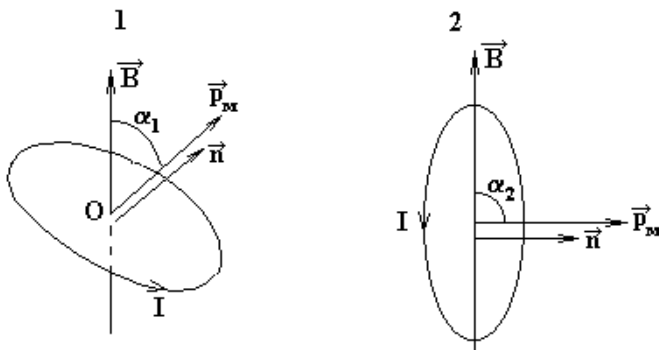
Шешуі. Тоғы бар контурдың магнит өрісінде орын ауыстыруы кезіндегі магнит өрісі күштерінің жұмысы

$$A' = I(\Phi_2 - \Phi_1),$$

мұндағы Φ_1 және Φ_2 – контур жазықтығын бастапқы және соңғы жағдайларда қиып өтетін магнит ағындары.

Біртекті өрістің магнит ағынын келесі түрде анықтаймыз:

$$\Phi = BS \cos \alpha.$$



3.9-сурет.

Осыдан шығатыны:

$$\Phi_1 = BS \cos 60^\circ = \frac{1}{2} B \pi R^2,$$

$$\Phi_2 = BS \cos 90^\circ = 0,$$

$$A = I(\Phi_2 - \Phi_1) = -\frac{\pi}{2} I B R^2.$$

Магнит өрісі күштерінің A жұмысы сыртқы күштердің A' жұмысымен келесі түрде байланысқан:

$$A' = -A = \frac{\pi}{2} I B R^2.$$

$$A' = \frac{3,14}{2} \cdot 1 \cdot 0,2 \cdot (3 \cdot 10^{-2})^2 = 28,26 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}.$$

Өлшем бірлік, көрініп тұрғандай, түсінікті.

$$\text{Жауабы: } A' = 28,26 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$$

3.6 есеп. Индукциясы 0,3 Тл магнит өрісінде қабырғалары $a = 10$ см квадрат контур орналасқан, контур бойымен $I = 3$ А ток жүреді. Контур жазықтығы магнит индукциясы сызықтарының бағытымен $\alpha = 30^\circ$ бұрыш жасайды. Егер контурдағы ток күшін өзгертпей контурдың пішінін квадраттан шеңберге өзгертетін болса, Ампер күшінің жасайтын жұмысы неге тең?

Берілгені:

$$a = 0,1 \text{ м}$$

$$I = 3,0 \text{ А}$$

$$B = 0,3 \text{ Тл}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

Табу керек

$A - ?$

Шешуі. Магнит өрісінің күштерінің жұмысы:

$$A_{1 \rightarrow 2} = I(\Phi_2 - \Phi_1),$$

мұндағы Φ_1 және Φ_2 – квадрат пен шеңбер жазықтықтарын қиып өтетін магнит ағындары.

Біртекті магнит өрісі үшін магнит ағының келесі формуламен анықтаймыз:

$$\Phi = BS \cos(90^\circ - \alpha) = BS \sin \alpha.$$

Квадрат ауданы: $S_1 = a^2$, шеңбер ауданы: $S_2 = \pi R^2$.

Екі фигураның да периметрі бірдей екенін ескеріп, шеңбер радиусын табамыз:

$$4a = 2\pi R.$$

Осыдан

$$R = \frac{2a}{\pi}.$$

Ампер күшінің жұмысын анықтайтын болсақ:

$$A_{1 \rightarrow 2} = IB \sin \alpha (S_2 - S_1) = IB \sin \alpha \left(\frac{4a^2}{\pi} - a^2 \right) = IBa^2 \sin \alpha \left(\frac{4}{\pi} - 1 \right).$$

$$A_{1 \rightarrow 2} = 3 \cdot 0,3 \cdot 0,01 \cdot 0,5 \left(\frac{4}{3,14} - 1 \right) = 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$$

$$\text{Өлшем бірлікті тексерейік: } [A] = \text{А} \cdot \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \frac{\text{А} \cdot \text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{м}} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}.$$

Жауабы: $A = 1,23 \text{ мДж}$

3.7 есеп. Ұзындығы $l=5,0$ м, орам саны $N=1200$ соленоидтың ішінде радиусы $r = 3,0$ см, кедергісі $R = 30$ Ом өткізгіш сақина орналасқан (3.10-сурет). Сақина жазықтығы соленоид осімен $\beta = 30^\circ$ бұрыш жасайды. Егер соленоидтағы ток

$I_C = kt^2$ заңдылығымен өзгерсе, мұндағы $k = 1,5 \text{ А/с}^2$, төртінші секундтың соңында сақина бойымен қандай ток жүреді? Соленоидты шексіз ұзын деп санау керек.

Берілгені:

$$l = 5,0 \text{ м};$$

$$N = 1200$$

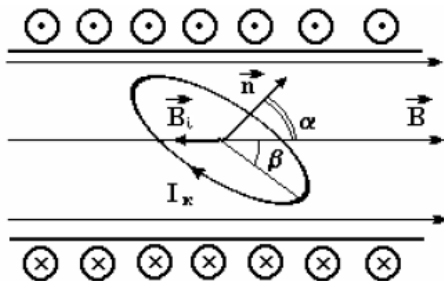
$$r = 3 \text{ см} = 0,03 \text{ м};$$

$$R = 30 \text{ Ом};$$

$$I_C = kt^2;$$

$$k = 1,5 \text{ А/с}^2$$

$$\beta = 30^\circ, \quad t = 4 \text{ с}.$$



3.10-сурет.

Табу керек I_i – ?

Шешуі. 3.10-суретте соленоидтың осі арқылы өтетін, соленоидтың көлденең қимасы келтірілген.

Соленоидтың магнит өрісі біртекті, өрістің күш сызықтары соленоид осіне параллель орналасқан және сурет жазықтығында солдан оңға қарай бағытталған. Орам шексіз ұзын соленоидтың ішінде орналасқан. Суреттегі α бұрышы – магнит индукциясы векторы мен орам жазықтығына түсірілген нормаль арасындағы бұрыш, β – магнит өрісінің күш сызықтары мен орам жазықтығы арасындағы бұрыш.

Соленоидтағы ток уақыт өтуіне байланысты уақыттың квадратына пропорционал заңдылықпен өзгереді, сондықтан, соленоид ішіндегі магнит өрісі де өзгереді. Электромагниттік индукция құбылысы үшін Фарадей заңы бойынша ЭҚК:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

Магнит ағының шамасы:

$$\Phi = BS \cos \alpha; \quad S = \pi r^2.$$

Соленоидтағы ток өзгерген кезде, сақинаны қиып өтетін магнит ағыны да өзгереді, яғни, сақинада индукцияның ЭҚК-і пайда болып, индукциялық ток жүреді:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_i &= -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(BS \cos \alpha)}{dt} = -S \cos \alpha \frac{dB}{dt} \\ &= -S \cos(90^\circ - \beta) \frac{dB}{dt}.\end{aligned}$$

Шексіз ұзын соленоидтың магнит өрісінің индукциясы:

$$B = \mu\mu_0 I_c n.$$

Мұндағы $n = \frac{N}{l}$ – соленоидтың бірлік ұзындығындағы орам саны.

Соленоидтағы ток уақыт бойынша $I_c = kt^2$ заңымен өзгередінін ескеріп, соленоидтың қалған параметрлері тұрақты болғандықтан, уақытқа тәуелсіз, келесі өрнекті аламыз:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_i &= -\pi r^2 \cos(90^\circ - \beta) \frac{d(\mu\mu_0 I_c n)}{dt} \\ &= -\mu\mu_0 \frac{N}{l} \pi r^2 \cos(90^\circ - \beta) \frac{dI_c}{dt} \cdot \\ \mathcal{E}_i &= -\mu\mu_0 \frac{N}{l} \pi r^2 \cos(90^\circ - \beta) \frac{d(kt^2)}{dt} \\ &= -\mu\mu_0 \frac{N}{l} \pi r^2 \cos(90^\circ - \beta) \cdot 2kt.\end{aligned}$$

Сақинада пайда болатын индукциялық ток күшін Ом заңынан анықтаймыз:

$$\begin{aligned}I_i &= \frac{\mathcal{E}_i}{R} = 2\mu\mu_0 \pi r^2 \frac{kN}{lR} t \cdot \cos(90^\circ - \beta) \\ I_i &= \frac{2 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 3,14 \cdot 0,03^2 \cdot 1,5 \cdot 1200 \cdot 4 \cdot \cos 60^\circ}{5 \cdot 30} \\ &= 0,3 \cdot 10^{-7} \text{ A} \\ [I] &= \frac{\Gamma_{\text{H}} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\text{м} \cdot \text{м} \cdot \text{Ом} \cdot \text{с}^2} = \text{А}; \quad \Gamma_{\text{H}} = \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}}\end{aligned}$$

Жауабы: 0,03 мкА

3.8 есеп. Қабырғалары $a = 3$ см және кедергісі $R = 7$ мОм квадрат өткізгіш рамка біртекті магнит өрісінде орналасқан ($B = 50$ мТл). Рамка жазықтығы магнит индукция сызықтарымен $\beta = 30^\circ$ бұрыш жасайды. Магнит өрісін алып тастаған кезде, рамка бойымен ағып өтетін зарядтың шамасын анықтау керек.

Берілгені:

$$a = 3 \text{ см} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$R = 7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

$$B = 5 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$$

$$\beta = 30^\circ$$

Шешуі. Магнит өрісін алып тастаған кезде магнит ағыны өзгереді. Осының нәтижесінде рамкада индукциялық ЭҚК пайда болады, оны электромагниттік индукцияның негізгі заңынан анықтаймыз:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Табу керек q – ?

Пайда болған индукциялық ЭҚК рамкада индукциялық токты туғызады, оның лездік мәнін толық тізбек үшін Ом заңын қолданып анықтауға болады:

$$\mathcal{E}_i = I_i R,$$

мұндағы R – рамка кедергісі. Онда

$$I_i R = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Индукциялық ток күші анықтамасы бойынша:

$$I_i = \frac{dq}{dt}.$$

Бұдан шығатыны:

$$\frac{dq}{dt} R = -\frac{d\Phi}{dt} \quad \text{немесе} \quad dq = -\frac{d\Phi}{R}$$

Соңғы өрнекті интегралдап, $\Phi_2 = 0$ екенін ескеріп, анықтаймыз:

$$q = \int_0^q dq = -\frac{1}{R} \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R} = \frac{\Phi_1}{R}$$

Φ_1 магнит ағынын табамыз. Магнит ағынының анықтамасы бойынша:

$$\Phi_1 = BS \cos \alpha .$$

Рамка ауданы:

$$S = a^2 .$$

α – магнит индукция сызықтары мен рамкаға түсірілген нормаль арасындағы бұрыш: $\alpha = 90^\circ - \beta$. Ең соңында шығатыны:

$$q = \frac{Ba^2 \cos(90 - \alpha)}{R} .$$

$$q = \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 9 \cdot 10^{-4} \cos(90 - 30)}{7 \cdot 10^{-3}} = 3,214 \cdot 10^{-3} \text{ Кл} .$$

Өлшем бірлік тексерейік:

$$[q] = \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}^2}{\text{Ом}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{м} \cdot \text{Ом}} = \frac{\text{Дж}}{\text{В}} = \text{Кл} .$$

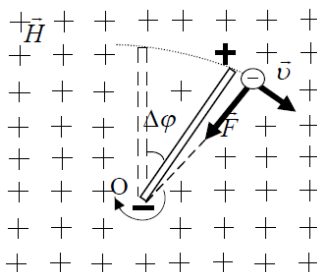
Жауабы: 3,214 мКл

3.9 есеп. Индукциясы $B = 10$ Тл магнит өрісінде ұзындығы $l = 0,3$ м стержень $\omega = 50 \text{ с}^{-1}$ тұрақты бұрыштық жылдамдықпен айналады (3.11-сурет). Егер айналу осі стерженьнің ұшы арқылы өтсе және магнит өрісінің күш сызықтарына параллель болса, стерженьде пайда болатын индукцияның ЭҚК-ін анықтаңыздар.

Берілгені: $l = 0,3 \text{ м};$ $B = 10 \text{ Тл}$ $\omega = 50 \text{ с}^{-1}$	Шешуі. Магнит өрісінде қозғалған өткізгіштегі зарядтарға Лоренц күші әсер етеді, күш әсерінен стерженьнің ішінде бөгде күштер пайда болып, стержень ұштарында потенциалдар айырымын туғызады. Егер стержень біртекті магнит өрісінде ω тұрақты бұрыштық жылдамдықпен айналса, онда Лоренц күшінің әсерінен электрондар стержень бойымен, оның бір ұшына ығыса бастайды. Өріс бағыты мен айналу бағыты суретте көрсетілгендей болғанда, F_L күші айналу осіне қарай бағытталғандықтан, электрондар осы бағытта ығысады.
Табу керек $\mathcal{E}_i - ?$	

Өткізгіш ішінде пайда болған электр өрісі электрлік тебілу күші Лоренц күшін теңгеретін шамаға жеткенше электрондардың қозғалысы жалғасады.

