МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО - ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ І КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ З ФІЗИКИ

Розділ «Електрика та магнетизм»

Харків 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ І КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ З ФІЗИКИ

Розділ «Електрика і магнетизм»

Затверджено методичною
Радою університету
протокол №____ від _______

Харків ХНАДУ 2018

Укладачі: Гаврилова Т. В.
Єрьоміна О. Ф.
Шиндерук С.О.
Сабокар О.С.
Стрельнікова В.А.

Кафедра фізики

Те, що міститься у методичних вказівках, відповідає програмі курсу фізики для вищих навчальних закладів

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Перша частина методичних вказівок охоплює розділи, яки вивчаються в першому семестрі курсу фізики: механіка, молекулярна фізика і термодинаміка.

Кожна робота включає 15 завдань. Номер варіанта визначається номером прізвища студента в журналі групи. Номери завдань, які необхідно вирішити, представлені в таблиці 1. При виконанні контрольних робіт необхідно дотримуватися таких правил:

1) контрольні роботи слід виконувати в шкільному зошиті акуратно, залишаючи поля для зауважень викладача;

2) на титульному аркуші вказати найменування дисципліни, шифр групи, прізвище та ініціали студента;

3) умови задач свого варіанту переписувати повністю, а дані виписати окремо, при цьому числові значення повинні бути переведені в СІ;

4) для пояснення рішення задачі представляти, де це потрібно, виконаний акуратно схематичне креслення;

5) вирішення завдань і використовувані формули супроводжувати пояснення;

6) при виконанні контрольної роботи в поясненнях до задачі вказати ті основні закони і формули, на яких базується рішення даного завдання;

7) рекомендується рішення задачі спочатку зробити в загальному вигляді, тобто тільки в буквених позначеннях; слід пояснити буквені позначення, що використовуються при написанні формул;

8) при отриманні розрахункової формули, потрібної для вирішення конкретного завдання, приводити хід її виведення;

9) обчислення проводити шляхом підстановки заданих числових значень в розрахункову формулу;

10) константи фізичних величин та інші довідкові дані вибираються з таблиці додатка.

Контрольні роботи, що будуть представлені без дотримання зазначених вище правил оформлення, а також роботи, виконані не за своїм варіантом, не будуть зараховані.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики: У 3 т. / За ред. І.М.Кучерука. - 2-ге вид., випр. - К.: Техніка, 2006. Т.1: / І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик. - 452 с.

2. В.П. Курінний та ін.; За заг. ред. І.П. Гаркуші. - 2-ге вид.,стер. - К.: Техніка, 2004. - 560 с.

3. Куліш В.В., Соловйов А.М., Кузнєцова О.Я., Кулішенко В.М. Фізика для інженерних спеціальностей. Кредитно-модульна система. Частина 1. - К.: НАУ, 2004. - 456 с.

4. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1./ И.В. Савельев- М.: Наука, 1982.

5. Трофимова Т.И. Курс физики./ Т.И. Трофимова- М.: Висшая школа, 1985.

6. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Милковская Л.Б. Курс физики. Т.1-3./ А.А. Детлаф., Б.М. Яворский, Л.Б Милковская - М.: Высшая школа, 1979.

Таблиця 1 - **Номери завдань за варіантами**

Варіант	Номери завдань
01	6, 14, 22, 40, 48, 57, 65, 71, 83, 99, 106, 117, 125, 134, 150
02	2, 13, 21, 34, 47, 60, 66, 78, 89, 91, 103, 116, 124, 135, 148
03	7, 16, 23, 31, 44, 55, 68, 77, 90, 92, 101, 118, 127, 136, 143
04	4, 11, 30, 33, 42, 56, 67, 75, 88, 93, 105, 111, 128, 139, 147
05	8, 15, 29, 32, 41, 58, 63, 76, 87, 100, 110, 119, 121, 137, 146
06	1, 18, 26, 39, 45, 54, 62, 73, 84, 97, 109, 120, 122, 133, 145
07	9, 12, 27, 36, 50, 51, 64, 80, 83, 95, 108, 112, 126, 140, 144
08	3, 20, 28, 35, 46, 59, 69, 72, 81, 94, 102, 114, 129, 138, 141
09	10, 17, 25, 38, 49, 53, 61, 74, 82, 96, 104 117 125, 131, 149
10	5, 19, 24, 37, 43, 52, 70, 79, 85, 98, 101, 116, 126, 138, 142
11	3, 14, 28, 39, 41, 52, 67, 80, 85, 96, 101, 113, 126, 137, 142
12	1, 18, 22, 35, 49, 53, 68, 76, 87, 95, 103, 114, 127, 132, 150
13	2, 20, 30, 34, 48, 51, 69, 75, 86, 93, 109, 120, 121, 133, 146
14	6, 11, 23, 38, 42, 58, 64, 77, 88, 00, 108, 115, 123, 131, 147
15	10, 12, 25, 31, 47, 59, 66, 78, 90, 94, 107, 112, 130, 135, 141
16	7, 15, 21, 32, 46, 60, 63, 79, 84, 92, 102, 116, 124, 140, 148
17	4, 16, 24, 40, 45, 57, 62, 73, 89, 91, 104, 118, 129, 139, 145
18	8, 13, 29, 37, 44, 56, 65, 71, 82, 97, 105, 111, 122, 138, 149
19	5, 17, 26, 33, 50, 54, 61, 72, 83, 99, 110, 119, 125, 134, 143
20	9, 19, 27, 36, 43, 55, 70, 74, 81, 98, 106, 117, 128, 136, 144
21	9, 12, 23, 35, 49, 54, 66, 80, 81, 98, 103, 112, 128, 133, 146
22	1, 15, 30, 36, 48, 52, 67, 73, 84, 99, 108, 115, 125, 140, 141
23	10, 13, 24, 37, 45, 60, 61, 72, 88, 96, 102, 119, 124, 138, 147
24	7, 19, 29, 38, 44, 56, 62, 71, 83, 95, 101, 113, 128, 131, 144
25	5, 11, 26, 39, 50, 57, 68, 74, 82, 97, 104, 114, 122, 138, 147
26	6, 17, 21, 40, 42, 58, 63, 75, 89, 94, 110, 120, 130, 140, 146
27	4, 16, 22, 31, 43, 59, 70, 78, 87, 100, 105, 115, 123, 137, 148
28	3, 18, 25, 32, 46, 55, 64, 77, 90, 91, 106, 112, 125, 132, 142
29	8, 14, 27, 33, 41, 53, 69, 76, 85, 92, 109, 116, 121, 136, 150
30	2, 20, 28, 34, 47, 51, 65, 79, 86, 93, 107, 118, 124, 139, 141

ОСНОВНІ ФОРМУЛИ

РОЗДІЛ 1. ЕЛЕКТРОСТАТИКА

Закон Кулона. Взаємодія заряджених тіл. Напруженість електричного поля

Закон Кулона

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon r^2},$$

де F- сила взаємодії двох точкових зарядів q_1 і q_2; r- відстань між зарядами; ε- діелектрична проникність середовища; ε_0- електрична постійна:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}\ \text{Ф/м} = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \text{Ф/м}$$

Закон збереження заряду

$$\sum_{i=1}^{n} q_i = \text{const},$$

де $\sum_{i=1}^{n} q_i$ - алгебраїчна сума зарядів, що входять в ізольовану систему, n – число зарядів.

Напруженість електричного поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q},$$

Де $\vec{F}$ — сила, що діє на точковий позитивний заряд q, поміщений у дану точку поля.

Сила, що діє на точковий заряд q, поміщений в електричне поле

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Потік вектора напруженості $\vec{E}$ електричного поля:
а) через довільну поверхню S, поміщену в неоднорідне поле

$$\Phi_E = \int_S E\cos\alpha dS, \text{ або } \Phi_E = \int_S E_n dS,$$

де α — кут між вектором напруженості $\vec{E}$ й нормаллю $\vec{n}$ до елемента поверхні; dS — площа елемента поверхні; E_n — проекція вектора напруженості на нормаль;

б) через плоску поверхню, поміщену в однорідне електричне поле

$$\Phi_E = ES\cos\alpha$$

Потік вектора напруженості $\vec{E}$ через замкнуту поверхню

$$\Phi_E = \oint_S E_n dS,$$

де інтегрування ведеться по всій поверхні.

Теорема Остроградського–Гаусса: потік вектора напруженості $\vec{E}$ через будь-яку замкнуту поверхню, що охоплює заряди q_1, q_2,... q_n

$$\Phi_E = \frac{1}{\varepsilon_0\varepsilon}\sum_{i=1}^{n} q_i,$$

де $\sum_{i=1}^{n} q_i$ - алгебраїчна сума зарядів, що знаходяться усередині замкнутої поверхні; n — число зарядів.

Напруженість електричного поля, створюваного точковим зарядом q на відстані r від заряду

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\varepsilon \cdot r^2}$$

Напруженість електричного поля, створюваного металевою сферою радіусом R, що несе заряд q, на відстані r від центра сфери:
а) усередині сфери *($r<R$)*

$$E=0;$$

б) на поверхні сфери *($r=R$)*

$$E=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\varepsilon R^2};$$

в) поза сферою *($r>R$)*

$$E=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\varepsilon\cdot r^2}$$

Принцип суперпозиції (накладення) електричних полів, відповідно до якого напруженість $\vec{E}$ результуючого поля, створеного двома (і більше) точковими зарядами, дорівнює векторної (геометричної) сумі напруженостій полів, що складаються:

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

У випадку двох електричних полів з напруженостями $\vec{E}_1$ й $\vec{E}_2$ модуль вектора напруженості

$$E=\sqrt{E^2{}_1+E^2{}_2+2E_1E_2\cos\alpha},$$

де α — кут між векторами $\vec{E}_1$ й $\vec{E}_2$.

Напруженість поля, створюваного нескінченно довгої рівномірно зарядженою ниткою (або циліндром) на відстані r від її осі

$$E=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2\tau}{\varepsilon\cdot r},$$

де (τ - лінійна густина заряду).

Лінійна густина заряду є величина, рівна відношенню заряду, розподіленого по нитці, до довжини нитки (циліндра)

$$\tau = \frac{\Delta q}{\Delta l}$$

Напруженість поля, створюваного нескінченної рівномірно зарядженою площиною

$$E = \frac{1}{2}\frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon},$$

де (σ - поверхнева густина заряду.

Поверхнева густина заряду є величина, рівна відношенню заряду, розподіленого по поверхні, до площі цієї поверхні

$$\sigma = \frac{\Delta q}{\Delta S}$$

Напруженість поля, створюваного двома паралельними нескінченними рівномірно й різнойменно зарядженими площинами, з однакової по модулі поверхневою густиною σ заряду (поле плоского конденсатора)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon}$$

Наведена формула справедлива для обчислення напруженості поля між пластинами плоского конденсатора (у середній частині його) тільки в тому випадку, якщо відстань між пластинами багато менше лінійних розмірів пластин конденсатора.

Циркуляція вектора напруженості електричного поля є величина, чисельно рівна роботі з переміщення одиничного точкового позитивного заряду уздовж замкнутого контуру. Циркуляція виражається інтегралом по замкненому контурі $\oint E_l dl$, де E_l — проекція вектора напруженості $\vec{E}$ в даній точці контуру на напрямок дотичної до контуру в тій же точці.

У випадку електростатичного поля циркуляція вектора напруженості дорівнює нулю

$$\oint_l E_l dl = 0$$

Потенціал. Енергія системи електричних зарядів.

Потенціал електричного поля є величина, рівна відношенню потенційної енергії точкового позитивного заряду, поміщеного в дану точку поля, до цього заряду

$$\varphi = \frac{W_\text{п}}{q},$$

або потенціал електричного поля є величина, рівна відношенню роботи сил поля по переміщенню точкового позитивного заряду з даної точки поля в нескінченність, до цього заряду

$$\varphi = \frac{A}{q}$$

Потенціал електричного поля в нескінченності умовно прийнятий рівним нулю.

Відзначимо, що при переміщенні заряду в електричному полі робота $A_\text{зс}$ зовнішніх сил дорівнює по модулі роботі $A_\text{сп}$ сил поля й протилежна їй за знаком

$$A_\text{зс} = -A_\text{сп}$$

Потенціал електричного поля, створюваний точковим зарядом q на відстані r від заряду

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}$$

Потенціал електричного поля, створюваного металевою сферою радіусом R, що несе заряд q, на відстані r від центра сфери

а) усередині сфери ($r<R$)

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R}$$

б) на поверхні сфери ($r=R$)

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R}$$

в) поза сферою *(r>R)*

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}$$

У всіх наведених для потенціалу зарядженої сфери формулах (ε_0 є діелектрична проникність однорідного безмежного діелектрика, що оточує сферу.

Потенціал електричного поля, створеного системою n точкових зарядів, у даній точці відповідно до принципу суперпозиції електричних полів дорівнює алгебраїчній сумі потенціалів φ_1, φ_2, ... , φ_n, створюваних окремими крапковими зарядами q_1, q_2, ...,q_n

$$\varphi = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i$$

Енергія W взаємодії системи крапкових зарядів q_1, q_2, ..., q_n визначається роботою, що ця система зарядів може зробити при видаленні їх відносно один одного в нескінченність, і виражається формулою

$$W = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} q_i \varphi_i ,$$

де φ_i — потенціал поля, створюваного всіма n–1 зарядами (за винятком n-го) у точці, де розташований заряд q_i.

Потенціал пов'язаний з напруженістю електричного поля співвідношенням

$$\vec{E} = -\mathrm{grad}\varphi$$

У випадку електричного поля, що має сферичну симетрію, цей зв'язок виражається формулою

$$\vec{E} = -\frac{d\varphi}{dr}\frac{\vec{r}}{r} ,$$

або в скалярній формі

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

У випадку однорідного поля, тобто поля, напруженість якого в кожній точці його однакова як по модулі, так і по напрямку

$$E=\frac{\varphi_2-\varphi_1}{d},$$

де φ_1 і φ_2 — потенціали точок двох еквіпотенціальних поверхонь; d — відстань між цими поверхнями уздовж електричної силової лінії.

Робота, що виконується електричним полем при переміщенні точкового заряду q з однієї точки поля, що має потенціал φ_1, в іншу, що має потенціал φ_2

$$A=q(\varphi_1—\varphi_2),\ \text{або}\ A=q\int_L E_l dl\ ,$$

де E_l — проекція вектора напруженості $\vec{E}$ на напрямок переміщення; dl — переміщення.

У випадку однорідного поля остання формула приймає вид

$$A=qElcos\alpha,$$

де l — переміщення; α — кут між напрямками вектора $\vec{E}$ й переміщення $\vec{l}$.

Електричний диполь. Властивості діелектриків. Електричне зміщення

Диполь є система двох точкових електричних зарядів рівних по розміру й протилежних за знаком, відстань l між якими значно менше відстані r від центра диполя до точок спостереження.

Вектор $\vec{l}$, проведений від негативного заряду диполя до його позитивного заряду, називається плечем диполя.

Добуток заряду $|q|$ диполя на його плече $\vec{l}$ називається електричним моментом диполя

$$\vec{p} = |q|\vec{l}$$

Напруженість поля диполя

$$E = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^3}\sqrt{1+3\cos^2\alpha},$$

де p - електричний момент диполя; r - модуль радіуса-вектора, проведеного від центра диполя до точки, напруженість поля в якій нас цікавить; α - кут між радіусом-вектором $\vec{r}$ і плечем $\vec{l}$ диполя.

Напруженість поля диполя в точці, що лежить на осі диполя (α=0)

$$E = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^3}$$

і в точці, що лежить на перпендикулярі до плеча диполя, встановленим з його середини ($\alpha = \frac{\pi}{2}$)

$$E = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^3}$$

Потенціал поля диполя

$$\varphi = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}\cos\alpha$$

Потенціал поля диполя в точці, що лежить на осі диполя (α=0)

$$\varphi = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$$

і в точці, що лежить на перпендикулярі до плеча диполя, встановленому з його середини ($\alpha = \pi/2$), $\varphi = 0$.

Механічний момент, що діє на диполь із електричним моментом $\vec{p}$, поміщений в однорідне електричне поле з напруженістю $\vec{E}$

$$\vec{M} = \left[\vec{p}\vec{E}\right], \text{ або } M = pE\sin\alpha,$$

де α - кут між напрямками векторів $\vec{p}$ і $\vec{E}$.

У неоднорідному електричному полі крім механічного моменту (пари сил) на диполь діє ще деяка сила. У випадку поля, що має симетрію щодо осі *x*, сила виражається співвідношенням

$$F_x = p\frac{\partial E}{\partial x}\cos\alpha,$$

де $\dfrac{\partial E}{\partial x}$ - частинна похідна напруженості поля, що характеризує ступінь неоднорідності поля в напрямку осі *x*.

При $\alpha > \pi/2$ сила F_x позитивна. Це значить, що під дією її диполь втягується в область сильного поля.

Поляризованість (при однорідній поляризації)

$$\vec{P} = \frac{1}{\Delta V}\sum_{i=1}^{N}\vec{P}_i,$$

де p_i - електричний момент окремої (*i*-й) молекули (або атома); *N* - число молекул, що містяться в об'ємі ΔV.

Зв'язок поляризованості з напруженістю *E* середнього макроскопічного поля в діелектрику

$$P = æ\varepsilon_0 E,$$

де æ - діелектрична сприйнятливість; ε_0 - електрична стала.

Зв'язок діелектричної проникності æ с діелектричною сприйнятливістю

$$\varepsilon = 1 + æ$$

Напруженість *E* середнього макроскопічного поля в діелектрику пов'язана з напруженістю E_0 зовнішнього поля співвідношеннями

$$E = E_0/\varepsilon \ \text{ і } \ E = E_0 - P/\varepsilon_0$$

Електричне зміщення $\vec{D}$ пов'язане з напруженістю $\vec{E}$ електричного поля співвідношенням

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}.$$

Це співвідношення справедливо тільки для ізотропних діелектриків.

Потік вектора електричного зміщення виражається аналогічно потоку вектора напруженості електричного поля:

а) у випадку однорідного поля потік крізь плоску поверхню

$$\Phi_D = D \Delta S \cos\alpha$$

б) у випадку неоднорідного поля й довільної поверхні

$$\Phi_D = \int D_n dS,$$

де D_n — проекція вектора $\vec{D}$ на напрямок нормалі до елемента поверхні, площа якої дорівнює dS.

Теорема Остроградського-Гаусса: Потік вектора електричного зміщення крізь будь-яку замкнуту поверхню, що охоплює заряди q_1, q_2, ...,q_n

$$\Phi_D = \sum_{i=1}^{n} q_i,$$

де n - число зарядів (зі своїм знаком), що знаходяться усередині замкнутої поверхні.

Електрична ємність. Конденсатори. Енергія електричного поля

Електрична ємність відокремленого провідника або конденсатора

$$C = \frac{\Delta q}{\Delta \varphi},$$

де Δq - заряд, наданий провіднику (конденсатору); $\Delta\varphi$ - зміна потенціалу, викликана цим зарядом.

Електрична ємність відокремленої провідної сфери радіусом R, що перебуває в нескінченному середовищі з діелектричною проникністю ε

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R$$

Якщо сфера порожня й заповнена діелектриком, то електроємність її від цього не змінюється.

Електрична ємність плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

де S - площа пластин (кожної пластини); d - відстань між ними; ε - діелектрична проникність діелектрика, що заповнює простір між пластинами.

Електрична ємність плоского конденсатора, заповненого n шарами діелектрику товщиною d_i кожний з діелектричними проникностями ε (шаровий конденсатор)

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2} + \ldots + \frac{d_n}{\varepsilon_n}}$$

Електрична ємність сферичного конденсатора (дві концентричні сфери радіусами R_1 і R_2, простір між якими заповнено діелектриком з діелектричною проникністю ε)

$$C = \frac{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

Електрична ємність циліндричного конденсатора (два коаксіальних циліндри довжиною l і радіусами R_1 і R_2, простір між якими заповнено діелектриком з діелектричною проникністю ε)

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon l}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

Електрична ємність n послідовно з'єднаних конденсаторів
а) у загальному випадку

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+...+\frac{1}{C_n},$$

де n - число конденсаторів
б) у випадку двох конденсаторів

$$C=\frac{C_1C_2}{C_1+C_2},$$

в) у випадку n однакових конденсаторів з електроємністю C_1 кожний

$$C=\frac{C_1}{n},$$

Електрична ємність паралельно з'єднаних конденсаторів
а) у загальному випадку

$$C=C_1+C_2+...+C_n,$$

б) у випадку двох конденсаторів

$$C=C_1+C_2,$$

в) у випадку n однакових конденсаторів з електроємністю C_1 кожний

$$C=nC_1$$

Енергія зарядженого провідника виражається через заряд q, потенціал φ і електричну ємність C провідника наступними співвідношеннями

$$W=\frac{1}{2}CU^2=\frac{1}{2}\frac{q^2}{C}=\frac{1}{2}q\varphi$$

Енергія зарядженого конденсатора

$$W = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}qU,$$

де C - електрична ємність конденсатора; U - різниця потенціалів на його пластинах.

Об'ємна густина енергії (енергія електричного поля, що доводиться на одиниці об'єму)

$$w = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon E^2 = \frac{1}{2}ED,$$

де E - напруженість електричного поля в середовищі з діелектричною проникністю ε; D - електричне зміщення.

РОЗДІЛ 2 ПОСТІЙНИЙ СТРУМ

Основні закони постійного струму

Сила постійного струму

$$I = \frac{q}{t},$$

де q - кількість електрики, що пройшло через перетин провідника за час t.

Густина електричного струму є векторна величина, рівна відношенню сили струму I до площі S поперечного перерізу провідника

$$\vec{j} = \frac{I}{S}\vec{k},$$

де $\vec{k}$ - одиничний вектор, по напрямку співпадаючий з напрямком руху позитивних носіїв заряду.

Опір однорідного провідника

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

де ρ - питомий опір речовини провідника; *l* - його довжина.

Провідність *G* провідника й питома провідність γ речовини

$$G = \frac{1}{R}, \quad \gamma = \frac{1}{\rho}.$$

Залежність питомого опору від температури

$$\rho = \rho_0 \left(1 + \alpha \cdot t\right),$$

де ρ і ρ_0 - питомі опори відповідно при *t* і 0 ˚С;
t - температура (по шкалі Цельсія); α - температурний коефіцієнт опору.

Опір з’єднання провідників
а) послідовного

$$R = \sum_{i=1}^{n} R_i,$$

б) паралельного

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i},$$

Тут R_i - опір *i*-го провідника; *n* - число провідників.

Закон Ома
а) для неоднорідної ділянки кола

$$I = \frac{\left(\varphi_1 - \varphi_2\right) \pm \varepsilon_{12}}{R} = \frac{U}{R}$$

б) для однорідної ділянки кола

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R},$$

в) для замкнутого кола

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = 0; \quad I = \frac{\varepsilon}{R},$$

Тут (φ_1-φ_2) – різниця потенціалів на кінцях ділянки кола; ε_{12} - ЕРС джерел струму, що входять у ділянку; *U* - напруга на ділянці кола; *R* - опір кола (ділянки кола); ε – ЕРС всіх джерел струму кола.

Правила Кірхгофа

Перше правило: алгебраїчна сума сил струмів, що сходяться у вузлі, дорівнює нулю

$$\sum_{i=1}^{n} I_i = 0,$$

де *n* - число струмів, що сходяться у вузлі.

Друге правило: у замкнутому контурі алгебраїчна сума напруг на всіх ділянках контуру дорівнює алгебраїчній сумі електрорушійних сил

$$\sum_{i=1}^{n} I_i R_i = \sum_{i=1}^{k} \varepsilon_i ,$$

де I_i - сила струму на *i*-й ділянці; R_i - активний опір на і-й ділянці; ε_i – ЕРС джерел струму на *i*-й ділянці; *n* - число ділянок, що містять активний опір; *k*- число ділянок, що містять джерела струму.

Робота, виконана електростатичним полем і сторонніми силами в ділянці кола постійного струму за час *t*

$$A=IUt$$

Потужність струму

$$P=IU$$

Закон Джоуля - Ленца

$$Q=I^2Rt,$$

де *Q* - кількість теплоти, що виділяється в ділянці кола за час *t*.

Закон Джоуля - Ленца справедливий за умови, що ділянка ланцюга нерухлива й у ньому не відбуваються хімічні перетворення.

Струм у металах і газах

Густина струму j, середня швидкість $<v>$ упорядкованого руху носіїв заряду і їхня концентрація n зв'язані співвідношенням

$$j=en<v>,$$

де e - елементарний заряд.

Закон Ома в диференціальній формі

$$\vec{j} = \gamma \vec{E},$$

де γ - питома провідність провідника; $\vec{E}$ - напруженість електричного поля.

Закон Джоуля - Ленца в диференціальній формі

$$\omega=\gamma E^2,$$

де ω - об'ємна щільність теплової потужності.

Питома електрична провідність

$$\gamma = \frac{1}{2}\frac{e^2 m\langle l \rangle}{nu},$$

де e и m - заряд і маса електрона; n - концентрація електронів; $<l>$- середня довжина їхнього вільного пробігу; i - середня швидкість хаотичного русі електронів.

Термоелектрорушійна сила, що виникає в термопарі

$$\varepsilon = \alpha\,(T_1 - T_2),$$

де α - питома термо-ЕРС; (T_1- T_2) - різниця температур спаїв термопари.

Рухливість іонів

$$b = \frac{\langle v \rangle}{E},$$

де $<v>$ - середня швидкість упорядкованого руху іонів; E - напруженість електричного поля.

Закон Ома в диференціальній формі для електролітів і газів при самостійному розряді в області, далекої від насичення

$$\vec{j} = qn\left(b_+ + b_-\right)\vec{E},$$

де q -заряд іона; n- концентрація іонів; b_+ і b_- - рухливості відповідно позитивних і негативних іонів.