Электрондардың орын ауыстыруы нәтижесінде стерженьнің бір ұшында олардың саны артық болып, екінші ұшында электрондардың жетіспеушілігі орын алады да, стерженьнің ұштарында тұрақты потенциалдар айырымы пайда болады.



3.11-сурет. Стерженьнің магнит өрісінде айналуы

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

мұндағы $\Delta\Phi$ – Δt уақытта стерженьді қиып өтетін магнит ағынының шамасы.

Стержень магнит өрісінің күш сызықтарына перпендикуляр айналған кезде

$$\Delta\Phi = B\Delta S \cos \alpha = B\Delta S$$

мұндағы ΔS – стержень сызатын сектордың ауданы.

Δt уақытта стержень $\Delta\phi$ бұрышқа бұрылады, сектордың ауданы келесі түрде жазылады:

$$\Delta S = \frac{\Delta\phi l^2}{2} = \frac{\omega l^2 \Delta t}{2}.$$

Осыны ескеріп, магнит ағынының өзгерісін анықтаймыз:

$$\Delta\Phi = \frac{B\omega l^2 \Delta t}{2}.$$

Фарадей заңына қойып, келесі өрнекті аламыз:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{B\omega l^2}{2}.$$

$$\mathcal{E}_i = -\frac{10 \cdot 0,3^2 \cdot 50}{2} = 2250 \text{ В.}$$

$$\text{Өлшем бірлікті тексерейік: } [\mathcal{E}_i] = \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}^2}{\text{с}} = \frac{\text{Вб}}{\text{с}} = \text{В}$$

$$\text{Жауабы: } \mathcal{E}_i = 2250 \text{ В}$$

3.10 есеп. Ұзындығы 50 см цилиндрлік ағаш қарқасқа мыс сым оралған, мыс сымның массасы 40 г, ал кедергісі 25 Ом. Орамның ұзындығын оның диаметрінен әлдеқайда үлкен деп алып, катушканың индуктивтілігін анықтаңыздар.

Берілгені:
 $l_k = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$
 $R = 25 \text{ Ом}$
 $m = 40 \text{ г} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$
 $\rho = 8900 \text{ кг/м}^3$
 $\rho_{\text{эл}} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Шешуі. Катушканың ұзындығы мен көлденең қимасының ауданын – l_k , S_k деп, ал катушкаға оралған өткізгіш сымның ұзындығы мен көлденең қимасының ауданын – l_o , S_o деп белгілейік.

Онда катушканың индуктивтілігі:

$$L = \mu_0 \cdot n^2 \cdot l_k \cdot S_k.$$

n – катушканың бірлік ұзындығындағы орам саны.

$$n = \frac{N}{l_k}, \quad S_k = \frac{\pi d_k^2}{4}.$$

Табу керек L – ?

мұндағы N – жалпы орам саны, d_k – катушка диаметрі.

Барлық формулаларды біріктіріп, келесі өрнекті аламыз:

$$L = \mu_0 \cdot \frac{N^2}{l_k} \cdot \frac{\pi d_k^2}{4}.$$

Бұл формуладағы N , d_k белгісіз шамалар. Осы шамаларды анықтайық.

Белгілі шамалар үшін теңдеулер жүйесін құрамыз:

$$\begin{cases} m = \rho \cdot l_o \cdot S_o. \\ R = \rho_{\text{эл}} \frac{l_o}{S_o}. \end{cases}$$

Мұндағы m , R – өткізгіш сымның массасы мен кедергісі; ρ , $\rho_{эл}$ – өткізгіш материалының (мыс) тығыздығы мен меншікті кедергісі.

Теңдеулер жүйесін шешіп, өткізгіштің ұзындығын табамыз:

$$l_{\theta} = \sqrt{\frac{Rm}{\rho_{эл}\rho}}.$$

Өткізгіш ұзындығын бір орамның ұзындығы мен орам саны арқылы өрнектейміз:

$$l_{\theta} = \pi d_k \cdot N.$$

Соңғы екі теңдеуді теңестіріп, $N \cdot d_k$ көбейтіндісін анықтаймыз:

$$d_k \cdot N = \frac{l_{\theta}}{\pi} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{Rm}{\rho_{эл}\rho}}.$$

Осы көбейтіндіні индуктивтіліктің өрнегіне қойып, төмендегі өрнекті аламыз:

$$L = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Rm}{l_k \rho_{эл}\rho}.$$

$$L = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{4\pi} \cdot \frac{25 \cdot 4 \cdot 10^{-2}}{0,5 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 8900} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Өлшем бірлікті тексерейік:

$$[L] = \frac{[\mu_0]}{4\pi} \cdot \frac{[R][m]}{[l_k][\rho_{эл}][\rho]} = \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \cdot \frac{\text{Ом} \cdot \text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{м} \cdot \text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{кг}} = \text{Гн}.$$

Жауабы: $L = 1,3 \text{ мкГн}$

3.11 есеп. Диаметрі $d_k = 3 \text{ см}$ магнитті емес цилиндр каркасқа бір-біріне тығыз оралған диаметрі $d_0 = 0,15 \text{ мм}$ мыс өткізгіш орамдары бір қабат оралған. Орамдар бойымен $I_0 = 3 \text{ А}$ ток жүреді. Орамдардың ұштары қысқаша тұйықталған кезден

бастап $t = 100$ мкс уақыт ішінде орамдар бойымен ағып өтетін зарядтың шамасын анықтаңыздар.

Берілгені:

$$d_o = 0,15 \text{ мм} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$d_k = 3 \text{ см} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$I_o = 3 \text{ А}$$

$$t = 100 \text{ мкс} = 10^{-4} \text{ с}$$

$$\rho_{эл} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Шешуі. Орамдардың ұштарын қысқаша тұйықтаған кезде ондағы ток күші

$$I = I_o \cdot e^{-\frac{R}{L}t}.$$

заңдылығы бойынша өзгереді.

Орамдағы токты өзгерткен кезде, осы ток туғызған магнит ағыны да өзгереді де, орамда өздік индукцияның ЭҚК-і пайда болады:

$$\mathcal{E}_{si} = -\frac{d\Psi}{dt}.$$

Табу керек q – ?

мұндағы N – жалпы орам саны, d_k – катушка диаметрі.

Өздік индукцияның ток күші Ом заңы бойынша өзгереді:

$$I_{si} = \frac{\mathcal{E}_{si}}{R} = -\frac{1}{R} \frac{d\Psi}{dt}.$$

Ток күші анықтама бойынша:

$$I_{si} = \frac{dq}{dt}.$$

Соңғы екі теңдікті теңестіріп, индукциялық ток тасымалдаған зарядтың шамасын табамыз:

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{1}{R} \frac{d\Psi}{dt} \quad \text{или} \quad dq = -\frac{1}{R} d\Psi$$

$$q = \int_0^t dq = -\frac{1}{R} \int_0^t d\Psi = -\frac{1}{R} (\Psi_2 - \Psi_1).$$

мұндағы Ψ_1, Ψ_2 – бастапқы және соңғы уақыт мезетіндегі толық магнит ағыны

$$\Psi_1 = LI \quad ; \quad \Psi_1 = LI_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}t} .$$

$$q = \frac{L}{R} \cdot I_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right) .$$

L/R қатынасын анықтайық. Катушканың ұзындығы мен көлденең қимасының ауданын – l_k, S_k деп, ал катушкаға оралған өткізгіш сымның ұзындығы мен көлденең қимасының ауданын – l_θ, S_θ деп белгілейік.

Онда катушканың индуктивтілігі:

$$L = \mu_0 \cdot n^2 \cdot l_k \cdot S_k .$$

мұндағы n – бірлік уақыттағы катушкадағы орам саны.

Орамдар бір-біріне тығыз оралғандықтан, n – ді өткізгіштің диаметрі арқылы анықтауға болады.

$$n = \frac{N}{l_k} = \frac{N}{d_{\text{пп}} N} = \frac{1}{d_{\text{пп}}} .$$

l катушканың ұзындығын өткізгіштің диаметрі мен орам саны арқылы анықтаймыз;

$$l_k = N d_\theta .$$

Онда

$$L = \mu_0 \cdot \frac{1}{d_\theta^2} N \cdot d_\theta \cdot \frac{\pi d_k^2}{4} = \frac{\mu_0 \pi N d_k^2}{4 d_\theta} .$$

Орамның кедергісі:

$$R = \rho_{\text{эл}} \frac{l_\theta}{S_\theta} .$$

Өткізгіштің ұзындығын бір орамның ұзындығы мен орам саны арқылы анықтаймыз:

$$l_\theta = \pi d_k \cdot N .$$

$$S_\theta = \frac{\pi d_\theta^2}{4} .$$

Онда

$$R = \rho_{\text{эл}} \frac{4\pi \cdot d_k \cdot N}{\pi d_{\theta}^2} = \rho_{\text{эл}} \frac{4d_k N}{d_{\theta}^2}.$$

Нәтижесінде келесі теңдеулер жүйесін аламыз:

$$\begin{cases} R = \rho_{\text{эл}} \frac{4d_k N}{d_{\theta}^2} \\ L = \frac{\mu_0 \pi N d_k^2}{4 d_{\theta}} \end{cases}.$$

Екі теңдеуді бір-біріне бөліп, келесі қатынасты аламыз:

$$\frac{L}{R} = \frac{\mu_0 \pi}{16} \cdot \frac{d_k d_{\theta}}{\rho_{\text{эл}}}; \quad \frac{R}{L} = \frac{16}{\mu_0 \pi} \cdot \frac{\rho_{\text{эл}}}{d_k d_{\theta}}.$$

Осы қатынасты зарядтың өрнегіне қоямыз:

$$\begin{aligned} q &= \frac{4\pi^2 \cdot 10^{-7}}{16} \cdot \frac{d_k d_{\text{пр}}}{\rho_{\text{эл}}} \cdot I_0 \left(1 - e^{-\frac{16}{\mu_0 \pi} \cdot \frac{\rho_{\text{эл}}}{d_k d_{\text{пр}}} t} \right) = \\ q &= \frac{4\pi^2 \cdot 10^{-7}}{16} \cdot \frac{3 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}}{1,7 \cdot 10^{-8}} \cdot 3 \cdot \left(1 - e^{-\frac{16}{\mu_0 \pi} \cdot \frac{\rho_{\text{эл}}}{d_k d_{\text{пр}}} t} \right) = \\ &= 19,57 \cdot 10^{-5} (1 - e^{-1,53}) \approx 1,53 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}. \\ [q] &= \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \cdot \frac{\text{м} \cdot \text{м}}{\text{Ом} \cdot \text{м}} \cdot \text{А} = \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{Ом}} \cdot \text{А} = \frac{\text{Ом} \cdot \text{с}}{\text{Ом}} \cdot \text{А} = \text{Кл}. \end{aligned}$$

Жауабы: $q = 153 \text{ мкКл}$

3.12 есеп. Индуктивтілігі $L = 1,4 \text{ Гн}$ катушкadan және $R = 10 \text{ Ом}$ кедергіден тұратын тізбек бойымен $I_0 = 0,5 \text{ А}$ тұрақты ток ағады. Анықтаңыздар:

1) катушкада жиналған W_m магнит өрісінің энергиясын;
2) тізбекті ажыратқаннан кейін ток күші $n = 10$ есе азаятын t_1 уақытты; 3) t_1 уақытта тізбекте бөлінетін Q_1 жылу мөлшерін және ток нөлге дейін азайған кезде бөлінетін Q жылу мөлшерін анықтаңыздар.

Берілгені:

$$L = 1,4 \text{ Гн}$$

$$R = 25 \text{ Ом}$$

$$I_0 = 0,5 \text{ А}$$

$$n = I_0 / I = 10$$

Шешуі.

1. Катушкада жиналған W_M магнит өрісінің энергиясын келесі формуламен есептейміз:

$$W_M = \frac{LI^2}{2} = \frac{1,4 \cdot 0,5^2}{2} = 0,175 \text{ Дж}$$

2. Тізбекті ажыратқаннан кейін I ток күшінің t уақытқа тәуелділігін келесі формуламен анықтаймыз:

$$I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t};$$

Табу керек

$$W_M - ? \quad t_1 - ?$$

$$Q_1 - ? \quad Q - ?$$

Осыдан

$$\frac{I_0}{I} = e^{\frac{R}{L}t} \Rightarrow \ln \frac{I_0}{I} = \ln e^{\frac{R}{L}t} \Rightarrow \ln n = \frac{R}{L}t \Rightarrow$$

$$t = \frac{L \cdot \ln n}{R}.$$

$$t_1 = \frac{1,4 \cdot \ln 10}{25} = 0,105 \text{ с}.$$

$$[t] = \frac{[L] \cdot [\ln n]}{[R]} = \frac{\text{Гн} \cdot 1}{\text{Ом}} = \frac{\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}} \cdot 1}{\text{Ом}} = \text{с}.$$

3. Q_1 жылу мөлшерін анықтау үшін Джоуль-Ленц заңын қолданамыз. Тізбектегі I ток экспонента заңымен өзгертіндіктен, t_1 уақыт аралығында бөлінген жылу мөлшерін есептеу үшін интеграл алу қажет:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \int_0^{t_1} I^2 R dt = \int_0^{t_1} \left(I_0 e^{-\frac{R}{L}t} \right)^2 \cdot R dt = I_0^2 R \int_0^{t_1} e^{-\frac{2R}{L}t} dt = \\ &= I_0^2 R \frac{L}{2R} \int_0^{t_1} e^{-\frac{2R}{L}t} d\left(\frac{2R}{L}t\right) = -\frac{I_0^2 L}{2} \left(e^{-\frac{2R}{L}t_1} - 1 \right). \end{aligned}$$

$$Q_1 = \frac{0,5^2 \cdot 1,4}{2} \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot 25 \cdot 0,105}{1,4}} \right) = 0,175(1 - e^{-3,75}) \approx 0,171 \text{ Дж}.$$

Жауабы: $Q = 0,171 \text{ Дж}$

3.3 Өздігінен шығару үшін берілген есептер

1. Қабырғасы $a=10$ см квадрат рамка түрінде иілген өткізгіш бойымен $I=5$ А ток жүреді. Квадрат төбелерінен, оның қабырғасына тең, бірдей арақашықтықтағы нүктедегі магнит өрісінің индукциясын анықтаңыздар.

Жауабы: $B=1,33 \cdot 10^{-5}$ Тл

2. Ұзындығы $L=30$ см, диаметрі $D=20$ см катушка $N=100$ орамнан тұрады. Катушканың орамдарымен $I=5$ А ток жүреді. Катушка осінің бойында және оның ұшынан $a=10$ см арақашықтықтағы нүктелердегі магнит өрісінің индукциясын анықтаңыздар.

Жауабы: $B_1=1,26 \cdot 10^{-3}$ Тл, $B_2=2,06 \cdot 10^{-4}$ Тл

3. Жіңішке дөңгелек орамның радиусы $R=100$ мм және оның центріндегі магнит өрісінің индукциясы $B=6$ мкТл. Орамның магниттік моментін анықтаңыздар.

Жауабы: $p_m = \frac{2\pi R^3 B}{\mu_0} = 30 \text{ мА} \cdot \text{м}^2$

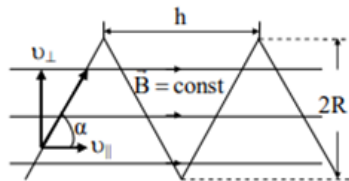
4. Радиусы $0,1$ м жіңішке, жартылай сақина түріндегі өткізгіш индукциясы $0,05$ Тл біртекті магнит өрісінде орналасқан. Өткізгіш бойымен 10 А ток жүреді. Егер жартылай сақинаның жазықтығы магнит индукциясы сызықтарына перпендикуляр болса, өткізгішке әсер ететін күшті анықтаңыздар.

Жауабы: $F = 0,1$ Н

5. Бойымен 10 А ток жүріп жатқан радиусы 20 см дөңгелек орамның осі бойында магниттік моменті $2 \text{ А} \cdot \text{м}^2$ тогы бар катушка орналасқан. Егер орамның центрінен катушкаға дейінгі арақашықтық 10 см болса, катушкаға әсер етуші күштің модулін анықтаңыздар.

Жауабы: $F = 0,54$ мН

6. Индукциясы 10^{-2} Тл магнит өрісінде протон радиусы 2 см, қадамы 5 см бұрандалы траектория бойымен қозғалады (сурет). Протонның жылдамдығының шамасын және оның индукция сызықтарына көлбеулік бұрышын анықтаңыздар.



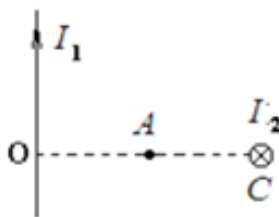
Жауабы: $v = 2,06 \cdot 10^4$ м/с,
 $\alpha = 68^\circ$

7. Түзу горизонталь өткізгіш бойымен 10 А ток жібереді. Өткізгіш астында 1,5 см арақашықтықта оған параллель 1,5 А тогы бар алюминий өткізгіші орналасқан. Алюминий өткізгіші бекітілмей ұсталынып тұруы үшін оның көлденең қимасының ауданы қандай болуы керек? Алюминийдің тығыздығы 2700 кг/м^3 . Жауабы: $7,55 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2$

8. Радиусы 20 см жіңішке өткізгіш сақина бойымен 100 А ток ағады. Сақина жазықтығына перпендикуляр индукциясы $2 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$ біртекті магнит өрісі беріледі. Сақинаны керетін F күшті анықтаңыздар. Жауабы: $F=0,4 \text{ Н}$

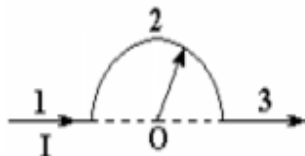
9. Генератор шиналары бір-бірінен 20 см арақашықтықта орналасқан, ұзындығы 2 м екі параллель мыс өткізгіштерден тұрады. Шиналар бойымен 10^4 А ток жүрген кезде, қысқаша тұйықталу жағдайында, шиналардың өзара тебілу күшін анықтаңыздар. Жауабы: 200 Н

10. Шексіз түзу екі өткізгіш бір-біріне перпендикуляр орналасқан (сурет). Өткізгіштер бойымен $I_1=4 \text{ А}$, $I_2=3 \text{ А}$ токтар жүреді. Өткізгіштердің арақашықтығы $OA=AC=r=10 \text{ см}$. Тогы бар өткізгіштердің A нүктесінде туғызған магнит өрісінің индукциясын анықтаңыздар.



Жауабы: $B=5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$

11. Радиусы $R=10 \text{ см}$ шексіз ұзын тогы бар өткізгіш бойымен $I=10 \text{ А}$ ток жүреді (сурет). О нүктесіндегі магнит өрісінің индукциясын анықтаңыздар.



Жауабы: $B=3,1 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$.

12. Бір-бірінен $d=10 \text{ см}$ арақашықтықта орналасқан, екі параллель шексіз ұзын түзу тогы бар өткізгіштер бойымен бір бағытта $I_1=I_2=I=100 \text{ А}$ ток ағады. Әр өткізгіштің $l=1 \text{ м}$ ұзындық бөлігіне әсер ететін F күшті анықтаңыздар.

Жауабы: $F=0,02 \text{ Н}$

13. Индукциясы $B=0,2$ Тл біртекті магнит өрісіне зарядталған бөлшек индукция сызықтарына перпендикуляр ұшып кіреді. Одан кейін магнит өрісіне параллель бағытта 5 мкс аралығында әсер ететін кернеулігі $E=0,5$ кВ/м электр өрісі беріледі. Электр өрісінің әсері тоқтағаннан кейін, зарядталған бөлшектің бұрандалы траекториясының қадамын анықтаңыздар.

Жауабы: $7,85$ см

14. $0,5$ кВ потенциалдар айырымымен үдетілген электрон түзу тогы бар өткізгіштен 1 см арақашықтықта оған параллель қозғалады. Егер өткізгіш бойымен 10 А ток жіберетін болса, электронға әсер ететін күшті анықтаңыздар.

Жауабы: $4,24 \cdot 10^{-16}$ Н

15. Кинетикалық энергиясы 1 МэВ электрон индукциясы 1 Тл біртекті магнит өрісіне индукция сызықтарына перпендикуляр ұшып кіреді. Протонның қозғалыс бағыты карама-қарсы бағытқа өзгеруі үшін өрістің минимал ұзақтығы қандай болуы қажет?

Жауабы: $14,5$ см

16. Радиусы 2 см дөңгелек контур кернеулігі 160 кА/м магнит өрісіне орналастырылған. Контур жазықтығы магнит өрісінің индукция сызықтарына перпендикуляр орналасқан. Контур бойымен 2 А ток ағады. Контурдың диаметрімен сәйкес келетін ось бойымен контурды 90° -қа бұру үшін қандай жұмыс жасалуы қажет?

Жауабы: $0,5$ мДж

17. Индукциясы $B=0,5$ Тл біртекті магнит өрісінде диаметрі $0,8$ мм алюминий өткізгіштен жасалған квадрат рамка бірқалыпты айналады. Квадрат қабырғалары 10 см. Айналу осі рамка диаметрімен сәйкес келеді және магнит индукция сызықтарына перпендикуляр. Рамка айнала бастағаннан кейін периодтың $\frac{1}{4}$ бөлігі өткеннен соң рамкадағы ток күшін анықтаңыздар.

Жауабы: $I=3$ А

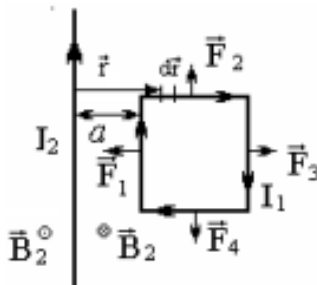
18. Диаметрі $d_k=5$ см магнитті емес цилиндр каркасқа бір-біріне тығыз оралған диаметрі $d_o=0,2$ мм мыс өткізгіш орамдары бір қабат оралған. Орамдар бойымен $I_o=5$ А ток жүреді. Орамдардың ұштары қысқаша тұйықталған кезден бастап $t=50$ мкс уақыт ішінде орамдар бойымен ағып өтетін зарядтың шамасын анықтаңыздар.

Жауабы: $q=2,1 \cdot 10^{-4}$ Кл

19. Ұзындығы 60 см цилиндрлік ағаш қарқасқа мыс сым оралған, мыс сымның массасы 50 г, ал кедергісі 30 Ом. Орамның ұзындығын оның диаметрінен әлдеқайда үлкен деп алып, катушканың индуктивтілігін анықтаңыздар.

Жауабы: $L=16,6$ мГн

20. Квадрат рамка ұзын түзу өткізгішпен бір жазықтықта орналасқан, квадраттың екі қабырғасы өткізгішке параллель болып келеді. Квадрат қабырғалары $a=2$ см. Рамка бойымен $I_1=2$ А ток жүреді, ал өткізгіш бойымен $I_2=10$ А ток жүреді. Егер квадраттың өткізгішке жақын қабырғасы өткізгіштен $l=2$ см арақашықтықта орналасқан болса, рамканың әр қабырғасына және рамкаға толығымен әсер ететін күштерді анықтаңыздар.

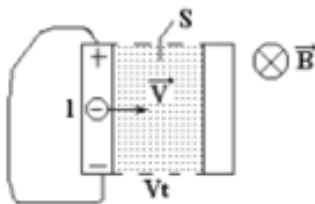


Жауабы: $F_1=4$ мкН, $F_2=F_4=2,8$ мкН, $F_3=2$ мкН, $F=2$ мкН

21. Индукциясы $B=0,4$ Тл біртекті магнит өрісінде өрістің индукция сызықтарына перпендикуляр жазықтықта ұзындығы $l=10$ см стержень айналады. Айналу осі стерженьнің ұштарының бірінен өтеді. $n=16$ с⁻¹ айналу жиілігінде стерженьнің ұштарында пайда болатын U потенциалдар айырымын анықтаңыздар.

Жауабы: $\phi_1 - \phi_2=0,2$ В

22. Индукциясы $B = 1,0$ Тл біртекті магнит өрісінде ұштары өрістің сыртында тұйықталған ұзындығы $l= 20$ см түзу өткізгіш орналасқан. Барлық тізбектің кедергісі $R=0,1$ Ом. Өткізгішті индукция сызықтарына перпендикуляр $v=2,5$ м/с жылдамдықпен қозғалысқа түсіру үшін, өткізгішке қандай F күшпен әсер ету қажет?

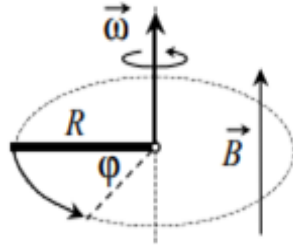


Жауабы: $F = 1$ Н

23. Ұзындығы $l = 40$ см, орам саны $N=800$ соленоид бойымен $I=2,5$ А ток жүреді. Соленоид өзекшесі ауданы $S = 6,0$ см² болатын магнитті емес материалдан жасалған. Егер $\Delta t=0,8$ мс уақыт аралығында соленоидтағы ток іс жүзінде нөлге дейін кемісе, соленоидта пайда болатын өздік индукцияның ЭҚК-нің орташа мәнін анықтаңыздар.

Жауабы: $\langle \varepsilon \rangle = 3,8$ В

24. Индукциясы $0,05$ Тл біртекті магнит өрісінде ұзындығы 1 м стержень 20 рад/с тұрақты бұрыштық жылдамдықпен айналады (сур). Стержень магнит өрісінің индукция сызықтарына перпендикуляр орналасқан. Айналу осі стерженьнің ұшы арқылы өтеді және магнит өрісінің индукция сызықтарына параллель. Стержень ұштарында пайда болған потенциалдар айырымын анықтаңыздар.



Жауабы: $0,5$ В

25. Диаметрі 8 см және кедергісі $0,01$ Ом өткізгіш орам индукциясы $0,04$ Тл біртекті магнит өрісінде орналасқан. Орам жазықтығы өрістің күш сызықтарымен 30° бұрыш жасайды. Егер магнит өрісін өшіретін болса, орам бойымен ағып өтетін зарядтың шамасы қандай болады? Орамның меншікті магнит ағыны ескерілмейді.

Жауабы: $q=10$ мКл

26. Индуктивтілігі $4 \cdot 10^{-3}$, кедергісі $0,5$ Ом катушка бойымен 1 А ток жүріп жатқан өткізгішке параллель жалғанған, өткізгіш кедергісі $2,5$ Ом. Тізбекті К кілтпен ажыратқан кезде тізбек бойымен ағып өтетін зарядтың шамасын анықтаңыздар.

Жауабы: $q=1,33$ мКл

27. Индуктивтілігі 1 мГн бір қабатты катушка алу үшін диаметрі 2 см картон цилиндрге диаметрі $0,4$ мм болатын өте жұқа қалыңдықта оқшауланған өткізгіштен қанша орам орау қажет? Орамдар бір-бірімен тығыз орналасқан.