Густина струму насичення

$$j_{\text{нас}} = qn_0 d,$$

де n_0- число пар іонів, створюваних іонізатором в одиниці об'єму в одиницю часу; d - відстань між електродами ($n_0 = \dfrac{N}{Vt}$, де N - число пар іонів, створюваних іонізатором за час t у просторі між електродами; V - об'єм цього простору).

РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Магнітне поле постійного струму. Сила Ампера. Сила Лоренца.

Закон Біо-Савара-Лапласа

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}\frac{\left[d\vec{l}\vec{r}\right]}{r^3}$$

де $d\vec{B}$ — магнітна індукція поля, створюваного елементом $d\vec{l}$ провідника зі струмом; μ — магнітна проникність; μ_0 — магнітна постійна ($\mu_0 = 4\pi\ 10^{-7}$ Гн/м); $d\vec{l}$ — вектор, рівний по модулі довжині dl провідника й співпадаючий по напрямку зі струмом (елемент провідника); I — сила струму; $\vec{r}$ — радіус-вектор, проведений від середини елемента провідника до крапки, магнітна індукція в якій визначається.

Модуль вектора $d\vec{B}$ виражається формулою

$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I \sin\alpha}{r^2} dl,$$

де α — кут між векторами $d\vec{l}$ й $\vec{r}$.

Магнітна індукція $\vec{B}$ пов'язана з напруженістю $\vec{H}$ магнітного поля (у випадку однорідного, ізотропного середовища) співвідношенням

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$$

або у вакуумі

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}.$$

Магнітна індукція в центрі кругового провідника зі струмом

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2} \cdot \frac{I}{R},$$

де R — радіус кривизни провідника.

Магнітна індукція поля, створюваного нескінченно довгим прямим провідником зі струмом

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \cdot \frac{I}{r},$$

де r - відстань від осі провідника.

Магнітна індукція поля, створюваного відрізком провідника

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I}{r_0} \left(\cos\varphi_1 - \cos\varphi_2 \right)$$

При симетричному розташуванні кінців провідника щодо крапки, у якій визначається магнітна індукція

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \cdot \frac{I}{r_0} \cos\varphi$$

Магнітна індукція поля, створюваного соленоїдом у середній його частині (або тороида на його осі)

$$B = \mu_0 \mu n I \,,$$

де n — число витків, що доводяться на одиницю довжини соленоїда; I — сила струму в одному витку.

Принцип суперпозиції магнітних полів: магнітна індукція $\vec{B}$ результуючого поля дорівнює векторній сумі магнітних індукцій $\vec{B}_1$, $\vec{B}_2, \ldots, \vec{B}_n$ полів, що складаються

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^{n} \vec{B}_i$$

В окремому випадку накладення двох полів

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

а модуль магнітної індукції

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

де α — кут між векторами $\vec{B}_1$ й $\vec{B}_2$.

Закон Ампера. Сила, що діє на провідник зі струмом у магнітному полі

$$\vec{F} = I \left[\vec{l} \vec{B} \right],$$

де I — сила струму; $\vec{l}$ — вектор, рівний по модулі довжині l провідника й співпадаючий по напрямку зі струмом; $\vec{B}$ — магнітна індукція поля.

Модуль вектора $\vec{F}$ визначається вираженням

$$F = BI\,l \sin\alpha,$$

де α — кут між векторами $\vec{l}$ й $\vec{B}$.

Сила взаємодії двох прямих нескінченно довгих паралельних провідників зі струмами I_1 і I_2, що перебувають на відстані d друг від друга, розрахована на відрізок провідника довжиною l виражається формулою

$$F=\frac{\mu_0\mu}{2\pi}\frac{I_1I_2}{d}l$$

Магнітний момент контуру зі струмом

$$\vec{p}_m = I\vec{S},$$

де $\vec{S}$ — вектор, рівний по модулі площі S, охоплюваної контуром, і співпадаючий по напрямку з нормаллю до його площини.

Механічний момент, що діє на контур зі струмом, поміщений в однорідне магнітне поле

$$\vec{M} = \left[\vec{p}_m\vec{B}\right].$$

Модуль механічного моменту

$$M=p_mB\sin\alpha,$$

де α — кут між векторами $\vec{p}_m$ й $\vec{B}$.

Потенційна (механічна) енергія контуру зі струмом у магнітному полі

$$W_p = \vec{p}_m\cdot\vec{B} = p_mB\cos\alpha.$$

Сила, що діє на контур зі струмом у магнітному полі (що змінюється уздовж осі x)

$$F=p_m\frac{\partial B}{\partial x}\cos\alpha,$$

де $\frac{\partial B}{\partial x}$ — зміна магнітної індукції уздовж осі Ox, розраховане на одиницю довжини; α — кут між векторами $\vec{p}_m$ й $\vec{B}$.

Сила $\vec{F}$, що діє на заряд q, який рухається зі швидкістю $\vec{v}$ в магнітному полі з індукцією $\vec{F}$ (сила Лоренца), виражається формулою

$$\vec{F} = q\left[\vec{v}\vec{B}\right], \text{ або } F=|q|vB\sin\alpha,$$

де α— кут, утворений вектором швидкості $\vec{v}$ частки, що рухається, і $\vec{B}$ вектором індукції магнітного поля.

закон повного струму. Магнітний потік. Електромагнітна індукція. Індуктивність. Енергія магнітного поля

Циркуляція вектора магнітної індукції $\vec{B}$ уздовж замкнутого контуру

$$\oint_L B_l dl,$$

де B_l — проекція вектора магнітної індукції на напрямок елементарного переміщення $d\vec{l}$ уздовж контуру L.

Циркуляція вектора напруженості $\vec{H}$ уздовж замкнутого контуру

$$\oint_H H_l dl$$

Закон повного струму (для магнітного поля у вакуумі)

$$\oint_L B_l dl = \mu_0 \sum_{i=1}^{n} I_i,$$

де μ_0 — магнітна постійна; $\sum_{i=1}^{n} I_i$ - алгебраїчна сума струмів, охоплюваних контуром; n — число струмів.

Закон повного струму (для довільного середовища)

$$\oint_l H_l dl = \sum_{i=1}^{n} I_i$$

Магнітний потік Ф через плоский контур площею S
а) у випадку однорідного поля

$$\Phi = BS \cos \alpha; \text{ або } \Phi = B_n S,$$

де α — кут між вектором нормалі $\vec{n}$ до площини контуру й вектором магнітної індукції $\vec{B}$; B_n — проекція вектора $\vec{B}$ на нормаль $\vec{n}$ ($B_n = B \cos \alpha$);
б) у випадку неоднорідного поля

$$\Phi = \int_S B_n dS,$$

де інтегрування ведеться у всій поверхні S.

Потокозчеплення, тобто повний магнітний потік, зчеплений з усіма витками соленоїда або тороїда

$$\psi = N\Phi,$$

де Ф — магнітний потік через один виток; N — число витків соленоїда або тороїда.

Магнітна проникність μ, феромагнетика пов'язана з магнітною індукцією B поля в ньому й напруженістю H поля, що намагнічує, співвідношенням

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H}$$

Робота з переміщення замкнутого контуру зі струмом у магнітному полі

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

де $\Delta\Phi$ — зміна магнітного потоку, що пронизує поверхню, обмежену контуром; I — сила струму в контурі.

Основний закон електромагнітної індукції (закон Фарадея-Максвелла)

$$\varepsilon_i = -N\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\psi}{dt},$$

де ε_i — електрорушійна сила індукції; N — число витків контуру; Ψ — потокозчеплення.

Окремі випадки застосування основного закону електромагнітної індукції:

а) різниця потенціалів U на кінцях провідника довжиною l, що рухається зі швидкістю υ в однорідному магнітному полі

$$U=Blv\sin\alpha,$$

де α — кут між напрямками векторів швидкості $\vec{v}$ й магнітної індукції $\vec{B}$;

б) електрорушійна сила індукції ε_i, що виникає в рамці, що містить N витків, площею S, при обертанні рамки з кутовою швидкістю ω в однорідному магнітному полі з індукцією B

$$\varepsilon_i=BNS\omega\sin\omega t,$$

де ωt — миттєве значення кута між вектором $\vec{B}$ і вектором нормалі $\vec{n}$ до площини рамки.

Кількість електрики q, що протікає в контурі

$$q=\frac{\Delta\psi}{R},$$

де R — опір контуру; $\Delta\Psi$ — зміна потокозчеплення.

Електрорушійна сила самоіндукції ε_i, що виникає в замкнутому контурі при зміні сили струму в ньому

$$\varepsilon_i = -L\frac{dI}{dt}, \text{ або } \langle\varepsilon_i\rangle = -L\frac{\Delta I}{\Delta t},$$

де L — індуктивність контуру.

Потокозчеплення контуру

$$\Psi=LI,$$

де L — індуктивність контуру.

Індуктивність соленоїда (тороїда)

$$L=\mu_0\mu n^2 V$$

У всіх випадках обчислення індуктивності соленоїда (тороїда) із сердечником по наведеній формулі для визначення магнітної проникності варто користуватися формулою

$$\mu=\frac{B}{\mu_0 H}$$

Миттєве значення сили струму I у колі, що володіє активним опором R і індуктивністю L:
а) після замикання кола

$$I=\frac{\varepsilon}{r}\left(1-e^{-(R/L)t}\right),$$

де ε - ЕРС джерела струму; t - час, що пройшов після замикання ланцюга;
б) після розмикання кола

$$I=I_0\, e^{-(R/L)t},$$

де I_0 — сила струму в колі при $t=0$, t— час, що пройшов з моменту розмикання ланцюга.

Енергія W магнітного поля, створюваного струмом у замкнутому контурі індуктивністю L, визначається формулою

$$W=\frac{1}{2}LI^2,$$

де I — сила струму в контурі.

Об'ємна (просторова) густина енергії однорідного магнітного поля (наприклад, полючи довгого соленоїда)

$$w=\frac{\mu_0\mu H^2}{2}=\frac{B^2}{2\mu_0\mu}$$

Електромагнітні коливання й хвилі. Магнітні властивості речовини

Формула Томсона. Період власних коливань у контурі без активного опору

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

де L — індуктивність контуру; C — його електроємність.

Зв'язок довжини електромагнітної хвилі λ з періодом T и частотою ν коливань

$$\lambda = cT, \text{ або } \lambda = \frac{c}{\nu},$$

де c — швидкість електромагнітних хвиль у вакуумі ($c=3\cdot10^8$ м/с).

Швидкість електромагнітних хвиль у середовищі

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}},$$

де ε - діелектрична проникність; μ - магнітна проникність середовища.

Намагніченість $\vec{J}$ — величина, рівна відношенню магнітного моменту малого об'єму ΔV речовини до цього об'єму

$$\vec{J} = \frac{I}{\Delta V}\sum_{i=1}^{N}\vec{p}_{mi},$$

де $\vec{p}_{mi}$ — магнітний момент окремої (i-й) молекули; N — число молекул в об'ємі ΔV.

Намагніченість $\vec{J}$ в ізотропному магнетику пропорційна напруженості магнітного поля $\vec{H}$

$$\vec{J} = \chi\vec{H},$$

де χ - магнітна сприйнятливість (безрозмірна величина).

Питома магнітна сприйнятливість $\chi_{уд}$ пов'язана з магнітною сприйнятливістю χ співвідношенням

$$\chi_{уд}=\chi/\rho,$$

де ρ - густина речовини.

Молярна магнітна сприйнятливість χ_m пов'язана з магнітною сприйнятливістю χ співвідношенням

$$\chi_m=\frac{\mu}{\rho}\chi \ ,$$

де μ - молярна маса речовини.

Магнетон Бору μ_B — елементарний магнітний момент — визначається формулою

$$\mu_B=e\hbar/(2m_e),$$

де $\hbar$ — постійна Планка; e — елементарний заряд; m_i — маса електрона.

Магнітна індукція $\vec{B}$, напруженість $\vec{H}$ і намагніченість $\vec{J}$ в ізотропному магнетику зв'язані співвідношенням

$$\vec{B}=\mu_0\left(\vec{H}+\vec{J}\right),$$

де μ_0 — магнітна постійна.

У неоднорідному магнітному полі на магнетик діє деяка сила. У випадку поля, що володіє симетрією щодо осі x, сила, що діє на малий об'єм dV речовини з магнітною сприйнятливістю χ виражається співвідношенням

$$dF_x=\chi B\frac{\partial B}{\partial x}dV\ ,$$

де $\dfrac{\partial E}{\partial x}$ - частинна похідна індукції поля, що характеризує ступінь неоднорідності поля в напрямку осі x.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗВЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

Запропонувати єдину схему вирішення задач неможливо, проте можна рекомендувати певну послідовність дій. Приступаючи до вирішення задач з якого-небудь розділу, необхідно ознайомитися з конкретними фізичними поняттями і співвідношеннями цього розділу, розібрати наведені приклади розв'язання задач. При самостійному вирішенні задач доцільно дотримуватися такої схеми:

1) за умовою задачі уявіть собі фізичне явище, про яке йде мова, зробіть короткий запис умови, висловивши вихідні дані в одиницях СІ;
2) зробіть, якщо це необхідно, рисунок, що пояснює описуваний в задачі процес;
3) напишіть рівняння або систему рівнянь, що відображують фізичний процес;
4) трансформуйте рівняння так, щоб в них входили лише вихідні дані і табличні величини;
5) вирішите задачу в загальному вигляді;
6) виконайте розрахунки та оцініть реальність числової відповіді.

Приклади розв'язання задач

Приклад 1. Точковий заряд q=25 нКл перебуває в полі, створеному прямим нескінченним циліндром радіусом R=1 см, рівномірно зарядженим з поверхневою густиною σ=2 мкКл/м^2. Визначити силу, що діє на заряд, поміщений від осі циліндра на відстані r=10 см.

Рішення. Сила, що діє на заряд q, якій перебуває в полі

$$F=qE,$$

де E — напруженість поля в точці, у якій перебуває заряд q.

Як відомо, напруженість поля нескінченно довгого рівномірно зарядженого циліндра

$$E=\frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 r},$$

де τ - лінійна густина заряду.

Виразимо лінійну густину τ через поверхневу густину σ. Для цього виділимо елемент циліндра довжиною l і виразимо заряд q_1, що перебуває на ньому, двома способами

$$q_1=\sigma S=\sigma_2\pi Rl \text{ і } q_1=\tau l$$

Дорівнявши праві частини цих рівностей, одержимо $\tau l=2\pi Rl\sigma$. Після скорочення на l знайдемо $\tau=2\pi R\sigma$. З обліком цього формула напруженості поля прийме вид $E=R\sigma/(\varepsilon_0 r)$. Підставивши цей вираз в формулу сили діючої на заряд q, що перебуває в поле, знайдемо шукану силу

$$F=q\sigma R/(\varepsilon_0 r)$$

Оскільки R і r входять у формулу у вигляді відносини, то вони можуть бути виражені в будь-яких, але тільки однакових одиницях.

Виконавши обчислення по останній формулі , знайдемо

$$F=25\cdot10^{-9}\cdot2\cdot10^{-6}\cdot10^{-2}/(8{,}85\cdot10^{-12}\cdot10\cdot10^{-2})\ \text{Н}=565\cdot10^{-6}\ \text{Н}=565\ \text{мкН}.$$

Напрямок сили $\vec{F}$ збігається з напрямком вектора напруженості $\vec{E}$**,** а останній у силу симетрії (циліндр нескінченно довгий) спрямований перпендикулярно циліндру.

Приклад 2. Позитивні заряди q_1=3 мкКл і q_2=20 нКл перебувають у вакуумі на відстані r_1=l,5 м друг від друга. Визначити роботу A, яку треба зробити, щоб зблизити заряди до відстані r_2=1 м.

*Рішення***.** Покладемо, що перший заряд q_1 залишається нерухливим, а другий q_2 під дією зовнішніх сил переміщується в поле, створеному зарядом q_1, наближаючись до нього з відстані r_1=1,5 м до r_2=1 м.

Робота A' зовнішньої сили по переміщенню заряду q з однієї точки поля з потенціалом φ_1 в іншу, потенціал якої φ_2 дорівнює по модулі й протилежна за знаком роботі A сил поля по переміщенню заряду між тими ж точками

$$A'=-A$$

Робота A сил поля по переміщенню заряду $A=q(\varphi_1—\varphi_2)$. Тоді робота A' зовнішніх сил може бути записана у вигляді

$$A' = -q(\varphi_1—\varphi_2) = q(\varphi_2—\varphi_1)$$

Потенціали точок початку й кінця шляху виразяться формулами

$$\varphi_1 = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r_1}, \ \varphi_2 = \frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r_2}$$

Підставляючи вираження φ_1 і φ_2 у формулу роботи зовнішніх сил і з огляду на, що для даного випадку заряд $q=q_2$, одержимо

$$A' = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

Якщо врахувати, що $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}=9\cdot10^9$ м/Ф, то після підстановки значень величин в останню формулу роботи зовнішніх сил і обчислення знайдемо

$$A'=180 \text{ мкДж}$$

Приклад 3. Визначити електричну ємність C плоского конденсатора із двома шарами діелектриків: порцеляни товщиною $d_1=2$ мм і ебоніти товщиною $d_2= 1{,}5$ мм, якщо площа S пластин дорівнює 100 см^2.

Рішення. Ємність конденсатора

$$C = \frac{q}{U},$$

де q - заряд на пластинах конденсатора; U - різниця потенціалів пластин. Замінивши в цій рівності загальну різницю потенціалів U конденсатора сумою U_1+U_2 напруг на шарах діелектриків, одержимо

$$C = \frac{q}{U_1 + U_2}$$

Беручи до уваги, що

$$q = \sigma S\,,\; U_1 = E_1 d_1 = \frac{D}{\varepsilon_0 \varepsilon_1} d_1 \text{ і } U_2 = E_2 d_2 = \frac{D}{\varepsilon_0 \varepsilon_2} d_2\,,$$

тоді формулу для ємності конденсатора можна переписати у вигляді

$$C = \frac{\sigma S}{\frac{D}{\varepsilon_0 \varepsilon_1} d_1 + \frac{D}{\varepsilon_0 \varepsilon_1} d_2},$$

де σ - поверхнева густина заряду на пластинах; E_1 і E_2 - напруженості поля в першому й другому шарах діелектрика відповідно; D - електричний зсув поля в діелектриках.

Помноживши чисельник і знаменник останньої рівності на ε_0 і врахувавши, що $D=\sigma$, одержимо остаточну формулу для визначення ємності плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2}}$$

Зробивши підстановку числових значень d_1, d_2, ε_1, ε_2, ε_0, і S в останню формулу, знайдемо електричну ємність C плоского конденсатора із двома шарами діелектриків

$$C = \frac{8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 100 \cdot 10^{-4}}{\frac{2 \cdot 10^{-3}}{5} + \frac{1{,}5 \cdot 10^{-3}}{3}} = 98{,}3 \cdot 10^{-12}\,\text{Ф}$$

Приклад 4. Плоский конденсатор заряджений до різниці потенціалів U= 1 кВ. Відстань d між пластинами дорівнює 1 см. Діелектрик - скло. Визначити об'ємну густину енергії поля конденсатора.

Рішення. Об'ємна густина енергії поля конденсатора

$$w = \frac{W}{V},$$

де W – енергія поля конденсатора; V– об'єм, займаний полем, тобто об'єм простору, укладеного між пластинами конденсатора.

Енергія поля конденсатора визначається по формулі

$$W = \frac{CU^2}{2},$$

де U – різниця потенціалів, до якої заряджені пластини конденсатора; C – його електроємність. Але

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \text{ та } V = Sd$$

Підставивши вираз для електроємності у формулу енергії поля конденсатора й потім вираження цієї енергії й об'єму у формулу для об'ємної густини енергії поля конденсатора, одержимо

$$w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 U^2}{2d^2}$$

Підставимо значення величин в останню формулу й зробивши обчислення, знайдемо

$$w = \frac{7 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} (1 \cdot 10^3)^2}{2 \cdot 1 \cdot 10^{-2}} = 0{,}309 \text{ Дж/м}^3$$

Приклад 5. Визначити заряд q, що пройшов по провіднику з опором R=3 Ом при рівномірному зростанні напруги на кінцях провідника від U_0=2 В до U =4 В протягом t=20с.

Рішення. Оскільки сила струму в провіднику змінюється, то скористатися для підрахунку заряду формулою $q=It$ не можна. Тому візьмемо диференціал заряду dq=Idt і проінтегруємо

$$q = \int_0^t I dt$$

Виразивши силу струму за законом Ома, одержимо

$$q = \int_0^t \frac{U}{R} dt$$

Напруга U у цьому випадку змінюється з часом. У силу рівномірності зростання воно може бути виражено формулою

$$U = U_0 + kt,$$

де k - коефіцієнт пропорційності. Підставивши це вираження U у формулу обчислення для заряду, знайдемо

$$q = \int_0^t \left(\frac{U_0}{R} + \frac{kt}{R} \right) dt = \frac{U_0}{R} \int_0^t dt + \frac{k}{R} \int_0^t t dt$$

Після інтегрування одержимо

$$q = \frac{U_0 t}{R} + \frac{kt^2}{2R} = \frac{t}{2R}\left(2U_0 + kt\right)$$

Значення коефіцієнта пропорційності k знайдемо з формули $U = U_0 + kt$, якщо помітимо, що при t= 20 с U=4 В, тоді

$$k = \frac{U - U_0}{t} = \frac{4-2}{20} = 0{,}1 \text{ В/с}$$

Підставивши значення величин у формулу для обчислення заряду, одержимо

$$q = \frac{20}{2 \cdot 3}\left(2 \cdot 2 + 0{,}1 \cdot 20\right) = 20 \text{ Кл}$$

Приклад 7. У коло джерела постійного струму з ЕРС ε=6 В включений резистор опором R=80 Ом. Визначити: 1) густину струму в сполучних проводах площею поперечного перерізу S=2 мм^2; 2)число N електронів, що проходять через перетин проводів за час t=1 с. Опором джерела струму й сполучних проводів зневажити.

Рішення. 1.Густина струму по визначенню є відношення сили струму I до площі поперечного перерізу проведення

$$j = \frac{I}{S}$$

Силу струму в цій формулі виразимо за законом Ома

$$I = \frac{\varepsilon}{R + R_1 + r_1},$$

де R - опір резистора; R_1 - опір сполучних проводів; r_1 - внутрішній опір джерела струму.

Зневажаючи опорами R_1 і r_1 з формули закону Ома, одержимо

$$I = \frac{\varepsilon}{R}$$

Підставивши це вираження сили струму у формулу щільності струму, одержимо

$$j = \frac{\varepsilon}{RS}$$

Зробивши обчислення по цій формулі, одержимо

$$j = \frac{6}{80 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 3,75 \cdot 10^{4} \text{ А/ м}$$

2.Число електронів, що проходять за час t через поперечний переріз, знайдемо, розділивши заряд q, що протікає за цей час через перетин, на елементарний заряд

$$N = \frac{q}{e},$$

або з обліком того, що $q=It$ і $I=\varepsilon/R$

$$N = \frac{\varepsilon t}{eR}$$

Підставимо в цю формулу числові значення величин і обчислимо

$$N = \frac{6 \cdot 1}{80 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 4{,}69 \cdot 10^{17} \text{електронів}$$

Приклад 7. На дротовий виток радіусом r=10 см, що знаходиться між полюсами магніту, діє максимальний механічний момент M_{max}=6,5 мкНм. Сила струму I у витку дорівнює 2 А. Визначити магнітну індукцію B поля між полюсами магніту. Дією магнітного поля Землі зневажити.

Рішення.. Індукцію B магнітного поля можна визначити з вираження механічного моменту, що діє на виток зі струмом у магнітному полі

$$M = p_m B \sin\alpha$$

Якщо врахувати, що максимальне значення механічний момент приймає при $\alpha=\pi/2(\sin\alpha=1)$, а також що $p_m=IS$, те формула механічного моменту прийме вид

$$M_{\max} = IBS$$

Звідси, з огляду на те, що $S=\pi r^2$, знаходимо

$$B = \frac{M_{\max}}{\pi r^2 I}$$

Зробивши обчислення по останній формулі, знайдемо

$$B = \frac{6{,}5 \cdot 10^{-6}}{3{,}14 \cdot \left(10 \cdot 10^{-2}\right)^2 \cdot 2} = 104 \cdot 10^{-6} \text{ Тл}$$

Приклад 8. Визначити індукцію B и напруженість H магнітного поля на осі тороїду без сердечника, по обмотці якого, що містить N=200 витків, іде струм I=5 А. Зовнішній діаметр d_1 тороїду дорівнює 30 см, внутрішній d_2= 20 см.