Жауабы: $N=10^3$

28. $U = 600$ В потенциалдар айырымымен үдетілген протон индукциясы $B=0,3$ Тл біртекті магнит өрісіне ұшып кіріп, шеңбер бойымен қозғалады. Шеңбердің радиусын анықтаңыздар.

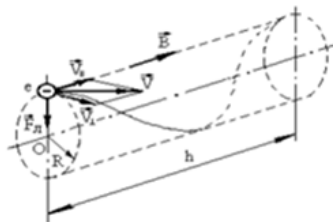
Жауабы: $R=11,8$ мм

29. Индукциясы $B = 0,2$ Тл магнит өрісіне электрон ұшып кіріп, радиусы $R=5$ см шеңбер бойымен қозғалады. Эквивалентті дөңгелек токтың p_m магниттік моментін анықтаңыздар.

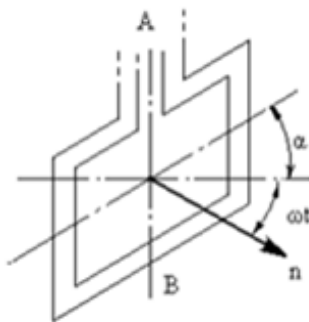
Жауабы: $p_m=7,03 \cdot 10^{-12} \text{ А} \cdot \text{м}^2$

30. Индукциясы $B = 10$ мТл біртекті магнит өрісінде электрон радиусы $R=1$ см және қадамы $h=6$ см бұранда бойымен қозғалады. Электронның T айналу периоды және v жылдамдығын анықтаңыздар.

Жауабы: $T=3,57 \text{ нс}$, $v=24,6 \text{ Мм/с}$



31. Орам саны $N=10^3$ қысқа катушка $n=10 \text{ с}^{-1}$ жиілікпен катушка жазықтығында жатқан және біртекті магнит өрісінің ($B=0,04$ Тл) индукция сызықтарына перпендикуляр АВ осіне қатысты бірқалыпты айналады. Катушка жазықтығы өрістің күш сызықтарымен $\alpha=60^\circ$ бұрыш жасайтын кездегі уақыт мезеттері үшін индукцияның ЭҚК-нің лездік мәнін анықтаңыздар. Катушка ауданы 100 см^2 .



Жауабы: $\varepsilon_i=25,1 \text{ В}$

32. Қабырғалары $a = 5$ см және кедергісі $R=10$ мОм квадрат рамка индукциясы $B=40$ мТл біртекті магнит өрісінде орналасқан. Рамка жазықтығына түсірілген нормаль магнит индукция сызықтарымен $\alpha=30^\circ$ бұрыш жасайды. Магнит өрісін өшіргеннен кейін рамка бойымен ағып өтетін Q зарядты анықтаңыздар.

Жауабы: $Q=8,67 \text{ мКл}$

33. Қабырғалары $a = 10$ см, бойымен $I = 100$ А ток ағып жатқан жазық квадрат контур индукциясы $B=1$ Тл біртекті магнит өрісінде орналасқан. Қарама-қарсы қабырғаларының

ортасы арқылы өтетін оське қатысты контур 1) $\varphi=90^\circ$; 2) $\varphi=3^\circ$ бұрыштарға бұрылған кездегі сыртқы күштердің жасайтын А жұмысын анықтаңыздар. Контурдың бұрылуы кезінде ондағы ток күші өзгермейді.

Жауабы: $A_1= \text{Дж}$, $A_2=1,37\text{мДж}$

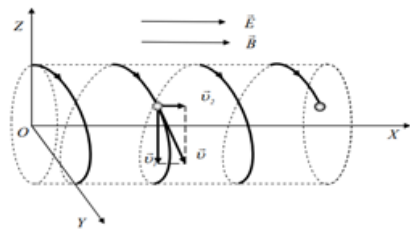
34. $U=400 \text{ В}$ үдеткіш потенциалдар айырымынан өткен электрон кернеулігі $H = 10^3 \text{ А/м}$ біртекті магнит өрісіне ұшып кіреді. Магнит өрісіндегі электронның траекториясының R қисықтық радиусын және n айналу жиілігін анықтаңыздар. Электронның жылдамдық векторы магнит өрісінің күш сызықтарына перпендикуляр.

Жауабы: $R = 5,37 \text{ см}$, $n = 3,52 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$

35. Кернеулігі 160 А/м біртекті магнит өрісіне электрон 10^6 м/с жылдамдықпен магнит индукция сызықтарына перпендикуляр ұшып кіреді. Электрон қозғалатын шеңбердің радиусын анықтаңыздар.

Жауабы: $R=2,84 \cdot 10^{-2} \text{ м}$

36. Индукциясы $0,4 \text{ Тл}$ біртекті магнит өрісіне магнит индукция сызықтарына перпендикуляр зарядталған бөлшек тұрақты жылдамдықпен ұшып кіреді. 6 мкс бойы магнит өрісіне параллель бағытта кернеулігі 300 В/м электр өрісі беріледі. Бөлшектің бұрандалы траекториясының қадамын анықтаңыздар.



Жауабы: $h = 2,8\text{см}$

37. Сутегі атомының қалыпты күйінде электрон радиусы $R=5,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}$ шеңбер бойымен ядроны айналып қозғалады. Эквивалентті дөңгелек токтың I ток күшін және шеңбердің центріндегі H магнит өрісінің кернеулігін анықтаңыздар.

Жауабы: $I=1,05 \cdot 10^{-3} \text{ А}$; $H=10^7 \text{ А/м}$

38. Массалары әртүрлі екі бірдей теріс заряд біртекті магнит өрісіне ұшып кіреді. Біріншісі радиусы 7 см шеңбер бойымен, екіншісі радиусы 3,5 см шеңбер бойымен қозғалады. Егер зарядтар бірдей потенциалдар айырымынан өткен болса, олардың зарядтарының қатынасы неге тең?

Жауабы: $m_1 / m_2 = 4$

39. Суретте шексіз ұзын, екі түзу тогы бар өткізгіштердің көлденең қимасы берілген. Өткізгіштердің арақашықтығы $AB=10$ см,

өткізгіштердегі токтардың шамасы $I_1=20$ А, $I_2=30$ А. Арақашықтықтар: $M_1A=2$ см, $AM_2=4$ см, $BM_3=3$ см. M_1 , M_2 және M_3 нүктелеріндегі I_1 және I_2 токтар туғызған магнит өрісінің кернеуліктерін анықтаңыздар.

Жауабы: $H_1=120$ А/м, $H_2=159$ А/м, $H_3=135$ А/м

40. Суретте шексіз ұзын үш түзу тогы бар өткізгіштердің көлденең қимасы келтірілген.

Өткізгіштердің арақашықтығы: $AB=BC=5$ см, өткізгіштегі токтардың шамасы: $I_1=I_2=I$, $I_3=2I$. AC түзуінің бойынан I_1 , I_2 , I_3 токтар туғызған магнит өрісінің кернеулігі нөлге тең болатын нүктені анықтаңыздар.

Жауабы: $H_1=199$ А/м, $H_2=0$ А/м, $H_3=183$ А/м

41. Индукциясы $B=0,05$ Тл магнит өрісінде ұзындығы $l=1$ м стержень айналады. Айналу осі стерженьнің ұштарының бірі арқылы өтеді және магнит өрісінің бағытына параллель болып келеді. Әрбір айналым кезінде стерженьді қиып өтетін Φ магнит ағының анықтаңыздар.

Жауабы: $\Phi=0,157$ Вб

42. Ұзындығы $l_1=50,2$ см темір өзекшедегі ауа саңылауының ұзындығы $l_2=0,1$ см, өзекшедегі орам саны $N=20$.

Саңылауда $B_2=1,2$ Тл индукция алу үшін, орам бойымен қандай ток ағып өтуі қажет? Жауабы: $I=60$ А

43. Протон мен электрон бірдей жылдамдықпен қозғалып біртекті магнит өрісіне индукция сызықтарына перпендикуляр ұшып кіреді. Протонның траекториясының R_1 қисықтық радиусы электронның траекториясының R_2 қисықтық радиусынан қанша есе үлкен екенін анықтаңыздар.

$$\text{Жауабы: } \frac{R_1}{R_2} = \frac{m_1}{m_2} = 1840$$

44. Екі шексіз ұзын түзу тогы бар өткізгіштер бір-біріне перпендикуляр орналасқан. Өткізгіштер бойымен $I_1=100$ А және $I_2=50$ А токтар ағады. Өткізгіштердің арақашықтығы $d=20$ см. Өткізгіштерге жалпы перпендикулярдың ортасында жатқан нүктедегі B магнит өрісінің индукциясын анықтаңыздар.

$$\text{Жауабы: } B=2,24 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$$

45. Заряды элементар зарядқа тең бөлшек индукциясы $B=0,2$ Тл біртекті магнит өрісіне индукция сызықтарының бағытына $\alpha=30^\circ$ бұрышпен ұшып кіреді. Егер бөлшектің жылдамдығы $v=10,5$ м/с болса, бөлшекке әсер ететін F_L Лоренц күшін анықтаңыздар.

$$\text{Жауабы: } F_L=1,60 \cdot 10^{-13} \text{ Н}$$

46. Заряды элементар зарядқа тең бөлшек индукциясы $B=0,01$ Тл біртекті магнит өрісіне индукция сызықтарына перпендикуляр ұшып кіреді. Егер бөлшектің магнит өрісіндегі траекториясының радиусы $R=0,5$ мм болса, бөлшек қозғалыс кезінде қандай L импульс моментіне ие болғанын анықтаңыздар.

$$\text{Жауабы: } L=4,00 \cdot 10^{-28} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}$$

47. Индукциясы $B=0,4$ Тл біртекті магнит өрісінде рамка бірқалыпты айналады. Рамканың айналу жиілігі $n = 480$ айн/мин, ауданы $S = 200 \text{ см}^2$, орам саны $N = 1000$. Рамканың $\alpha = 30^\circ$ бұрылу бұрышына сәйкес келетін ЭҚК-тің лездік мәнін анықтаңыздар.

$$\text{Жауабы: } 201 \text{ В}$$

48. Индуктивтілігі $L=10^{-2}$ Гн соленоидтың орам саны $N=200$, ауданы $S=8 \text{ см}^2$. Соленоид бойымен 2 А ток жүрген кездегі магнит өрісінің индукциясын анықтаңыздар.

$$\text{Жауабы: } B = 0,125 \text{ Тл}$$

49. Индукциясы $B=0,1\text{Тл}$ біртекті магнит өрісінде ауданы $S=10^{-2}\text{ м}^2$, кедергісі $R=2\text{ Ом}$ жазық өткізгіш орам орналасқан. Бастапқыда орамның жазықтығы магнит индукция сызықтарына перпендикуляр болады. Орамды бұрған кезде гальванометр арқылы ағып өтетін толық заряд $q=7,5\cdot 10^{-4}\text{ Кл}$. Орамды қандай бұрышқа бұрғанын анықтаңыздар.

Жауабы: $\alpha = 120^\circ$

50. Сыйымдылығы $C=10\text{ мкФ}$ конденсатор ауданы $S=200\text{ см}^2$ жазық өткізгіш контурға жалғанған. Контур біртекті магнит өрісіне орналасқан, контурға түсірілген нормаль вектор мен магнит индукциясы арасындағы бұрыш $\alpha=60^\circ$. Магнит индукциясының уақыт бойынша өзгеру заңдылығы: $B=2\cdot 10^{-2}\cos\frac{\pi}{4}t$, (Тл). $t=2\text{с}$ уақыт мезетіндегі конденсатордың энергиясын анықтаңыздар. Контурдың индуктивтілігі ескерілмейді.

Жауабы: $W=1,23\text{нДж}$

51. Индукциясы $B=6\cdot 10^{-2}\text{ Тл}$ магнит өрісінде $N=80$ мыс өткізгіштен орам жүргізілген, өткізгіштің көлденең қимасының ауданы $\sigma=1\text{ мм}^2$ болатын диаметрі $d=8\text{ см}$ соленоид орналасқан. $\Delta t=0,2\text{ с}$ уақыт мезетінде соленоидтың осі өріспен бағыттас болып қалатындай етіп, $\alpha=180^\circ$ -қа бұрады. Соленоидта пайда болатын электр қозғаушы күштің орташа мәнін және индукциялық зарядты анықтаңыздар. Мыстың меншікті кедергісі: $\rho=0,017\cdot 10^{-6}\text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Жауабы: $\varepsilon_i \approx 0,24\text{ В}$, $q=1,4\text{ Кл}$

52. Индукциясы $B=10^{-2}\text{ Тл}$ магнит өрісінде ұзындығы $l=0,2\text{ м}$ стержень $\omega=100\text{ с}^{-1}$ тұрақты бұрыштық жылдамдықпен айналады. Егер айналу осі стерженьнің ұшы арқылы өтіп, магнит өрісінің күш сызықтарына параллель болса, стерженьде пайда болатын индукцияның ЭҚК-ін анықтаңыздар.

Жауабы: $\varepsilon_i=2\cdot 10^{-2}\text{ В}$

53. Диаметрі $D=5\text{ см}$ және ұзындығы $\ell=80\text{ см}$ болатын толығымен магнитсіздендірілген темір өзекшеге $N=240$ өткізгіш орам бір қабат оралған. Осы соленоидтың $I=0,6\text{ А}$ ток күші кезіндегі L индуктивтілігін анықтаңыздар.