*Рішення***.** Для визначення напруженості магнітного поля усередині тороїду обчислимо циркуляцію вектора $\vec{H}$ уздовж лінії магнітної індукції поля

$$\oint Hdl$$

З умови симетрії треба, що лінії магнітної індукції тороїда являють собою окружності, і що у всіх точках цієї лінії напруженості однакові. Тому у виразу циркуляції напруженість *H* можна винести за знак інтеграла, а інтегрування проводити в межах від нуля до 2πr, де *r* — радіус окружності, що збігає з лінією індукції, уздовж якої обчислюється циркуляція,

$$\oint_L Hdl = H\int_0^{2\pi r} dl = 2\pi rH$$

З іншого боку, відповідно до закону повного струму циркуляція вектора напруженості магнітного поля дорівнює сумі струмів, охоплюваних контуром, уздовж якого обчислюється циркуляція

$$\oint_L H_i dl = \sum_{i=1}^{n} I_i$$

Дорівнявши праві частини останніх двох рівностей, одержимо

$$2\pi rH = \sum_{i=1}^{n} I_i$$

Лінія, що проходить уздовж тороїда, охоплює число струмів, рівне числу витків тороїда. Сила струму у всіх витках однакова. Тому остання рівність прийме вид $2\pi rH=NI$, звідки

$$H = \frac{NI}{2\pi r}$$

Для середньої лінії тороїда $r=1/2(R_1R_2)=1/4(d_1+d_2)$. Підставивши цей вираз у формулу напруженості, знайдемо

$$H = \frac{2NI}{\pi(d_1 + d_2)}$$

Підставивши значення величин у цю формулу, одержимо

$$H = \frac{2 \quad 200 \quad 5}{3{,}14\left(30 \quad 10^{\ 2} + 20 \quad 10^{\ 2}\right)} = 1{,}37 \quad 10^{3}\ \text{А/м}$$

Магнітна індукція B_0 у вакуумі пов'язана з напруженістю поля співвідношенням $B_0=\mu_0 H$. Отже

$$B_0 = \frac{2\mu_0 NI}{\pi\left(d_1 + d_2\right)}$$

Підставивши значення величин в останню формулу, одержимо

$$B_0 = \frac{2 \quad 1{,}257 \quad 10^{\ 6} \quad 200 \quad 5}{3{,}14\left(30 \quad 10^{\ 2} + 20 \quad 10^{\ 2}\right)} = 1{,}6 \quad 10^{\ 3}\ \text{Тл}$$

Приклад 9. Електрон, пройшовши прискорювальну різницю потенціалів U=400 В, потрапив в однорідне магнітне поле з індукцією B=1,5 мТл. Визначити: 1) радіус R кривизни траєкторії; 2) частоту n обертання електрона в магнітному полі. Вектор швидкості електрона перпендикулярний лініям індукції.

Рішення. 1.Радіус кривизни траєкторії електрона визначимо, виходячи з наступних міркувань: на електрон, що рухається в магнітному полі, діє сила Лоренца F. (Дією сили тяжіння можна знехтувати.) Вектор сили Лоренца перпендикулярний вектору швидкості й, отже, по другому законі Ньютона, надає електрону нормальне прискорення a_n

$$F=ma_n$$

Підставивши сюди вираз сили Лоренца F і нормального прискорення a_n, одержимо

$$|e|vB\sin\alpha = \frac{m\upsilon^2}{R},$$

де e, v, m — заряд, швидкість, маса електрона; B — індукція магнітного поля; R — радіус кривизни траєкторії; α — кут між напрямками векторів швидкості $\vec{v}$ й магнітної індукції $\vec{B}$ (у нашім випадку $\vec{v} \perp \vec{B}$ і α = 90°, отже sin α =l).

З формули сили Лоренца знайдемо радіус кривизни траєкторії

$$R = \frac{mv}{|e|B}$$

Імпульс mv виразимо через кінетичну енергію W_K електрона

$$m\upsilon = \sqrt{2mW_к}$$

Але кінетична енергія електрона, що пройшов прискорювальну різницю потенціалів U, визначається рівністю $W_K = |e|U$. Підставивши це вираження W_K у формулу імпульсу, одержимо

$$mv = \sqrt{2m|e|U}$$

Тоді вираження для радіуса кривизни траєкторії здобуває вид

$$R = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{|e|}}$$

Підставивши числові значення величин в останню формулу, одержимо

$$R = \frac{1}{1,5 \cdot 10^{-3}}\sqrt{\frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 400}{\left|1,6 \cdot 10^{-19}\right|}} = 45 \cdot 10^{-3}\text{м}$$

2.Для визначення частоти обертання скористаємося формулою єднальну частоту зі швидкістю й радіусом кривизни траєкторії

$$n = \frac{v}{2\pi R}$$

Підставивши формулу радіуса кривизни траєкторії $R = \frac{mv}{|e|B}$ в останню формулу, одержимо

$$n = \frac{1}{2\pi}\frac{|e|}{m}B$$

Зробивши обчислення по останній формулі, знайдемо

$$n = \frac{1}{2\cdot 3{,}14}\cdot\frac{\left|1{,}6\cdot 10^{-19}\right|}{9{,}1\cdot 10^{-31}}\cdot 1{,}5\cdot 10^{-3} = 4{,}2\cdot 10^{7}\ \text{c}^{-1}$$

Приклад 10. В однорідному магнітному полі з індукцією B=0,1 Тл рівномірно обертається рамка, що містить N= 1000 витків, із частотою n=l0 с $^{-1}$. Площа S рамки дорівнює 150 см^2. Визначити миттєве значення ЕРС ε_i, що відповідає куту повороту рамки 30°.

Рішення. Миттєве значення ЕРС індукції ε_i визначається основним рівнянням електромагнітної індукції Фарадея — Максвелла

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Psi}{dt}$$

Потокозчеплення Ψ=$N\Phi$, де N — число витків, що пронизуються магнітним потоком Ф. Підставивши вираження Ψ у формулу миттєвого значення ЕРС індукції, одержимо

$$\varepsilon_i = -N\frac{d\Phi}{dt}$$

При обертанні рамки магнітний потік Ф, що пронизує рамку в момент часу t, змінюється за законом $\Phi = BS\cos\omega t$, де B — магнітна індукція; S — площа рамки; ω — кутова частота. Підставивши в останню формулу вираження магнітного потоку Ф и продиференціювавши за часом, знайдемо миттєве значення ЕРС індукції

$$\varepsilon_i = NBS\omega\sin\omega t$$

Кутова частота ω пов'язана із частотою n обертання співвідношенням $\omega = 2\pi n$. Підставивши вираз кутової частоти у формулу ЕРС індукції й замінивши ωt на кут α, одержимо

$$\varepsilon_i = 2\pi nNBS\sin\omega t$$

Зробивши обчислення по останній формулі, одержимо

$$\varepsilon_i = 2\cdot 3{,}14\cdot 10\cdot 1000\cdot 0{,}1\cdot 150\cdot 10^{-4}\sin 30^0 = 47{,}1\,\text{В}$$

Приклад 11. На стрижень із немагнітного матеріалу довжиною l=50 см намотаний в один шар проведення так, що на кожний сантиметр довжини стрижня доводиться 20 витків. Визначити енергію W магнітного поля усередині соленоїда, якщо сила струму I в обмотці дорівнює 0,5 А. Площа S перерізу стрижня дорівнює 2 см^2.

Рішення. Енергія магнітного поля соленоїда з індуктивністю L, по обмотці якого тече струм I**,** виражається формулою

$$W = \frac{1}{2}LI^2$$

Індуктивність соленоїда у випадку немагнітного сердечника залежить тільки від числа витків на одиницю довжини й від об'єму V сердечника: $L=\mu_0 n^2 V$, де μ_0 - магнітна стала. Підставивши вираз індуктивності L у формулу енергії магнітного поля, одержимо

$$W = \frac{1}{2}\mu_0 n^2 V I^2$$

Урахувавши, що $V=lS$, запишемо формулу енергії магнітного поля в такий спосіб

$$W = \frac{1}{2}\mu_0 n^2 I^2 Sl$$

Зробивши обчислення по останній формулі, знайдемо

$$W = \frac{1}{2}\cdot 1{,}257\cdot 10^{-6}\cdot 20^2\cdot 0{,}5^2\cdot 2\cdot 10^{-4}\cdot 50\cdot 10^{-2} = 126\cdot 10^{-6}\,\text{Дж}$$

ЗАДАЧІ

1. На нитках довжиною L = 20 см кожна підвішені в одній точці дві кульки масою m = 0, 1 г кожна. Отримавши однаковий заряд, кульки розійшлися так, що нитки утворили між собою кут α = 60 °. Знайти заряд кожної кульки.

2. Який заряд q потрібно повідомити кожному з двох однакових кульок масою m = 1 г кожен, щоб сила взаємного відштовхування зарядів зрівноважила силу взаємного тяжіння кульок за законом тяжіння Ньютона? Розглядати кульки як матеріальні точки.

3. Два точкових заряди q_1 = 1 мкКл і $q_2 = q_1$ знаходяться на відстані 10 см один від одного. Визначити силу F, що діє на точковий заряд q = 0,1 мкКл, віддалений на r_1 = 6 см від першого і на r_2 = 8 см від другого зарядів.

4. Тонкий стрижень довжиною l = 10 см рівномірно заряджений. Лінійна густина τ заряду дорівнює 1 мкКл / м. На продовженні осі стрижня на відстані a = 20 см від найближчого його кінця знаходиться точковий заряд q = 100 нКл. Визначити силу F взаємодії заряджених стрижню і точкового заряду

5. Дві однакових заряджених кулі, що проводять, знаходяться на відстані r = 30 см. Сила тяжіння F_1 куль дорівнює 90 мкН. Після того, як кулі були приведені в зіткнення і віддалені один від одного на колишню відстань, вони стали відштовхуватися з силою F_2 = 160 мкН. Визначити заряди q_1 і q_2, які були на кулях до їх зіткнення. Діаметр куль вважати багато меншим відстані між ними.

6. У центр квадрата, в кожній вершині якого знаходиться заряд q = 2,33 нКл, поміщено негативний заряд q_0. Знайти цей заряд, якщо на кожен заряд q діє результуюча сила F = 0.

7. Тонка нитка довжиною l = 20 см рівномірно заряджена з лінійною густиною τ = 10 нКл / м. На відстані a = 10 см від нитки, проти її середини, знаходиться точковий заряд q = 1 нКл. Обчислити силу F, що діє на цей заряд з боку зарядженої нитки.

8. Тонкий довгий стрижень рівномірно заряджений з лінійною густиною τ = 10 мкКл / м. Знайти силу F, що діє на точковий заряд q = 10 нКл, який знаходиться на відстані a = 20 см від стрижня, поблизу його середини.

9. Три однакових заряди q = 1 нКл кожний розташовані по вершинах рівностороннього трикутника. Який негативний заряд q_1 потрібно помістити в центрі трикутника, щоб його тяжіння зрівноважило сили взаємного відштовхування зарядів?

10. Тонке кільце радіусом R = 10 см несе рівномірно розподілений заряд q = 0, 1 мкКл. На перпендикулярі до площини кільця, що проведено з його середини, знаходиться точковий заряд q_1 = 10 нКл. Визначити силу F, що діє на точковий заряд q з боку зарядженого кільця, якщо він віддалений від центру кільця на: 1) l_1 = 20 см; 2) l_2 = 2 м.

11. Відстань d між двома точковими зарядами q_1 = + 8 нКл і q_2 = -5,3 нКл дорівнює 40 см. Обчислити напруженість E поля в точці, що лежить посередині між зарядами. Чому буде дорівнювати нанапруженість, якщо другий заряд буде позитивним?

12. Два точкових заряди $q_1 = 2q$ і $q_2 = -q$ знаходяться на відстані d одна від одної. На прямій, що проходить через ці заряди, напруженість E поля в деякій точці дорівнює нулю. Знайти відстань від першого заряду цієї точки

13. Півсфера несе заряд, рівномірно розподілений з поповерхневі густиною σ = 1 нКл/м^2. Знайти напруженість E електричного поля в геометричному центрі півсфери.

14. На металевій сфері радіусом R = 10 см знаходиться заряд q = 1 нКл. Визначити напруженість E електричного поля в наступних точках: 1) на відстані r_1 = 8 см від центра сфери; 2) на її поверхні; 3) на відстані r_2 = 15 см від центра сфери.

15. Дві довгі однойменно заряджені нитки розташовані на відстані r = 10 см один від одного. Лінійна густина заряду на нитках $\tau_1 = \tau_2$ = 10 мкКл□/м. Знайти модуль і напрямок напруженості результуючого електричного поля в точці, що знаходиться на відстані a=10 см від кожної нитки.

16. Електричне поле створено двома нескінченними паралельними пластинами, що несуть рівномірно розподілений по площі заряд з поверхневими густинами σ_1 = 2 нКл/м^2 і σ_2 = -5 нКл/м^2. Визначити напруженість E поля: 1) між пластинами; 2) поза пластин.

17. Дві нескінченні паралельні пластини рівномірно заряджені з поверхневою густиною σ_1 = 10 нКл/м^2 і σ_2 = -30 нКл/м^2. Визначити силу взаємодії між пластинами, що припадає на площу S = 1 м^3.

18. Мідна куля радіусом R = 0,5 см поміщена в масло. Густина міді ρ_1=8,6·10^3 кг/□м^3, густина масла ρ_2=0,8·10^3 кг□/м^3. Знайти заряд кулі, якщо в однорідному електричному полі куля виявилася завислою у маслі. Електричне поле спрямоване вертикально вгору і його напруженість E=3,6 МВ/м.

19. Між пластинами плоского конденсатора знаходиться точковий заряд q = 30 нКл. Поле конденсатора діє на заряд з силою F_1 = 10 мН. Визначити силу F_2 взаємного тяжіння пластин, якщо площа S кожної пластини дорівнює 100 см^2.

20. Електричне поле створено точковим зарядом q = 0,1 мкКл. Визначити потік Φ_D електричного зміщення через круглу площадку радіусом R = 30 см. Заряд рівновіддалений від країв майданчика і знаходиться на відстані a = 40 см від її центру.

21. Обчислити потенційну енергію Wп системи двох точкових зарядів q_1 = 100 нКл і q_2 = 10 нКл, що знаходяться на відстані d = 10 см один від одного.

22. На відрізку тонкого прямого провідника рівномірно розподілен заряд з лінійною густиною τ = 10 нКл/м. Обчислити потенціал φ, створюваний цим зарядом в точці, розташованій на осі провідника і віддаленій від найближчого кінця відрізка на відстань, яка дорівнює довжині цього відрізка.

23. Тонкий стрижень довжиною l = 10 см несе рівномірно розподілений заряд q = 1нКл. Визначити потенціал τ електричного поля в точці, що лежить на осі стрижня на відстані a = 20 см від найближчого його кінця.

24. Металева куля радіусом R = 5 см несе заряд q = 1 нКл. Куля оточена шаром ебоніту товщиною d = 2 см. Обчислити потенціал φ електричного поля на відстані: 1) r_1 = 3 см; 2) r_2 = 6 см; 3) r_3 = 9 см від центру кулі.

25. Дві нескінченні паралельні площині знаходяться на відстані d = 0,5 см один від одного. На площинах рівномірно розподілені заряди з поверхневими густинами σ_1 = 0,2мкКл/м^2 і σ_2 = – 0,3 мкКл/м^2. Визначити різницю потенціалів U між площинами.

26. Сто однакових крапель ртуті, заряджених до потенціалу φ=20 В, зливаються в одну краплю. Який потенціал φ_1 утвореної краплі?

27. Суцільний парафіновий шар радіусом R = 10 см рівномірно заряджений з об'ємною густиною ρ = 1 мкКл/м^3. Визначити потенціал φ електричного поля в центрі кулі і на його поверхні.

28. Тонкий стрижень зігнутий у кільце радіусом R = 10 см. Він заряджений з лінійною густиною τ = 300 нКл/м. Яку роботу A треба зробити, щоб перенести заряд q = 5 нКл з центру кільця в точку, розташовану на осі кільця на відстані l = 20 см від його центру?

29. Електрон, що летів горизонтально зі швидкістю v_0 = 1, 6 Мм/с, влетів в однорідне електричне поле з напруженістю E = 90 В/см, спрямоване вертикально вгору. Яка буде по модулю і напрямку швидкість v електрона через 1 нс?

30. Порошинка масою m = 1 пг, що несе на собі п'ять електронів, пройшла у вакуумі прискорюючу різницю потенціалів U = 3 МВ. Яка кінетична енергія W_K порошинки? Яку швидкість v придбала порошинка?

31. Визначити напруженість E і потенціал φ поля, що створюється диполем з електричним моментом р = 4 пКл$\cdot$м на відстані r = 10 см від центра диполя, в напрямку, що становить кут $\alpha = 60^\circ$ з вектором електричного моменту.

32. Два диполя з електричними моментами p_1 = 1 пКл$\cdot$м і p_2 = 4 пКл$\cdot$м знаходяться на відстані r = 2 см один від одного. Знайти силу їх взаємодії, якщо осі диполів лежать на одній прямій.

33. Диполь з електричним моментом p = 100 пКл$\cdot$м вільно встановлюється в однорідному електричному полі напруженістю E = 150 кВ/м. Обчислити роботу A, необхідну для того, щоб повернути диполь на кут $\alpha = 180^o$.

34. Диполь з електричним моментом p = 100 пКл$\cdot$м вільно встановився в однорідному електричному полі напруженістю E = 10 кВ/м. Визначити зміну потенційної енергії ΔW диполя при повороті його на кут $\alpha = 60^o$.

35. Відстань d між пластинами плоского конденсатора дорівнює 2 мм, різниця потенціалів U = 1,8 кВ. Діелектрик - скло. Визначити діелектричну сприйнятливість ε скла і поверхневу густину σ' поляризаційних (пов'язаних) зарядів на поверхні скла.

36. Діелектрик помістили в електричне поле напруженістю E_0 = 20 кВ/м. Чому дорівнює поляризованість P діелектрика, якщо на-

пруженість E середнього макроскопічного поля в діелектрику виявилася рівною 4 кВ/м?

37. Визначити, при якій напруженості E середнього макроскопичного поля в діелектрику (ε = 3) полярізованість P досягне значення, рівного 200 мкКл/м^2.

38. Металева куля радіусом R = 5 см оточена рівномірним шаром порцеляни товщиною d = 2 см. Визначити поверхневі густини σ'_1 і σ'_2 зв'язаних зарядів відповідно на внутрішній і зовнішній поверхнях діелектрика. Заряд q кулі дорівнює 10 нКл

39**.** Диполь з електричним моментом p=5 пКл·м вільно встановився в поле точкового заряду q=100 нКл на відстані r = 10 см від нього. Визначити для цієї точки величину $|dE/dr|$, що характеризує ступінь неоднорідності поля в напрямку силової лінії, і силу F, що діє на диполь.

40. Ебонітова плоскопаралельна пластина поміщена в однорідне електричне поле напруженістю E_0 = 2 МВ/м. Грані пластини перпендикулярні лініям напруженості. Визначити поверхневу густину σ' зв'язаних зарядів на гранях пластини.

41. Дві металевих кулі радіусами R_1 = 2 см і R_2 = 6 см з'єднані провідником, ємністю якого можна знехтувати. Кулям надано заряд q = 1 нКл. Знайти поверхневу густину σ зарядів на кулях.

42. Куля радіусом R_1 = 6 см була заряджена до потенціалу φ_1 = 300 В, а куля радіусом R_2 = 4 см – до потенціалу φ_2 = 500 В. Визначити потенціал φ куль після того, як їх з'єднали металевим провідником. Ємністю з'єднувального провідника знехтувати.

43. Між пластинами плоского конденсатора, зарядженого до різниці потенціалів U = 600 В, знаходяться два шари діелектриків: скла товщиною d_1 = 7 мм і ебоніту товщиною d_2 = 3 мм. Площа S кожної пластини конденсатора дорівнює 200 см^2. Знайти: 1) електро- та-кістка З конденсатора; 2) зміщення D, напруженість E поля і падіння потенціалу $\Delta\varphi$ в кожному шарі.

44. Відстань d між пластинами плоского конденсатора дорівнює 1,33 мм, площа S пластин дорівнює 20 см^2. У просторі між пластинами конденсатора знаходяться два шари діелектриків: слюди товщиною d_1 = 0,7 мм і ебоніту товщиною d_2 = 0,3 мм. Знайти електроємність C конденсатора.

45. Конденсатор електроємністю C_1 = 0,6 мкФ був заряджений до різниці потенціалів U_1 = 300 В і з'єднаний з другим конденсатором електроємністю C_2 = 0,4 мкФ, зарядженим до різниці потенціалів U_2 = 150 В. Знайти заряд Δq, що перетік з пластин першого конденсатора на другий.

46. Дві концентричні металеві сфери радіусами R_1 = 2 см і R_2 = 2,1 см утворюють сферичний конденсатор. Визначити його електроємність C, якщо простір між сферами заповнено парафіном.

47. Конденсатор складається з двох концентричних сфер. Радіус R_1 внутрішньої сфери дорівнює 10 см, зовнішній R_2 = 10,2 см, Проміжок між сферами заповнений парафіном. Внутрішній сфері наданий заряд q = 5 мкКл. Визначити різницю потенціалів U між сферами.

48. Два конденсатора електроємність C_1 = 3 мкФ і C_2 = 6 мкФ з'єднані між собою і приєднані до батареї з ЕРС. ε = 120 В. Визначити заряди q_1 і q_2 конденсаторів і різниці потенціалів U_1 і U_2 між їх обкладинками, якщо конденсатори з'єднані: 1) паралельно; 2) послідовно.

49. Конденсатор електроємністю C_1 = 0,2 мкФ був заряджений, до різниці потенціалів U_1 = 320 В. Після того, як його з'єднали паралельно з другим конденсатором, зарядженим до різниці потенціалів U_2 = 450 В, напруга U на ньому змінилося до 400 В. Обчислити ємність C_2 другого конденсатора.

50. До повітряного конденсатора, зарядженого до різниці попотенціалів U = 600 в і відключеного від джерела напруги, приєднали паралельно другий незаряджений конденсатор таких же розмірів і форми, але з діелектриком (порцеляна). Визначити діелектричну проникність ε порцеляни, якщо після приєднання другого конденсатора різниця потенціалів зменшилася до U_1 = 100 В.

51. Відстань d між пластинами плоского конденсатора дорівнює 2 см, різниця потенціалів U = 6 кВ. Заряд Q кожної пластини дорівнює 10 нКл. Обчислити енергію W поля конденсатора і силу F взаємного притягання пластин.

52. Плоский повітряний конденсатор складається з двох круглих пластин радіусом r = 10 см кожна. Відстань d_1 між пластинами дорівнює 1 см. Конденсатор зарядили до різниці потенціалів U = 1,2 кВ та відключили від джерела струму. Яку роботу A потрібно здійс-

нити, щоб, видаляючи пластини одна від одної, збільшити відстань між ними до d_2 = 3,5 см?

53. Плоский повітряний конденсатор електроємністю C = 1,11 нФ заряджен до різниці потенціалів U = 300 В. Після відключення від джерела струму відстань між пластинами конденсатора було збільшено в п'ять разів. Визначити: l) різницю потенціалів U на обкладинках конденсатора після їх розсування; 2) роботу A' зовнішніх сил по розведенню пластин.

46. Две концентрические металлические сферы радиусами R_1=2 см и R_2=2,1 см образуют сферический конденсатор. Определить его электроемкость C, если пространство между сферами заполнено парафином.

47. Конденсатор состоит из двух концентрических сфер. Радиус R_1 внутренней сферы равен 10 см, внешней R_2=10,2 см, Промежуток между сферами заполнен парафином. Внутренней сфере сообщен заряд q=5 мкКл. Определить разность потенциалов U между сферами.

48. Два конденсатора электроемкостями C_1=3 мкФ и C_2=6 мкФ соединены между собой и присоединены к батарее с ЭДС. ε=120 В. Определить заряды q_1 и q_2 конденсаторов и разности потенциалов U_1 и U_2 между их обкладками, если конденсаторы соединены: 1) параллельно; 2) последовательно.

49. Конденсатор электроемкостью C_1=0,2 мкФ был заряжен, до разности потенциалов U_1=320 В. После того как его соединили параллельно со вторым конденсатором, заряженным до разности потенциалов U_2=450 В, напряжение U на нем изменилось до 400 В. Вычислить емкость C_2 второго конденсатора.

50. К воздушному конденсатору, заряженному до разности потенциалов U =600 в и отключенному от источника напряжения, присоединили параллельно второй незаряженный конденсатор таких же размеров и формы, но с диэлектриком (фарфор). Определить диэлектрическую проницаемость ε фарфора, если после присоединения второго конденсатора разность потенциалов уменьшилась до U_1=100 В.

51. Расстояние d между пластинами плоского конденсатора равно 2 см, разность потенциалов U=6 кВ. Заряд Q каждой пластины равен 10 нКл. Вычислить энергию W поля конденсатора и силу F взаимного притяжения пластин.

52. Плоский воздушный конденсатор состоит из двух круглых пластин радиусом r=10 см каждая. Расстояние d_1 между пластинами равно 1 см. Конденсатор зарядили до разности потенциалов U =1,2 кВ и отключили от источника тока. Какую работу A нужно совершить, чтобы, удаляя пластины друг от друга, увеличить расстояние между ними до d_2=3,5 см?

53. Плоский воздушный конденсатор электроемкостью C=1,11 нФ заряжен до разнести потенциалов U =300 В. После отключения от источника тока расстояние между пластинами конденсатора было увеличено в пять раз. Определить: l) разность потенциалов U на обкладках конденсатора после их раздвижения; 2) работу A' внешних сил по раздвижению пластин.

54. Конденсатори електроємність C_1 = 1 мкФ, C_2 = 2 мкФ, C_3 = 3 мкФ включені в ланцюг з напругою U = 1,1 кВ. Визначити енергію кожного конденсатора у випадках: 1) послідовного їх увімкнення; 2) паралельного увімкнення.

55. Пластину из эбонита толщиной d=2 мм и площадью S=300 см^2 поместили в однородное электрическое поле напряженностью E= 1 кВ/м, расположив так, что силовые линии перпендикулярны ее плоской поверхности. Найти: 1) плотность σ' связанных зарядов на поверхности пластин; 2) энергию W электрического поля, сосредоточенную в пластине.

56. Уединенная металлическая сфера электроемкостью C=10 пФ заряжена до потенциала φ=3 кВ. Определить энергию W поля, заключенного в сферическом слое, ограниченном сферой и концентрической с ней сферической поверхностью, радиус которой в три раза больше радиуса сферы.

57. Сплошной парафиновый шар радиусом R=10 см заряжен равномерно по объему с объемной плотностью ρ=10нКл/м^3. Определить энергию W_1 электрического поля, сосредоточенную в самом шаре, и энергию W_2 вне его.

58. Эбонитовый шар равномерно заряжен по объему. Во сколько раз энергия электрического поля вне шара превосходит энергию поля, сосредоточенную в шаре?

59. Электрическое поле создано заряженной (Q=0,1 мкКл) сферой радиусом R=10 см. Какова энергия W поля, заключенная в объеме, ограниченном сферой и концентрической с ней сферической поверхностью, радиус которой в два раза больше радиуса сферы?