Жауабы: $L=0,63\text{ Гн}$

54. Қабырғалары $a=10$ см квадрат тогы бар контур индукциясы $B=1$ Тл біртекті магнит өрісінде еркін ілініп тұр, контур бойымен 6 А ток жүреді. Контурды магнит өрісінің бағытына перпендикуляр осьтің айналасында 180° -қа бұру үшін қандай жұмыс жасалуы қажет?

Жауабы: $A=0,12$ Дж

55. Электр өрісінде 10 кВ үдеткіш потенциалдар айырымынан өткен электрон, индукциясы $0,5$ Тл біртекті магнит өрісіне индукция сызықтарына перпендикуляр ұшып кіреді. Электронның импульс моментін анықтаңыздар.

Жауабы: $L=3,64 \cdot 10^{-26}$ кг·м²/с

56. Ауданы 10 см² өткізгіштен 100 орам жүргізілген катушка біртекті магнит өрісіне орналастырылып, баллистикалық гальванометрге жалғанған. Катушка осі магнит өрісінің бағытымен сәйкес келеді. Катушканы оның диаметрі айналасында 180° -қа тез бұрған кезде гальванометр арқылы 2 мкКл электр заряды өтеді. Катушка мен гальванометрдің кедергісі 5 кОм. Магнит өрісінің индукциясын анықтаңыздар.

Жауабы: $B=50$ мТл

57. Ұзындығы $l=10$ см және көлденең қимасының ауданы $S=3$ см², $N=1000$ орамнан тұратын соленоид ЭҚК-і $\mathcal{E}=12$ В ток көзіне қосылған. Кілтті тұйықтаған соң $0,01$ с уақыттан кейінгі ток күшін анықтаңыздар.

Жауабы: $I=31,8$ А

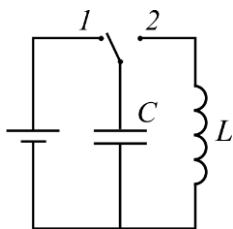
4 ТАРАУ

ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР ЖӘНЕ АЙНЫМАЛЫ ТОК

4.1 Негізгі формулалар мен анықтамалар

1. Өшпейтін тербелістер

Идеал тербелмелі контурда ($R=0$) пайда болатын гармониялық электромагниттік тербелістердің дифференциалдық теңдеуі:



4.1-сурет. Идеал тербелмелі контур

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \omega_0^2 q = 0. \quad (4.1)$$

Бұл теңдеудің шешімі келесі түрде жазылады:

$$q = q_0 \cos \omega_0 t. \quad (4.2)$$

ω_0 – тербелістің циклдік жиілігі;

q_0 – бастапқы уақыт мезетіндегі конденсатордың астарларындағы зарядтың максимал мәні.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}. \quad (4.3)$$

Идеал тербелмелі контурдағы тербеліс периоды үшін Томсон формуласы:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (4.4)$$

Катушкадағы ток күшінің лездік мәні:

$$I = \frac{dq}{dt} = q_0 \omega_0 \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right) = I_0 \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (4.5)$$

I_0 – катушкадағы ток күшінің максимал мәні.

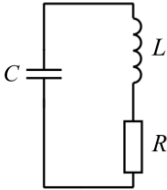
$$I_0 = q_0 \omega_0 = C U_0 \sqrt{\frac{1}{LC}} = U_0 \sqrt{\frac{C}{L}}. \quad (4.6)$$

Идеал тербелмелі контурдың толық энергиясы:

$$W = \frac{LI^2}{2} + \frac{q^2}{2C} = \frac{q_0^2}{2C} = \frac{LI_0^2}{2}. \quad (4.7)$$

2. Өшетін тербелістер

Нақты тербелмелі контурдағы ($R \neq 0$) өшетін электромагниттік тербелістердің дифференциалдық теңдеуі:



4.2-сурет. Нақты тербелмелі контур

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0. \quad (4.8)$$

Бұл теңдеудің шешімі келесі түрде жазылады:

$$q = q_0 e^{-\beta t} \cos \omega t, \quad (4.9)$$

Мұндағы ω – контурдағы тербеліс теңдеуі.

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}. \quad (4.10)$$

β – өшу коэффициенті.

Өшудің логарифмдік декременті – өзара периодқа тең уақыт аралықтарымен бөлінген екі тербеліс амплитудаларының қатынасының натурал логарифміне тең шама:

$$\delta = \beta T = \ln \frac{q_n}{q_{n-1}}. \quad (4.11)$$

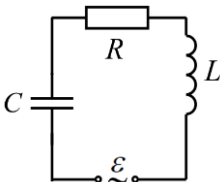
Нақты контурдағы тербеліс периоды келесі түрде анықталады:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}. \quad (4.12)$$

L/C шамасын контурдың *толқындық кедергісі* деп атайды, ал контурдың толқындық кедергісінің оның активтік кедергісіне қатынасы Q *контурдың сапалылығы* деп аталады:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (4.13)$$

3. Еріксіз тербелістер



4.3-сурет. Еріксіз тербелістердің пайда болуы

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t - \text{сыртқы ЭҚК.}$$

Нақты тербелмелі контурда пайда болатын еріксіз электромагниттік тербелістердің дифференциалдық теңдеуі:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = \frac{\mathcal{E}_0}{L} \sin \omega t. \quad (4.14)$$

Ток күші үшін теңдеудің шешімі:

$$I = I_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

Токтың амплитудалық мәнін Ом заңынан анықтауға болады:

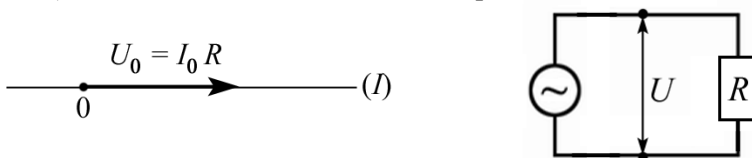
$$I_o = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

$\omega = \omega_p$ шарты орындалғанда ток максимал болады.
Резонанстық жиілік:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{1}{LC}}.$$

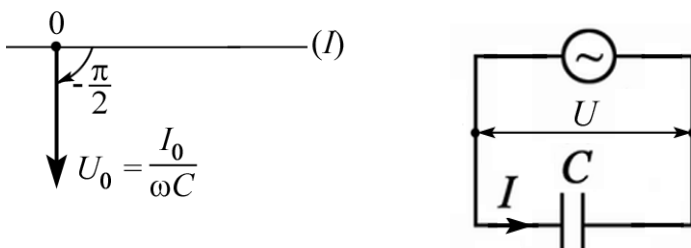
4. Векторлық диаграммалар

а) Айнымалы ток тізбегіндегі кедергі



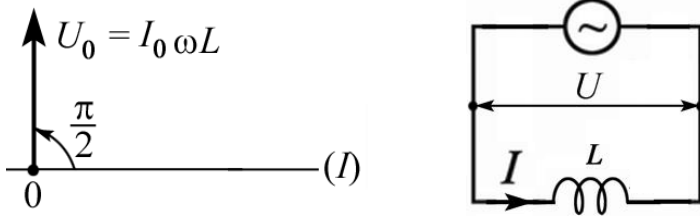
4.4-сурет. Айнымалы ток тізбегіндегі кедергі үшін кернеудің векторлық диаграммасы мен электрлік схемасы

б) Айнымалы ток тізбегіндегі сыйымдылық

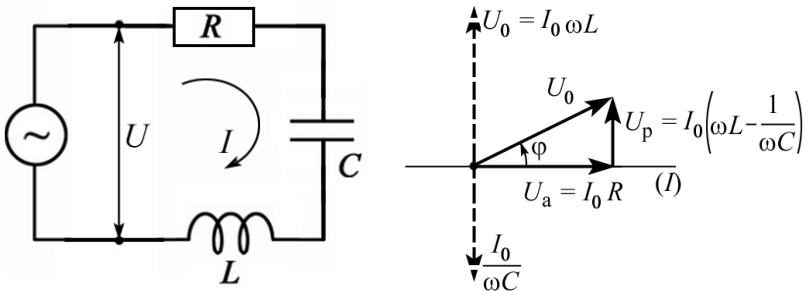


4.5-сурет. Айнымалы ток тізбегіндегі сыйымдылық үшін кернеудің векторлық диаграммасы және электрлік схемасы

в) Айнымалы ток тізбегіндегі индуктивтілік



4.6-сурет. Айнымалы ток тізбегіндегі индуктивтілік үшін кернеудің векторлық диаграммасы және электрлік схемасы



4.7-сурет. R, L, C тізбектей жалғау электрлік схемасы және векторлық диаграммасы

Токтың амплитудалық мәнін Ом заңынан анықтауға болады:

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (4.15)$$

Тізбектің толық кедергісі (импеданс):

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}, \quad (4.16)$$

Омдық кедергі R – активті кедергі; $X = \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$ – реактивті кедергі;

$X_L = \omega L$ – реактивті индуктивті кедергі;

$X_C = \frac{1}{\omega C}$ – реактивті сыйымдылық кедергі.

Ток пен кернеу арасындағы фазалар айырымы:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}. \quad (4.17)$$

$\omega = \omega_p$ шарты орындалғанда ток максимал болады.

Резонанстық жиілік:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{1}{LC}}. \quad (4.18)$$

Айнымалы ток қуаты:

$$P = \frac{1}{2} U_0 I_0 \cos \varphi = \frac{1}{2} I_0^2 R \quad (4.19)$$

$\cos \varphi$ – қуат коэффициенті.

Ток пен кернеудің әсерлік (эффективтік) мәндері:

$$I_{\vartheta} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}, \quad U_{\vartheta} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}. \quad (4.20)$$

4.2 Есептерді шығару мысалдары

4.1 есеп. Тербелмелі контурдағы еркін тербелістер кезіндегі ток күшінің амплитудасы 100 мА. Егер конденсатордың сыйымдылығы 1 мкФ, ал катушканың индуктивтілігі 1 Гн болса, тербелмелі контурдағы конденсатор астарларындағы кернеудің амплитудалық мәні қандай?

Берілгені:

$$R = 0$$

$$C = 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$L = 1 \text{ Гн}$$

$$I_m = 10^{-1} \text{ А}$$

Табу керек:

$$U_m - ?$$

Шешуі. Энергияның сақталу заңы бойынша:

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2};$$

бұдан шығатыны:

$$U_m = I_m \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

$$U_m = 10^{-1} \sqrt{\frac{1}{10^{-6}}} = 10^2 \text{ В}$$

Өлшем бірлікті тексерейік:

$$[U_m] = A \frac{\text{Гн}^{-2}}{\text{Ф}^{-2}} = A \sqrt{\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{с}}} = \text{В}$$

Қолданылаған формулалар:

$$\begin{aligned} \varepsilon = -L \frac{dl}{dt} &=> V = \Gamma_H \frac{A}{c} &=> \Gamma_H = \frac{B \cdot c}{A} . \\ C = \frac{q}{U} &=> \Phi = \frac{K_L}{B} = \frac{A \cdot c}{B} . \end{aligned}$$

Жауабы: 100 В

4.2 есеп. Тербелмелі контур сыйымдылығы $C = 4,9 \text{ мкФ}$ конденсатордан және индуктивтілігі $L=1 \text{ Гн}$ катушкадан тұрады. Конденсатордың астарлары арасындағы заряд тербелісінің амплитудасы $0,5 \text{ мКл}$. Заряд тербелісінің теңдеуін жазыңыздар.

Берілгені: $C = 4,9 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$ $L = 1 \text{ Гн}$ $q_0 = 0,5 \cdot 10^{-6}$	Шешуі. Заряд тербелісінің гармониялық теңдеуі: $q(t) = q_0 \cos \omega t .$ Томсон формуласына сәйкес гармониялық тербелістің периоды: $T = 2\pi\sqrt{LC}$
Табу керек: $q(t) - ?$	Циклдік жиілік:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{4,9 \cdot 10^{-6}}} = 452 \text{ с}^{-1}.$$

Заряд тербелісінің теңдеуі келесі түрде болады:

$$q(t) = 0,5 \cdot 10^{-6} \cos 452t .$$

$$\text{Жауабы: } q(t) = 0,5 \cdot 10^{-6} \cos 452t .$$

4.3 есеп. $U = 100 \text{ В}$ кернеуге дейін зарядталған сыйымдылығы $C = 0,1 \text{ мкФ}$ конденсаторды индуктивтілігі $L=1 \text{ мГн}$ катушкаға жалғайды. Конденсаторды катушкаға жалғағаннан кейін $t_0 = 0,785 \cdot 10^{-5} \text{ с}$ уақыттан кейін катушка арқылы өтететін I токтың шамасы неге тең? Катушка мен жалғаушы сымдардың кедергісі ескерілмейді.

Берілгені:	Шешуі. Зарядталған конденсаторды катушкаға жалғаған кезде осы тербелмелі контурда пайда болған электромагниттік тербелістердің жиілігі:
$U = 100 \text{ В};$ $L = 10^{-3} \text{ Гн};$ $C = 10^{-7} \text{ Ф};$ $t_0 = 0,785 \cdot 10^{-5} \text{ с}$	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$
Табу керек:	Бұл кезде конденсатордағы зарядтар уақыт бойынша келесі заңдылықпен өзгереді:
$I - ?$	$q(t) = q_0 \cos \omega t = q_0 \cos \frac{t}{\sqrt{LC}}.$

мұндағы $q_0 = CU$ – конденсатордағы бастапқы заряд.