60. Уединенный металлический шар радиусом R_1=6 см несет заряд q. Концентрическая этому шару поверхность делит пространство на две части (внутренняя конечная и внешняя бесконечная), так что энергии электрического поля обеих частей одинаковы. Определить радиус R_2 этой сферической поверхности.

61. Вычислить сопротивление R графитового проводника, изготовленного в виде прямого кругового усеченного конуса высотой h=20 см и радиусами оснований, r_1=12 мм и r_2=8 мм. Температура t проводника равна 20 ˚С.

62. На одному кінці циліндричного мідного провідника опором R_0=10 Ом (при 0 ˚С) підтримується температура t_1=20 ˚С, на іншому t_2=400 ˚С. Знайти опір R провідника, вважаючи градієнт температури уздовж його осі постійним

63. К источнику тока с ЭДС ε=1,5 В присоединили катушку с сопротивлением R=0,1 Ом. Амперметр показал силу тока, равную I_1=0,5 А. Когда к источнику тока присоединили последовательно еще один источник тока с такой же ЭДС, то сила тока I в той же катушке оказалась равной 0,4 А. Определить внутренние сопротивления r_1 и r_2 первого и второго источников тока.

64. Три батареи с ЭДС ε_1= 12 В, ε_2= 5 В и ε= 10 В и одинаковыми внутренними сопротивлениями r, равными 1 Ом, соединены между собой одноименными полюсами. Сопротивление соединительных проводов ничтожно мало. Определить силы токов I, идущих через каждую батарею.

65. К батарее аккумуляторов, ЭДС ε которой равна 2 В и внутреннее сопротивление r=0,5 Ом, присоединен проводник. Определить: 1) сопротивление R проводника, при котором мощность, выделяемая в нем, максимальна; 2) мощность P, которая при этом выделяется в проводнике.

66. К зажимам батареи аккумуляторов присоединен нагреватель. ЭДС ε батареи равна 24 В. Внутреннее сопротивление r=1 Ом.

Нагреватель, включенный в цепь, потребляет мощность P=80 Вт. Вычислить силу тока I в цепи и КПД η нагревателя.

67. По проводнику сопротивлением R=3 Ом течет ток, сила которого равномерно возрастает со временем. Количество теплоты Q, выделившееся в проводнике за, время τ=8 с, равно 200 Дж. Определить количество электричества q, протекшее за это время по проводник. В момент времени, принятый за начальный, сила тока в проводнике равна нулю.

68. Сила тока в проводнике сопротивлением R=15 Ом равномерно возрастает от I_0=0 до некоторого максимального значения в течение времени τ=5 с. За это время в проводнике выделилось количество теплоты Q=10 кДж. Найти среднюю силу тока $\langle I \rangle$ в проводнике за этот промежуток времени.

69. Сила тока в проводнике равномерно увеличивается от I_0=0 до некоторого максимального значения в течение времени τ=10 с. За это время в проводнике выделилось количество теплоты Q=1 кДж. Определить скорость $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ нарастания тока в проводнике, если сопротивление R его равно 3 Ом .

70. Обмотка электрического кипятильника имеет две секции. Если включена только первая секция, то вода закипает через t_1= 15 мин, если только вторая, то через t_2=30 мин. Через сколько минут закипит вода, если обе секции включить последовательно? параллельно?

71. В медном проводнике длиной l=2 м и площадью S поперечного сечения, равной 0,4 мм^2, идет ток. При этом ежесекундно выделяется количество теплоты Q=0,35 Дж. Сколько электронов N проходит за 1 с через поперечное сечение этого проводника?

72. В медном проводнике объемом V=6 см^3 при прохождении по нему постоянного тока за время t=1 мин выделилось количество теплоты Q=216 Дж. Вычислить напряженность E электрического поля в проводнике.

73. Мідний диск радіусом R=0,5 м рівномірно обертається (ω=104 рад/с) відносно вісі, що розташована перпендикулярно площині диска і проходить через його центр. Визначити різницю потенціалу U між центром диска і його крайніми точками.

74. Определить объемную плотность тепловой мощности w в металлическом проводнике, если плотность тока j=10 А/мм^2. Напряженность E электрического поля в проводнике равна 1 мВ/м.

75. Определить скорость положительных и отрицательных ионов азота, находящихся в атмосферном воздухе на расстоянии r=2 см от оси длинного прямого провода, на котором равномерно распределен заряд с линейной плотностью $\tau=10^{-10}$ Кл/см. Подвижность положительных и отрицательных ионов азота $b_+=1{,}27\cdot10^{-4}$ м^2/(В с) и $b_-=1{,}81\cdot10^{-4}$ м^2/(В с).

76. Площадь каждого электрода ионизационной камеры S=0,01 м^2 , расстояние между ними d=6,2 см. Найти силу тока насыщения $I_н$ в такой камере, если в единицу времени образуется число однозарядных ионов каждого знака $N=10^{15}$ м$^{-3}\cdot$с$^{-1}$.

77. При ионизации воздуха образуются одновалентные ионы. Определить их концентрацию, если при напряженности поля E=1 кВ/м плотность тока $j=6\cdot10^{=6}$ А/м^2. Подвижности положительных и отрицательных ионов соответственно равны $b_+=1{,}4\cdot10^{-4}$ м^2/(В с) и $b_-=1{,}9\cdot10^{-4}$ м^2/(В с).

78. В ионизационной камере, расстояние d между плоскими электродами которой равно 5 см, проходит ток насыщения плотностью j=16 мкА/м^2. Определить число n пар ионов, образующихся каждом кубическом сантиметре пространства камеры в 1 с.

79. Какой наименьшей скоростью v_{min} должен обладать электрон, чтобы ионизировать атом азота, если потенциал ионизации U_i азота равен 14,5 В?

80. Посередине между электродами ионизационной камеры пролетела α - частица, двигаясь параллельно электродам, и образовала вала на своем пути цепочку ионов. Спустя какое время после пролета α-частицы ионы дойдут до электродов, если расстояние d между электродами равно 4 см, разность потенциалов U=5 кВ и подвижность ионов обоих знаков в среднем b=2 см^2/(В $\cdot$ с)?

81. При какой силе тока I, текущего по тонкому проводящему кольцу радиусом R=0,2 м, магнитная индукция В в точке, равноудаленной от всех точек кольца на расстояние г=0,3 м, станет равной 20 мкТл?

82. Катушка длиной l=20 см содержит N=100 витков. По обмотке катушки идет ток 1=5 А. Диаметр d катушки равен 20 см.

Определить магнитную индукцию B в точке, лежащей на оси катушки на расстоянии a=10 см от ее конца.

83. Определить максимальную магнитную индукцию B_{max} поля, создаваемого электроном, движущимся прямолинейно со скоростью v=10 Мм/с, в точке, отстоящей от траектории на расстоянии d=1 нм.

84. По тонкому дротовому кільцю тече струм. Не змінюючи сили струму в провіднику, йому надали форму квадрата. У скільки разів змінилася магнітна індукція в центрі контуру?

85. По тонкому проводу, изогнутому в виде прямоугольника, течет ток I=60 А. Длины сторон прямоугольника равны a=30 см и b=40 см. Определить магнитную индукцию B в точке пересечения диагоналей.

86. Тонкий провод изогнут в виде правильного шестиугольника. Длина d стороны шестиугольника равна 10 см. Определить магнитную индукцию B в центре шестиугольника, если по проводу течет ток I=25А.

87. По контуру в виде равностороннего треугольника идет ток I=40 А. Длина a стороны треугольника равна 30 см. Определить магнитную индукцию B в точке пересечения высот.

88. По контуру в виде квадрата идет ток I=50 А. Длина a стороны квадрата равна 20 см. Определить магнитную индукцию B в точке пересечения диагоналей.

89. Бесконечно длинный прямой провод согнут под прямым углом. По проводу течет ток I=100 А. Вычислить магнитную индукцию B в точках, лежащих на биссектрисе угла и удаленных от вершины угла на a=10 см.

90. По бесконечно длинному прямому проводу, согнутому под углом α=120°, течет ток I=50 А. Найти магнитную индукцию $\boldsymbol{B}$ в точках, лежащих на биссектрисе угла и удаленных от вершины его на расстояние а=5 см.

91. Тонкий провод в виде дуги, составляющей треть кольца радиусом R= 15 см, находится в однородном магнитном поле (B=20 мТл). По проводу течет ток I=30 А. Плоскость, в которой лежит дуга, перпендикулярна линиям магнитной индукции, и подводящие провода находятся вне поля. Определить силу F, действующую на провод.

92. Ток I= 20 А, протекая по кольцу из медной проволоки сечением S=1 мм^2, создает в центре кольца напряженность магнитного поля H=178 А/м. Какая разность потенциалов U приложена к концам проволоки, образующей кольцо?

93. По кольцу радиусом R течет ток. На оси кольца на расстоянии d=1 м от его плоскости магнитная индукция B=10 нТл. Определить магнитный момент p_m кольца с током. Считать R много меньшим d.

94. Напряженность H магнитного поля в центре круговой витка равна 200 А/м. Магнитный момент p_m витка равен 1 А·м^2 Вычислить силу тока I в витке и радиус R витка.

95. Тонкий провод в виде кольца массой $m=3$ г свободно подвешен на неупругой нити в однородном магнитном поле. По кольцу течет ток $I=2$ А. Период T малых крутильных колебаний относительно вертикальной оси равен 1,2 с. Найти магнитную индукцию B поля.

96. Короткая катушка площадью S поперечного сечения, равной 150 см^2, содержит $N=200$ витков провода, по которому течет ток I=4 А. Катушка помещена в однородное магнитное поле напряженностью H=8 кА/м. Определить магнитный момент p_m катушки, а также вращающий момент M, действующий на нее со стороны поля, если ось катушки составляет угол α=60° с линиями индукции.

97. Магнітне поле створено нескінченно довгим провідником зі струмом I=100 А. На відстані a=10 см від провідника знаходиться точкове диполь, вектор магнітного моменту (p_m=1 мА/м^2) якого лежить в одній площині з провідником і перпендикулярний до нього. Визначити силу F, що діє на магнітний диполь.

97. Магнитное поле создано бесконечно длинным проводником с током I=100 А. На расстоянии а=10 см от проводника находится точечный диполь, вектор магнитного момента (p_m=1 мА·м^2) которого лежит в одной плоскости с проводником и перпендикулярен ему. Определить силу F, действующую на магнитный диполь.

98. Два круговых витка расположены в двух взаимно перпендикулярных плоскостях так, что центры этих витков совпадают. Радиус каждого витка R=2 см, токи в витках I_1= I_2=5 А. Найти индукцию B магнитного поля в центре этих витков.

99. Два прямолинейных длинных проводника расположены параллельно на расстоянии d=10 см друг от друга. По проводникам текут токи I_1= I_2=5 А. Найти модуль и направление напряженности магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии a=10 см от каждого проводника.

100. Два круговых витка с током лежат в одной плоскости и имеют общий центр. Радиусы витков R_1=12 см R_2=8 см. Напряженность магнитного поля в ценре витков равна 50 кА/м, если токи в витках текут в одном направлении, и нулю, если в противоположных. Определить силы токов, текущих по круглвым виткам.

101. Рамка гальванометра длиной $a=4$ см и шириной b =1,5 см, содержащая N=200 витков тонкой проволоки, находится в магнитном поле с индукцией B=0,1 Тл. Плоскость рамки параллельна линиям индукции. Найти: 1) механический момент M, действующий на рамку, когда по витку течет ток I=1 мА; 2) магнитный момент p_m рамки при этом токе.

102. Частица, несущая один элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией B=0,5 Тл. Определить момент импульса L, которым обладала частица при движении в магнитном поле, если ее траектория представляла дугу окружности радиусом R=0,2 см.

103. Электрон движется в магнитном поле с индукцией B =0,02 Тл по окружности радиусом R=1 см. Определить кинетическую энергию W_K электрона (в джоулях и электрон-вольтах).

104. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов U=600 В, влетел в однородное магнитное поле с индукцией B =0,3 Тл и начал двигаться по окружности. Вычислить ее радиус R..

105. Электрон движется в однородном магнитном поле напряженностью H=4 кА/м со скоростью v=10 Мм/с. Вектор скорости направлен перпендикулярно линиям напряженности. Найти силу F, с которой поле действует на электрон, и радиус R окружности, по которой он движется.

106. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией B =9 мТл по винтовой линии, радиус R которой равен 1 см и шаг h=7,8 см. Определить период T обращения электрона и его скорость υ.

107. Перпендикулярно магнитному полю с индукцией B=0,1 Тл возбуждено электрическое поле напряженностью E=100 кВ/м. Перпендикулярно обоим полям движется, не отклоняясь от прямолинейной траектории, заряженная частица. Вычислить скорость υ частицы.

108. Протон, пройдя ускоряющую разность потенциалов U=800 В, влетает в однородные, скрещенные под прямым углом магнитное (В=50 мТл) и электрическое поля. Определить напряженность E электрического поля, если протон движется в скрещенных полях прямолинейно.