Катушка мен жалғаушы сымдардың кедергілері өте аз болғандықтан, контурдағы электр және магнит өрістерінің энергиясы сақталады. Энергияның сақталу заңы бойынша:

$$\frac{q_0^2}{2C} = \frac{q(t)^2}{2C} + \frac{LI(t)^2}{2}.$$

Осы жерден катушка арқылы өтетін тоқты өрнектей отырып, және q_0 және $q(t)$ үшін өрнектерін қоямыз:

$$I(t) = \frac{q_0}{\sqrt{LC}} \sqrt{q_0^2 - q^2} = U \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \frac{t}{\sqrt{LC}}} = U \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot \sin \frac{t}{\sqrt{LC}}.$$

t_0 уақыт мезетіндегі ток шамасы:

$$I(t_0) = U \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot \sin \frac{t_0}{\sqrt{LC}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{10^{-7}}{10^{-3}}} \sin \frac{0,785 \cdot 10^{-5}}{\sqrt{10^{-3} \cdot 10^{-7}}} = 0,71 \text{ А}.$$

Жауабы: $I(t_0) = 0,71 \text{ А}$

4.4 есеп. Жиілігі 50 Гц айнымалы ток тізбегі тізбектей жалғанған сыйымдылығы $C = 1 \text{ мкФ}$ конденсатор мен 2 кОм актив кедергіден тұрады. Егер тізбек бөлігі жалғанған желідегі кернеудің әсерлік мәні 220 В болса, тізбектегі ток күшінің амплитудалық мәні неге тең?

Берілгені:

$$\nu = 50 \text{ Гц}$$

$$R = 2 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$C = 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$U_d = 220 \text{ В}$$

Табу керек: $I_0 - ?$

Шешуі. Айнымалы ток үшін Ом заңын жазамыз:

$$I = \frac{U}{Z}.$$

Z – толық кедергі, ол актив және реактивті кедергілердің қосындысынан тұрады.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C} - \text{сыйымдылық кедергі.}$$

Толық кедергіні келесі түрде жазамыз:

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{4\pi^2\nu^2 C^2}}$$

Кернеудің әсерлік мәні арқылы оның амплитудалық мәнін табамыз:

$$U_0 = U_a \cdot \sqrt{2}.$$

Енді кернеудің амплитудалық мәнін айнымалы ток үшін Ом заңына қойып, ток күшін анықтаймыз:

$$I_0 = \frac{U_0}{Z} = \frac{U_d \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{4\pi^2\nu^2 C^2}}}.$$

$$I_0 = \frac{220 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{4 \cdot 10^6 + \frac{1}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 50^2 \cdot 10^{-12}}}} = 82,75 \text{ А} \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

Жауабы: $I_0 = 82,75 \text{ мкА}$

4.5 есеп. Тізбекке кедергісі R резистор, сыйымдылығы C конденсатор және индуктивтілігі L катушка тізбектей жалғанған (4.8-сурет). Тізбек бойымен $I = I_0 \cos \omega t$ айнымалы ток жүреді. Анықтаңыздар: 1) тізбектің әр элементіндегі және барлық тізбектегі кернеудің амплитудасын; 2) ток пен кернеу арасындағы фазалар айырымын; 3) тізбекке берілген кернеудің өзгеру заңдылығын.

Берілгені:

$$I = I_0 \cos \omega t ;$$

Табу керек:

$$U_{L0} - ?$$

$$U_{R0} - ? \quad U_{C0} - ?$$

$$U_0 - ? \quad \varphi - ?$$

$$U = U(t) - ?$$

Шешуі. Резистордағы кернеудің амплитудасы:

$$U_{R0} = I_0 R .$$

Конденсатордағы кернеудің амплитудасы:

$$U_{C0} = I_0 X_C = \frac{I_0}{\omega C} .$$

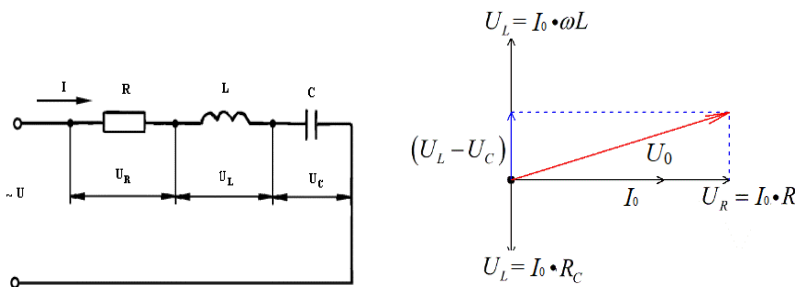
Катушкадағы кернеудің амплитудасы: $U_{L0} = I_0 X_L = I_0 \omega L .$

Мұндағы: $X_C = \frac{1}{\omega C}$ – сыйымдылық кедергі,

$X_L = \omega L$ – индуктивтік кедергі.

Контурдың жекелеген элементтеріндегі кернеулердің қосындысы әрбір уақыт мезетіндегі сыртқы ЭҚК-ке тең:

$$\vec{U}(t) = \vec{U}_R(t) + \vec{U}_L(t) + \vec{U}_C(t).$$



4.8-сурет. R, L, C тізбектей жалғаудың электрлік схемасы және векторлық диаграммасы

Айнымалы ток тізбегіндегі жекелеген элементтердегі кернеудің лездік мәндері – уақыт функциялары болып табылады, тұрақты мәндер емес, гармониялық тербелістер жайында айтып отырмаз. Сонымен қатар, қосылатын үш гармониялық тербелістердің фазалары әртүрлі: $U_R(t)$ ток күшімен фазасы бойынша сәйкес келеді; $U_C(t)$ токтан $\pi/2$ қалып жатыр; $U_L(t)$ токтан $\pi/2$ алдыда.

Әрбір кернеудің өзгеру заңдылығын жазайық:

$$U_R = I_0 R \cos \omega t ; \quad U_C = I_0 X_C \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) ; \quad U_L = I_0 X_L \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) .$$

Тізбекке берілген кернеудің лездік мәндерінің қосындысы:

$$\begin{aligned} U(t) &= U_{R0} \cos \omega t + U_{C0} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) + U_{L0} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \\ &= \omega t + (U_{C0} - U_{L0}) \sin \omega t = \\ &U_{R0} \cos \sqrt{U_{R0}^2 + (U_{L0} - U_{C0})^2} \cos(\omega t + \varphi) = \\ &= U_0 \cos(\omega t + \varphi) . \end{aligned}$$

Барлық тізбектегі кернеудің амплитудасы:

$$U_0 = I_0 \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} = I_0 \cdot Z .$$

φ шамасы тізбектегі ток күші мен кернеудің тербелістерінің арасындағы фазалар айырымын сипаттайды:

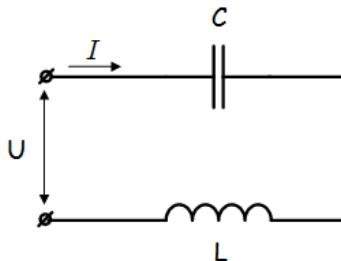
$$\varphi = \arctg \frac{U_{L0} - U_{C0}}{U_{R0}} = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} .$$

Тізбекке берілген кернеудің өзгеру заңдылығы:

$$U = U_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

$$\begin{aligned} \text{Жауабы: } U_{R0} &= I_0 R; \quad U_{C0} = \frac{I_0}{\omega C}; \quad U_{L0} = I_0 \omega L; \quad U_0 = \\ &I_0 \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}; \\ U &= U_0 \cos(\omega t + \varphi); \quad \varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} . \end{aligned}$$

4.6 есеп. Айнымалы ток тізбегіне индуктивтілігі 5 мГн катушка, сыйымдылығы 20 мкФ конденсатор және 100 Ом актив кедергі тізбектей жалғанған (4.9-сурет). Конденсатордағы U_C кернеу 30 В. Тізбектің қысқыштарындағы (зажим) кернеуді, тізбектегі тоқты, катушкадағы кернеуді, актив және реактив қуатты анықтаңыздар.



4.9-сурет

Берілгені:

$$R = 100 \text{ Ом}$$

$$L = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

$$C = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$U_C = 30 \text{ В}$$

$$\nu = 50 \text{ Гц}$$

Шешуі. Тізбектегі барлық элементтер тізбектей жалғанғандықтан, конденсатор мен катушкадағы ток бірдей болады. Ом заңына сәйкес:

$$I_C = \frac{U_C}{X_C} = U_C \omega C = U_C \cdot 2\pi\nu \cdot C = I_L = I.$$

$$I = 30 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 0,188 \text{ А}.$$

Табу керек: U - ?

I - ? U_L - ?

$P_{\text{ак}}$ - ? $P_{\text{р}}$ - ?

Индуктивтік және сыйымдылық кедергіні анықтаймыз:

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 1,57 \text{ Ом}.$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 10^{-5}} = 159,24 \text{ Ом}$$

Катушкадағы кернеуді тізбек бөлігі үшін Ом заңын қолданып табамыз:

$$U_L = I \cdot X_L = 0,188 \cdot 1,57 \approx 0,3 \text{ В}.$$

Катушка орамдарының актив кедергісін біле отырып, ондағы кернеудің түсуін анықтай аламыз:

$$U_R = IR = 0,188 \cdot 100 = 18,8 \text{ В}.$$

Әр элементтегі кернеуді біле отырып, тізбектің қысқыштарындағы кернеуді анықтай аламыз:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{18,8^2 + (0,295 - 30)^2} = 35,15 \text{ В}.$$

Актив қуатты катушка орамдарынан бөлінетін қуат ретінде анықтаймыз:

$$P_{\text{ак}} = U_R I = 18,8 \cdot 0,188 = 3,53 \text{ Вт}.$$

Реактивті қуатты табу үшін алдымен φ фазалар ығысуын анықтауымыз қажет:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{X}{R}\right) = \arctg\left(\frac{(X_L - X_C)}{R}\right) = \arctg\left(\frac{(1,57 - 159,24)}{100}\right).$$

$$\varphi = \arctg(-1,577) \approx 123^\circ$$

$$P_p = UI \cos \varphi = 35,15 \cdot 0,188 \cdot \cos 123^\circ = 6,61 \cdot (-0,545) = -3,6 \text{ Вт}.$$

Реактивті қуат теріс мәнге ие болғандықтан, тізбек сыйымдылық сипатқа ие.

$$\text{Жауабы: } U = 35,15 \text{ В, } I = 0,188 \text{ А, } U_L = 0,3 \text{ В, } P_A = 3,53 \text{ Вт, } P_p = -3,6 \text{ Вт}.$$

4.7 есеп. Айнымалы ток тізбегіне кедергісі R резистор, сыйымдылығы C конденсатор және индуктивтілігі L катушка тізбектей жалғанған. Тізбектегі ток күшінің амплитудасы I_0 -ге тең. Тізбектегі әрбір элементтің бір периодта тұтынатын P орташа қуатын анықтаңыздар.

Берілгені: R, L, C I_0 $t = T$	Шешуі. Тізбектің кез-келген бөлігіндегі лездік қуат: $P = UI$; мұндағы U, I – кернеу мен ток күшінің лездік мәндері. Егер тоқтың лездік мәні келесі заңдылықпен өзгерсе:
Табу керек: $P_L - ?$ $P_R - ? P_C - ?$	$I = I_0 \cos \omega t$, Онда резистордағы кернеу токпен фаза бойынша сәйкес келеді, ал конденсатордағы кернеу токпен фаза бойынша $\pi/2$ -ге қалып отырады:

$$U_R = I_0 R \cos \omega t;$$

$$U_C = I_0 X_C \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = I_0 X_C \sin \omega t .$$

Катушкадағы кернеу фаза бойынша токтан $\pi/2$ -ге алдыда болады:

$$U_L = I_0 X_L \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = -I_0 X_L \sin \omega t .$$

UI көбейтіндісінің орташа мәнін анықтаған кезде, келесі формуланы қолданамыз:

$$\overline{\cos^2 \omega t} = \frac{1 + \overline{\cos 2\omega t}}{2} = \frac{1}{2}, \quad \overline{\cos \omega t \cdot \sin \omega t} = \frac{1}{2} \overline{\sin 2\omega t} = 0 .$$

(жоғарғы жақтағы сызық, тербеліс периодына тең уақыттың орташасы).

Онда бір периодта резистор тұтынатын P_R орташа қуат:

$$P_R = I_0^2 R \overline{\cos^2 \omega t} = \frac{I_0^2 R}{2} = I_d^2 R ,$$

мұндағы $I_d = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ – айнымалы ток күшінің әсерлік мәні.

Бір периодта конденсатор тұтынатын P_C орташа қуат:

$$P_C = I_0^2 X_C \overline{\cos \omega t \cdot \sin \omega t} = 0 .$$

Бір периодта катушка тұтынатын P_L орташа қуат:

$$P_L = -I_0^2 X_L \overline{\cos \omega t \cdot \sin \omega t} = 0 .$$

Сонымен, идеал конденсатор мен катушка, жалпы айтқанда, энергия тұтынбайды екен. Конденсатор ширек периодта электр өрісінің энергиясын жинап зарядталады, бірақ келесі ширек периодта ол разрядталып, энергияны толығымен тізбекке қайтарады. Катушкада ток күші артқанда, катушка ширек период магнит өрісінің энергиясын жинайды, бірақ, келесі ширек периодта бұл энергия да толығымен тізбекке қайтады. Тек резисторда (актив кедергіге ие, тізбек элементінде) ғана электр энергиясының ішкі энергияға қайтымсыз түрленуі болады.

$$\text{Жауабы: } P_C = P_C ; P_R = \frac{I_0^2 R}{2} = I_d^2 R$$

4.3. Өздігінен шығару үшін берілген есептер

1. Тербелмелі контур сыйымдылығы $C=888$ пФ конденсатордан және индуктивтілігі $L = 2$ мГн катушқадан тұрады. Жауабы: 2512 м

2. Тербелмелі контурдағы ток күші $I = 0,4\sin(400\pi t)$, (А) заңдылығымен өзгереді. Егер катушканың индуктивтілігі 125 мГн болса, контурдағы конденсатордың сыйымдылығын анықтаңыздар.

Жауабы: $5 \cdot 10^{-6}$ Ф

3. Айнымалы ток тізбегіне 1 кОм актив кедергі және сыйымдылығы $C = 1$ мкФ конденсатор тізбектей жалғанған. Тізбектегі айнымалы токтың жиілігі 50 Гц. Егер тізбек бөлігі жалғанған желідегі кернеудің әсерлік мәні 220 В болса, тізбектегі ток күшінің амплитудасы неге тең?

Жауабы: 0,09 А

4. Жиілігі 50 Гц айнымалы ток тізбегіне актив кедергісі өте аз катушка жалғанған. 125 В кернеу кезінде ток күші 3 А болған. Катушканың индуктивтілігі қандай? Жауабы: 0,13 Гн

5. Жиілігі $\nu=500$ Гц айнымалы ток тізбегіне индуктивтілігі $L=10$ мГн катушка жалғанған. Резонанс болуы үшін осы тізбекке сыйымдылығы қандай конденсаторды жалғау қажет?

Жауабы: 10 мкФ

6. Индуктивтілігі $L = 30$ мкГн катушка пластиналарының ауданы $S = 0,01$ м² және олардың арақашықтығы $d = 0,1$ мм жазық конденсаторға жалғанған. Егер тербелмелі контур $\lambda=750$ м тоқын ұзындыққа арналған болса, пластиналардың арасындағы кеңістікті толтырып тұрған ортаның ϵ диэлектрлік өтімділігін табыңыздар.

Жауабы: 5,96

7. Кернеуі $U=220$ В және жиілігі $\nu = 50$ Гц айнымалы ток тізбегіне сыйымдылығы $C=35,4$ мкФ конденсатор, кедергісі $R=100$ Ом резистор және индуктивтілігі $L=0,7$ Гн катушка тізбектей жалғанған. Тізбектегі ток күшін және сыйымдылықтағы, кедергідегі, индуктивтіліктегі U_C , U_R , және U_L кернеудің түсуін анықтаңыздар.

Жауабы: $I = 1,34$ А; $U_C = 120,49$ В; $U_R = 134$ В; $U_L = 294,68$ В

8. Жиілігі $\nu=50$ Гц айнымалы ток тізбегіне катушка жалғанған. Катушканың ұзындығы $l = 20$ см, диаметрі $d = 5$ см, мыстан жасалған орам саны $N = 500$, оның көлденең қимасының ауданы $S=0,6$ мм². Толық кедергінің қандай бөлігі реактивті кедергіні құрайтынын анықтаңыз. Мыстың меншікті кедергісі:

$\rho = 17$ нОм·м, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м. Жауабы: $X/Z = 0,401$

9. Ұзындығы $l = 25$ см, радиусы $r=2$ см катушка $N=1000$ мыс өткізгіштен жасалған орамнан тұрады, мыс өткізгіштің көлденең қимасының ауданы $S=1$ мм². Катушка жиілігі $\nu=50$ Гц айнымалы ток тізбегіне қосылған. Катушканың Z толық кедергісінің қандай бөлігін R актив кедергі және X_L индуктивтік кедергі құрайды? $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м. Жауабы: $R/Z = 74\%$, $X_L/Z = 68\%$

10. Кернеуі $U = 440$ В және жиілігі $\nu = 50$ Гц айнымалы ток желісіне бір-бірімен тізбектей жалғанған конденсатор мен электр шамы қосылған. Шам арқылы $I = 0,5$ А ток жүру үшін және ондағы кернеудің түсуі $U_{\text{ш}} = 110$ В болуы үшін конденсатордың C сыйымдылығы қандай болуы қажет? Жауабы: $C = 3,74$ мкФ

11. Кернеудің лездік мәні $U=310\cos(314t)$, (В) заңдылығымен өзгертін тізбекке сыйымдылығы 10 мкФ конденсатор жалғанған. Токтың әсерлік мәнін есептеңіздер.

Жауабы: $I_d = 0,69$ А

12. Жиілігі 50 Гц, синусоидалы кернеуі 220 В ток айнымалы ток тізбегіне конденсаторды қосқан кезде, тізбектегі ток $0,5$ А болды. Конденсатордың электр сыйымдылығы қандай?

Жауабы: $C = 7,24$ мкФ

13. Индуктивтілігі $L=22,6$ мГн катушка мен R кедергі жиілігі $\nu=50$ Гц айнымалы ток тізбегіне параллель жалғанған. Егер кернеу мен ток арасындағы фазалар ығысуы $\varphi = 60^\circ$ болса, R кедергі неге тең?

Жауабы: $12,3$ Ом

14. Тербелмелі контур индуктивтілігі $L=1$ мГн катушадан және сыйымдылығы $C=10$ мкФ конденсатордан тұрады. Конденсатор $U_m=100$ В максимал кернеуге дейін зарядталған. Конденсатордағы Q_m максимал зарядты және катушкадағы I_m максимал токты анықтаңыздар.

Жауабы: $Q_m=1$ мКл; $I_m=10$ А

15. Тербелмелі контур индуктивтілігі $L=0,2$ мГн катушкадан және сыйымдылықтары $C_1=C_2=4$ мкФ тізбектей жалғанған екі конденсатордан тұрады. Тербелмелі контурдағы еркін тербелістердің периодын, конденсатордағы максимал зарядты және әр конденсатордағы максимал кернеуді анықтаңыздар. Тізбектегі максимал ток $I_m=0,1$ А.

Жауабы: $T=12,56 \cdot 10^{-5}$; $Q_m=2$ мкКл; $U_1=U_2=0,5$ В

16. Тербелмелі контурда индуктивтілігі L катушка мен сыйымдылығы C конденсатор U_m максимал кернеуге дейін зарядталған. Конденсатордағы кернеу екі есе кеміген уақыт мезетіндегі тоқты анықтаңыздар. Тербеліс өшпейтін деп қарастырылады.

Жауабы: $I = U_m \sqrt{3C/4L}$

17. Сыйымдылықтары $C_1 = C_2 = 0,1$ мкФ екі конденсатор жиілігі 50 Гц, кернеуі 220 В айнымалы ток тізбегіне тізбектей жалғанған. Тізбектегі токтың амплитудалық мәнін анықтаңыздар.

Жауабы: $I_0=4,86$ мА

18. Тербелмелі контур индуктивтілігі $L=25$ мГн катушкадан, сыйымдылығы $C=10$ мкФ конденсатордан және кедергісі $R=1$ Ом резистордан тұрады.

Конденсатор $Q_m=1$ мКл заряд мөлшерімен зарядталған. Анықтаңыздар:

1) контурдың тербеліс периодын; 2) өшетін тербелістердің логарифмдік өшу декрементін.

Жауабы: $T=3,14$ мс, $\Theta=0,05$

19. Тізбектей жалғанған кедергісі $R=110$ Ом резистор мен конденсатор амплитудалық мәні 110 В сыртқы айнымалы кернеуге қосылған. Тізбектегі токтың амплитудалық мәні $I_0=0,5$ А. Ток пен сыртқы кернеу арасындағы фазалар ығысуын анықтаңыздар.

Жауабы: $\varphi=60^\circ$

20. Ұзындығы $l=50$ см және көлденең қимасының ауданы $S=10$ см² катушка, жиілігі $\nu=50$ Гц айнымалы ток тізбегіне қосылған. Катушканың орам саны $N=3000$. Кернеу мен токтың арасындағы фаза ығысуы 60° -қа тең деп, катушканың актив кедергісін табу керек.

Жауабы: $R=4,1$ Ом

21. Ұзындығы 50 см және көлденең қимасының ауданы $S_1=3$ см², орам саны 1000 катушка ауа конденсаторына параллель жалғанған. Конденсатор екі пластинадан тұрады,

олардың аудандары $S_2=75 \text{ см}^2$, пластиналардың арақашықтығы 5 мм. Тербелмелі контурдың тербеліс периодын анықтаңыздар.

Жауабы: $T=628 \text{ нс}$

22. Электр тізбегі өзара тізбектей жалғанған кедергісі $R=4 \text{ Ом}$ резистордан, индуктивтілік кедергісі $X_L=8 \text{ Ом}$ катушкadan және сыйымдылық кедергісі $X_C=5 \text{ Ом}$ конденсатордан тұрады. Тізбектің ұштарына 120 В айнымалы кернеу берілген. Барлық бөліктегі кернеулерді және тізбектегі ток күшін анықтаңыздар.

Жауабы: $I=24 \text{ А}$; $U_R=96 \text{ В}$; $U_L=192 \text{ В}$; $U_C=120 \text{ В}$.

23. Тербелмелі контур сыйымдылығы 7 мкФ конденсатордан және индуктивтілігі 0,03 Гн катушкadan тұрады. Конденсатор астарларындағы заряд $q=300 \cdot 10^{-9} \cos 50\pi t$ заңдылығымен өзгереді. Контурдың реактивті кедергісі неге тең?

Жауабы: $R=720 \text{ Ом}$

24. Өткізгіш рамка сыйымдылығы 1,2 мкФ конденсатордың астарларын тұйықтайды. Рамка жазықтығына перпендикуляр бағытталған айнымалы магнит ағыны $\Delta B/\Delta t=25 \text{ мТл/с}$ заңдылығымен өзгере отырып, рамканы қиып өтеді. Рамканың ауданы 80 см^2 . Конденсатор қандай энергияға дейін зарядталады?

Жауабы: $W=24 \text{ нДж}$

25. Тербелмелі контурға қосылған индуктивтілік катушкасында ток 2 А/с жылдамдықпен өзгергенде, пайда болған өздік индукцияның ЭҚК-і 120 мВ. Егер контурдағы конденсатордың сыйымдылығы 0,12 пФ болса, тербелмелі контур қандай толқын ұзындыққа арналған?

Жауабы: $\lambda=160 \text{ м}$

26. Айнымалы ток тізбегіне кедергісі 15 Ом электр пеші қосылған. Егер тізбектегі ток күшінің амплитудалық мәні 7,5 А болса, 30 минут уақытта пештен қанша мөлшерде жылу бөлінеді?

Жауабы: $Q=7,6 \text{ МДж}$

27. Тербелмелі контурдағы конденсатордың астарларындағы заряд $q=300 \cos 50\pi t$, (мкКл) заңдылығымен өзгереді. Егер катушканың индуктивтілігі 0,2 Гн болса, тербелмелі контурдағы катушкада пайда болған ЭҚК-тің максимал мәні неге тең?

Жауабы: $\mathcal{E}_m=12 \text{ мВ}$

28. Әрқайсысының сыйымдылығы 10 мкФ бірдей зарядталған екі конденсатордан тұратын батарея индуктивтілігі 10 мГн және актив кедергісі 40 Ом тізбекке қосылады. Егер конденсаторлар параллель және тізбектей жалғанған болса, тізбекте пайда болатын электромагниттік тербелістердің периодын және контурдың сапалылығын анықтаңыздар.

Жауабы: $T_1=6,28$ мс; $T_2=1,57$ мс; $Q_1=0,559$; $Q_2=2Q_1=1,12$

29. Тербелмелі контур тізбектей жалғанған конденсаторлар батареясынан және актив кедергісі 100 Ом, индуктивтілігі 0,05 Гн дроссельден тұрады. Контурдың резонанстық жиілігі $\nu_p=6000$ Гц. Егер контурдың жиілігі $\nu_1=50$ Гц болса, айнымалы ток тізбегіндегі толық кедергі неге тең? $\nu_2=5$ кГц және $\nu_3=6$ кГц кезіндегі тізбектегі толық кедергіні анықтаңыздар?

Жауабы: $Z_1=226$ кОм; $Z_2=698$ Ом; $Z_3=100$ Ом

30. Тербелмелі контур индуктивтілігі $L=0,2$ мГн катушкадан және пластиналарының ауданы $S=155$ см², пластиналардың арақашықтығы $d=1,5$ мм конденсатордан тұрады. Тербелмелі контурда $\lambda=630$ м толқын ұзындықта резонанс болатынын біле отырып, конденсатордың пластиналарының арасындағы кеңістікті толтырып тұрған ортаның диэлектрлік өтімділігін анықтаңыздар. Жауабы: $\epsilon=6,11$

31. Тербелмелі контур ұзындығы $l=5$ см, көлденең қимасының ауданы $S_1=1,5$ см², орам саны $N=500$ соленоидтан және пластиналарының арақашықтығы $d=1,5$ мм, пластиналардың ауданы $S_2=100$ см² конденсатордан тұрады. Контурдағы меншікті тербелістердің ω_0 жиілігін анықтаңыздар.

Жауабы: $\omega_0=4,24 \cdot 10^6$ рад/с

32. Тербелмелі контур жалпы орам саны $N=100$, индуктивтілігі $L=10$ мкГн катушкадан және сыйымдылығы $C=1$ нФ конденсатордан тұрады. Конденсатор астарларындағы U_m кернеудің максимал мәні 100 В. Катушканы қиып өтетін максимал магнит ағынын анықтаңыздар. Жауабы: $\Phi_m=0,1$ мкВб

33. Егер тербелмелі жүйедегі меншікті тербелістің жиілігі $\nu_0=300$ Гц, ал логарифмдік декремент $\Theta=0,2$ болса, тербелістің резонанстық жиілігін анықтаңыздар. Жауабы: $\nu_{рез}=299,7$ Гц

34. Қандай да бір жүйенің ν_0 меншікті жиілігі 500 Гц. Егер резонанстық жиілік $\nu_{рез}=499$ Гц болса, осы жүйедегі өшетін тербелістердің ν_0 меншікті жиілігін анықтаңыздар.

Жауабы: $\nu=499,5$ Гц

35. Тізбектей жалғанған кедергісі $R=40$ Ом резистордан, индуктивтілігі $L=0,36$ Гн катушкадан және сыйымдылығы $C=28$ мкФ конденсатордан тұратын тербелмелі контур жиілігі $\omega=314$ рад/с және амплитудалық мәні $U_m=180$ В сыртқы айнымалы кернеуге қосылған. Анықтаңыздар: 1) тізбектегі I_m ток күшінің амплитудалық мәнін; 2) ток пен кернеу арасындағы фазалар ығысуын. Жауабы: $I_m=4,5$ А; 2) $\varphi = -1^0$

36. Тербелмелі контур индуктивтілігі $L=0,1$ мГн катушкадан, кедергісі $R=3$ Ом резистордан және сыйымдылығы $C=10$ нФ конденсатордан тұрады. Тербелмелі контурда конденсатордағы кернеудің амплитудалық мәні $U_m=2$ В болатын өшпейтін тербелістерді ұстап тұруға қажетті контур тұтынатын орташа қуатты анықтаңыздар. Жауабы: $\langle P \rangle = 0,6$ мВт

37. Жиілігі $\nu=50$ Гц айнымалы ток тізбегіне ұзындығы $l=30$ см, көлденең қимасының ауданы $S=10$ см², орам саны $N=1000$ катушка жалғанған. Егер ток пен кернеу арасындағы φ фазалар ығысуы 30^0 болса, катушканың актив кедергісін анықтаңыздар.

Жауабы: $R=2,28$ Ом

38. Тербелмелі контур индуктивтілігі $L=6$ мкГн катушкадан және сыйымдылығы $C=1,2$ нФ конденсатордан тұрады. Тербелмелі контурда конденсатордағы кернеудің амплитудалық мәні $U_{mC}=2$ В болатын өшпейтін гармониялық тербелістерді ұстап тұру үшін $\langle P \rangle = 0,2$ мВт орташа қуат беру қажет. Контурдағы тербеліс жеткілікті аз деп санап, осы контурдың сапалылығын анықтаңыздар. Жауабы: 141

39. Тербелмелі контур сыйымдылығы $C=0,2$ мкФ конденсатордан және индуктивтілігі $L=5,07$ мГн катушкадан тұрады. Анықтаңыздар: 1) Қандай логарифмдік декремент кезінде конденсатордың астарларындағы потенциалдар айырымы $t=1$ мс уақытта үш есе кемиді? 2) Бұл кезде контурдың R кедергісі қандай болады? Жауабы: 1) 0,22; 2) 11,1 Ом

40. Тербелмелі контур сыйымдылығы $C=405$ нФ конденсатордан, индуктивтілігі $L=10$ мГн катушкадан және кедергісі $R=2$ Ом резистордан тұрады. Тербелістің бір периодында конденсатор астарларындағы потенциалдар айырымы қанша есе кемиді? Жауабы: 1,04 есе

41. Катушка көлденең қимасының ауданы $S=1$ мм² болатын мыс өткізгіштен жасалған $N=500$ орамнан тұрады. Катушканың

ұзындығы $l=50$ см, оның диаметрі $D=5$ см. Айнымалы токтың қандай ν жиілігінде катушканың Z толық кедергісі оның R актив кедергісінен екі есе артық болады? Жауабы: $\nu=300$ Гц

42. Сыйымдылығы $C=20$ мкФ конденсатор мен кедергісі $R=150$ Ом резистор жиілігі $\nu=50$ Гц айнымалы ток тізбегіне тізбектей жалғанған. U_C конденсатордағы және U_R кедергідегі кернеулердің түсуі осы тізбекке берілген U кернеудің қандай бөлігін құрайды? Жауабы: 72,5%; 68,5%

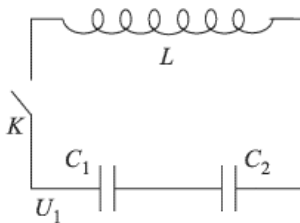
43. Жиілігі 50 Гц және кернеудің әсерлік мәні 300 В айнымалы ток тізбегіне кедергісі 50 Ом резистор, индуктивтілігі 0,1 Гн катушка және конденсатор тізбектей жалғанған. U_1/U_2 кернеулердің түсуі $1/2$ -ге тең. Конденсатордың электр сыйымдылығы мен токтың әсерлік мәнін анықтаңыздар.

Жауабы: $C=30$ мкФ; $I_m=3,3$ мА

44. Тербелмелі контурдағы сыйымдылығы $C=10$ мкФ конденсаторға $q=1$ мКл заряд берілгеннен кейін, контурда өшетін электромагниттік тербелістер пайда болады. Конденсатордағы максимал кернеу бастапқы максимал кернеуден $n=4$ есе аз болған кезде қанша Q жылу бөлінеді?

Жауабы: $Q \approx 0,047$ Дж

45. Индуктивтілігі $L=3$ мГн катушка тізбектей жалғанған екі конденсаторға қосылады (сурет). Сыйымдылығы $C_1=10^{-7}$ Ф конденсатор бастапқыда $U_1=150$ В кернеуге дейін зарядталады, ал сыйымдылығы $C_2=3 \cdot 10^{-7}$ Ф екінші конденсатор разрядталады. Кілтті тұйықтағаннан кейін бұл тізбектегі $I_{\max}$ ток неге тең болады?



Жауабы: $I_{\max}=0,75$ А

46. Идеал тербелмелі контурда катушкадағы ток күшінің тербеліс амплитудасы 5 мА, ал конденсатордағы заряд тербелісінің амплитудасы 2,5 нКл. t уақыт мезетінде катушкадағы ток күші 3 мА болады. Осы уақыт мезетіндегі конденсатордағы зарядты анықтаңыздар.

Жауабы: $q=2$ нКл

1. НЕГІЗГІ ФИЗИКАЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛАР

Вакуумдағы жарық жылдамдығы $c = 2,998 \cdot 10^8$ м/с

Гравитациялық тұрақты $G = 6,67 \cdot 10^{11}$ м³/(кг·с²)

Больцман тұрақтысы $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

Элементар заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Электрлік тұрақты $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м

Магниттік тұрақты $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м

Планк тұрақтысы $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

Электронның тыныштық массасы $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг

Протонның тыныштық массасы $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг

Нейтронның тыныштық массасы $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг

2. ДИЭЛЕКТРЛІК ӨТІМДІЛІК

Су	81
Май (трансформаторлық)	2,2
Парафин	2,0
Слюда	7,0
Шыны	7,0
Фарфор	5,0
Эбонит	3,0

3. ӨТКІЗГІШТЕРДІҢ α ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ КОЭФФИЦИЕНТІ ЖӘНЕ ρ МЕНШІКТІ КЕДЕРГІСІ

Зат	ρ , 20 ⁰ С кезіндегі, нОм·м	α , ⁰ С ⁻¹
Темір	98	$6,2 \cdot 10^{-3}$
Мыс	17	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Алюминий	26	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Графит	$3,9 \cdot 10^3$	$-0,8 \cdot 10^{-3}$

**ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕР МЕН СҰЙЫҚТАРДЫҢ
ТЫҒЫЗДЫҚТАРЫ**
(кг/м³)

Қатты денелер	
Алюминий	2700
Висмут	9800
Вольфрам	19300
Темір	7870
Алтын	19300
Тас тұз	2200
Жез (латунь)	8550
Марганец	7400
Мыс	8930
Никель	8800
Платина	21400
Қорғасын	11300
Күміс	10500
Уран	18700
15° С кезіндегі сұйықтар	
Су (4° С дистилденген су)	1000
Глицерин	1260
Керосин	800
Май (зәйтүн, майлау (смазочное))	900
Сынап	13600
Күкірт көміртегі	1260

ОНДЫҚ ЕСЕЛІ ЖӘНЕ ҮЛЕСТІК БІРЛІКТЕР ПАЙДА БОЛУ ҮШІН ҚОЛДАНЫЛАТЫН ЖАЛҒАУЛАР					
ЕСЕЛІК			ҮЛЕСТІК		
жалғау	белгіленуі	көпмүшелік	жалғау	белгіленуі	көпмүшелік
Экса	Э	10^{18}	Атто	А	10^{-18}
Пета	П	10^{15}	Фемто	ф	10^{-15}
Тера	Т	10^{12}	Пико	п	10^{-12}
Гига	Г	10^9	Нано	н	10^{-9}
Мега	М	10^6	Микро	мк	10^{-6}
Кило	к	10^3	Милли	м	10^{-3}
Гекто	г	10^2	Сант	с	10^{-2}
Дека	да	10^1	Деци	д	10^{-1}

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ

1. *Савельев И. В.* Курс общей физики: Учебное пособие для втузов: в 5 кн.: Кн.2: Электричество и магнетизм. – М.: АСТ: Астрель, 2005. – 336 с. <http://www.orenport.ru/images/doc/833/Saveliev2.pdf>
2. *Трофимова Т. И.* Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2004. – 560с.
3. *Детлаф А. А., Яворский Б. М.* Курс физики: Учебное пособие для втузов. Изд. 6-е, испр. – 607 с. – М: Высшая Школа, 2003.
4. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т III. Электричество. – 2 изд., 1983. – 688 с.
5. *Матвеев А. Н.* Электричество и магнетизм – М.: Оникс 21 век, 2005. §§ 48–51.
6. *Калашиников С. Г.* Электричество. – М.: Физматлит, 2003.
7. *Тамм И. Е.* Основы теории электричества. – М.: Физматлит, 2003. § 77–80.
8. *Парселл Э.* Электричество и магнетизм. Т. 2. – М.: Наука, 1975. https://mipt.ru/dasr/upload/922/f_3kf4ub-arphh81ii9w.pdf
9. *Волькенштейн В. С.* Сборник задач по общему курсу физики для студентов технических вузов Изд. доп., перераб. – 327 с. {Специалист} СПб: СпецЛит, 2002. <https://may.alleng.org/d/phys/phys124.htm>.
10. *Трофимова Т. И., Павлова З. Г.* Сборник задач по курсу физики с решениями: Изд. 2-е, испр. 3-е. – 591 с. – М: Высшая Школа, 2002.
11. *Ю.А. Барков, О.М. Зверев, А.В. Перминов.* Сборник задач по общей физике. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 457 с.
12. *Паршаков, А. Н.* Принципы и практика решения задач по общей физике. Ч. 2: Электромагнетизм: Учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 313 с.
13. *Данилов С. В., Егорова В. А., Кондратьева Т. Н.* Электростатика: Практикум. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. – 56 с.
14. *Физика. Постоянный электрический ток. Электромагнетизм: метод. указания и задания к контрольной работе № 2 /сост. Н. А. Звездина.* Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 81 с.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе.....	3
1. Электростатика.....	6
1.1. Негізгі анықтамалар және формулалар.....	6
1.2. Есептерді шығару мысалдары.....	9
1.3. Өздігінен шығару үшін берілген есептер.....	26
2. Тұрақты ток.....	32
2.1. Негізгі анықтамалар және формулалар.....	32
2.2. Есептерді шығару мысалдары.....	35
2.3. Өздігінен шығару үшін берілген есептер.....	44
3. Электромагнетизм.....	52
3.1. Негізгі анықтамалар және формулалар.....	52
3.2. Есептерді шығару мысалдары.....	59
3.3. Өздігінен шығару үшін берілген есептер.....	79
4. Электромагниттік тербелістер және айнымалы ток	90
4.1. Негізгі анықтамалар және формулалар.....	90
4.2. Есептерді шығару мысалдары.....	94
4.3. Өздігінен шығару үшін берілген есептер.....	103
Негізгі физикалық тұрақтылар және анықтамалық кестелер.....	110
Библиографиялық тізім.....	113

Оқулық басылым

Турлыбекова Гулжан Капасовна
Исмагулова Меруерт Шамкеновна

ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

Есептер шығару құралы

БДБ бастығы

Л. Т. Қасжанова

Редакторы

Т. С. Жақсыбаева

Компьютерлік беттеу

Д. Ш. Тажиева

Басуға қол қойылды 28.07.2022 ж.

Таралымы 50 дана. Пішімі 60x84x 1/16.

№ 1 баспаханалық қағаз

Е.-б.т. 7,2. Ш.б.т. 6,7. Тапсырыс № 1010

Бағасы келісімді

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық
зерттеу университеті басылымы

Polytech баспасы

Алматы қ., Сәтбаев көшесі, 22

ISBN 978-601-323-313-0



9 786013 233130