109. Обчислити швидкість v і кінетичну енергію W_K α-частинок, що виходять з циклотрона, якщо, підходячи до вихідного вікна, іони рухаються по колу радіусом R=50 см. Індукція B магнітного поля циклотрона дорівнює 1,7 Тл.

110. Два иона, имеющие одинаковый заряд, но различные массы, влетели в однородное магнитное поле. Первый ион начал двигаться по окружности радиусом R_1=5 см, второй ион — по окружности радиусом R_2 =2,5 см. Найти отношение m_1/m_2 масс ионов, если они прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов.

111. Вычислить циркуляцию вектора магнитной индукции вдоль контура, охватывающего токи I_1=10 А, I_2=15 А, текущие в одном направлении, и ток I_3=20 А, текущий в противоположном направлении.

112. По сечению проводника равномерно распределен ток плотностью j=2 МА/м^2. Найти циркуляцию вектора напряженности вдоль окружности радиусом R=5мм, проходящей внутри проводника и ориентированной так, что ее плоскость составляет угол α=30° с вектором плотности тока.

113. При двукратном обводе магнитного полюса вокруг проводника с током I=100А была совершена работа A=1 мДж. Найти магнитный поток Ф, создаваемый полюсом.

114. Тороид квадратного сечения содержит N=1000 витков. Наружный диаметр D тороида равен 40 см, внутренний d=20 см. Найти магнитный поток Ф в тороиде, если сила тока I, протекающего по обмотке, равна 10 А.

115. Два прямолинейных длинных параллельных проводника находятся на расстоянии d_1=10 см друг от друга. По проводникам в одном направлении текут токи I_1=20 А и I_2=30 А. Какую работу (на единицу длины прводников) надо совершить, чтобы раздвинуть их до расстояния d_2=20 см?

116. По соленоиду течет ток силой I=1 А.Магнитный поток, пронизывающий поперечное сечение сердечника, равен 2 мкВб. Определить индуктивность соленоида, если он имеет 500 витков.

117. Соленоид длиной l=1 м и сечением S=16 см^2 содержит N=2000 витков. Вычислить потокосцепление Ψ при силе тока I в обмотке 10 А.

118. Плоская квадратная рамка со стороной a=20 см лежит в одной плоскости с бесконечно длинным прямым проводом, по которому течет ток I =100А. Рамка расположена так, что ближайшая к проводу сторона параллельна ему и находится на расстоянии l=10 см от провода. Определить магнитный поток Ф, пронизывающий рамку.

119. Плоский контур, площадь S которого равна 300 см^2, находится в однородном магнитном поле с индукцией B =0,01 Тл. Плоскость контура перпендикулярна линиям индукции. В контуре поддерживается неизменный ток I=10 А. Определить работу A внешних сил по перемещению контура с током в область пространства, магнитное поле в которой отсутствует.

120. По дроту, зігнутому у вигляді квадрата зі стороною довжиною a=10 см, тече струм I=20 А, сила якого підтримується незмінною. Площина квадрата становить кут α=20° з лініями індукції однорідного магнітного поля (B=0,1 Тл). Обчислити роботу A, яку необхідно здійснити для того, щоб видалити провід за межі поля.

121. В однородном магнитном поле с индукцией $B=1$ Тл находится прямой провод длиной l=20 см, концы которого замкнуты вне поля. Сопротивление R всей цепи равно 0,1 Ом. Найти силу F, которую нужно приложить к проводу, чтобы перемещать его перпендикулярно линиям индукции со скоростью v=2,5 м/с.

122. В однорідному магнітному полі з індукцією B=0,4 Тл в площині, перпендикулярній лініям індукції поля, обертається стрижень довжиною l=10 см. Вісь обертання проходить через один з кінців стрижня. Визначити різницю потенціалів U на кінцях стрижня при частоті обертання n = 16 с$^{-1}$.

123. В однородном магнитном поле с индукцией B=0,35 Тл равномерно с частотой n=480 мин$^{-1}$ вращается рамка, содержащая N=500 витков площадью S=50см^2. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Определить максимальную ЭДС индукции ε_{max}, возникающую в рамке.

124. Проволочное кольцо радиусом r=10 см лежит на столе. Какое количество электричества q протечет по кольцу, если его повернуть с одной стороны на другую? Сопротивление R кольца равно 1 Ом. Вертикальная составляющая индукции B магнитного поля Земли равна 50 мкТл.

125. Индуктивность L катушки равна 2 мГн. Ток частотой υ=50 Гц, протекающий по катушке, изменяется по синусоидальному закону. Определить среднюю ЭДС самоиндукции $\langle\varepsilon_i\rangle$, возникающую за интервал времени Δt, в течение которого ток в катушке изменяется от минимального до максимального значения. Амплитудное значение силы тока I_0=10 А.

126. Катушка имеет индуктивность L=0,2 Гн и сопротивление R=1,64 Ом. Во сколько раз уменьшится ток в катушке через время t=0,05 с после того, как ЭДС будет выключена?

127. Соленоид содержит N=1000 витков. Площадь S сечения сердечника равна 10см^2. По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией B=1,5 Тл. Найти среднюю ЭДС индукции $\langle\varepsilon_i\rangle$, возникающей в соленоиде, если ток уменьшится до нуля за время t=500 мкс.

128. В цепи шел ток I=50 А. Источник тока можно отключить от цепи, не разрывая ее. Определить силу тока I в этой цепи через t=0,01 с после отключения ее от источника тока. Сопротивление R цепи равно 20 Ом, ее индуктивность L=0,l Гн.

129. Катушка имеет индуктивность L=0,144 Гн и сопротивление R=10 Ом. Через какое время t после включения в катушке потечет ток, равный половине установившегося?

130. На расстоянии a=1 м от длинного прямого повода с током силой I=1 кА находится кольцо радиусом r=1 см. Кольцо расположено так, что поток, пронизывающий его, максимален. Сопротивление кольца R=10 Ом. Найти заряд, который протечет по кольцу, когда ток в проводнике будет выключен. Поле в пределах кольца считать однородным.

131. Соленоид содержит N=1000 витков. Сила тока I в его обмотке равна 1 А, магнитный поток Ф через поперечное сечение соленоида равен 0,1 мВб. Вычислить энергию W магнитного поля.

132. На железное кольцо намотано в один слой N =200 витков. Определить энергию W магнитного поля, если при токе I =2,5 А магнитный поток Ф в железе равен 0,5 мВб.

133. Обмотка тороїда з немагнітним сердечником має n = 10 витків на кожен сантиметр довжини. Визначити густину енергії w поля, якщо по обмотці тече струм I = 16 А.

134. Обмотка тороида содержит n=10 витков на каждый сантиметр длины. Сердечник немагнитный. При какой силе тока I в обмотке плотность энергии ω магнитного поля равна 1 Дж/м^3?

135. Катушка индуктивностью L=l мГн и воздушный конденсатор, состоящий из двух круглых пластин диаметром D=20 см каждая, соединены параллельно. Расстояние d между пластинами равно 1 см. Определить период T колебаний.

136. Колебательный контур имеет индуктивность L=1,6 мГн, электроемкость C=0,04 мкФ и максимальное напряжение U_{max}. на зажимах, равное 200 В. Определить максимальную силу тока $I_{\max}$ в контуре. Сопротивление контура ничтожно мало.

137. Катушка (без сердечника) длиной l=50 см и площадью S_1 сечения, равной 3 см^2, имеет N=1000 витков и соединена параллельно с конденсатором. Конденсатор состоит из двух пластин площадью S_2=75 см^2 каждая. Расстояние d между пластинами равно 5 мм. Диэлектрик — воздух. Определить период T колебаний контура.

138. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью L=5 мГн и плоского конденсатора. Расстояние между обкладками конденсатора d=4 мм, площадь обкладок S=2 см^2, диэлектрик – слюда. На сколько изменится период колебаний в контуре, если заменить слюду эбонитом?

139. Колебательный контур содержит конденсатор электроемкостью C=8 пФ и катушку индуктивностью L=0,5 мГн. Каково максимальное напряжение U_{max}.на обкладках конденсатора, если максимальная сила тока $I_{\max}$=40 мА?

140. На какую длину волны λ будет резонировать контур, состоящий из катушки индуктивностью L=4 мкГн и конденсатора электроемкостью C=1,11 нФ?

141. Висмутовый шарик радиусом R=1 см помещен в однородное магнитное поле (B_0=0,5Тл). Определить магнитный момент p_m приобретенный шариком, если магнитная восприимчивость χ висмута равна -1,5·10^{-4} м^3/кг.

142. Напряженность H магнитного поля в меди равна 1 МА/м. Определить намагниченность J меди и магнитную индукцию B, если известно, что удельная магнитная восприимчивость $\chi_{уд}$= - 1,1·10^{-9} м^3/кг. Плотность меди ρ=8,6·10^3 кг/м^3/

143. Определить магнитную восприимчивость χ и молярную магнитную восприимчивость χ_m платины, если удельная магнитная восприимчивость $\chi_{уд}$=1,30·10^{-9} м^3/кг. Плотность платины ρ=21,5·10^3 кг/м^3

144. Прямоугольный ферромагнитный брусок объемом V=10см^3 приобрел в магнитном поле напряженностью H=800 А/м магнитный момент p_m=0,8А·м^2. Определить магнитную проницаемость μ ферромагнетика.

145. Постійний струм I = 1 А тече вздовж довгого однорідного циліндричного дроту круглого перетину радіусом R = 1 мм. Матеріал дроту □– парамагнетик з магнітною сприйнятливістю χ =10^{-3}. Визначити густину струму намагнічування всередині дроту.

145. Постоянный ток I=1 А течет вдоль длинного однородного цилиндрического провода круглого сечения радиусом R=1 мм. Материал провода – парамагнетик с магнитной восприимчивостью χ=10^{-3}. Определить плотность тока намагничивания внутри провода.

146. Небольшой шарик объемом V=1 мм^3 из парамагнетика с магнитной восприимчивостью χ=10^{-3} переместили вдоль оси катушки из точки, где магнитная индукция B=10^{-4} Тл, в область, где поле практически отсутствует. Какую при этом совершили работу?

147. Длинный тонкий стержень из парамагнетика с магнитной восприимчивостью χ=2·10^{-3} площадью поперечного сечения S=1 мм^{2}расположен вдоль оси катушки с током. Один конец стержня находится в центре катушки, где магнитная индукция B=10^{-3} Тл, а другой конец – в области, где магитное поле отсутствует. С какой силой катушка действует на стержень?

148. Магнитная восприимчивость χ вольфрама равна 1,76·10^{-4}. Вычислить намагниченность J, удельную намагниченность $J_{уд}$ и молярную намагниченность J_m вольфрама в магнитном поле напряженностью H=100 кА/м. Плотность вольфрама $\rho=19,3\cdot10^3$ кг/м^3.

149. Найти магнитную восприимчивость χ AgBr, если его молярная магнитная восприимчивость $\chi_m=7,5\cdot10^{-10}$ м^3/моль.

150. Магнитная восприимчивость χ алюминия равна $2,1\cdot10^{-5}$. Определить его удельную магнитную $\chi_{уд}$ и молярную χ_m восприимчивости. Плотность алюминия $\rho=2,7\cdot10^3$.

Додаток

Таблиця 1 – **Літери грецького алфавіту**

Α, α – альфа	Ι, ι – йота	Ρ, ρ – ро
Β, β – бета	Κ, æ – капа	Σ, σ – сігма
Γ, γ – гама	Л, λ – ланбдо	Τ, τ – тау
Д, δ – дельта	Μ, μ – мю	V, υ – іпсілон
Ε, ε – епсилон	Ν, ν – ню	Φ, φ – фі
Ζ, ζ – дзета	Ξ, ξ – ксі	Χ, χ – хі
Η, η – ета	Ο, ο – омікрон	Ψ, ψ – псі
Θ, θ – тета	Π, π пі	Ω, ω – омега

Таблиця 2 – **Множники та префікси утворення кратних і часткових одиниць**

Найменування	**Позначення**	**Множник**	**Найменування**	**Позначення**	**Множник**
Пета	П	10^{15}	Деці	д	10^{-1}
Тера	Т	10^{12}	Санті	с	10^{-2}
Гіга	Г	10^{9}	Мілі	м	10^{-3}
Мега	М	10^{6}	Мікро	мк	10^{-6}
Кіло	к	10^{3}	Нано	н	10^{-9}
Гекто	г	10^{2}	Піко	п	10^{-12}
Дека	де	10^{1}	Фемто	ф	10^{-15}

Таблиця 3 – **Деякі фундаментальні фізичні величини (сталі)**

Фізична стала	**Позна-чення**	**Значення**
Маса Землі	$M_З$	$5{,}976 \cdot 10^{24}$ кг
Радіус Землі (середній)	$R_З$	$6{,}37 \cdot 10^{6}$ м
Нормальне прискорення вільного падіння	g	9,81 м/с^2
Гравітаційна стала	G	$6{,}67 \cdot 10^{-11}$ м^3/(кг·с^2)
Стала Авогадро	N_A	$6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Універсальна газова стала	R	8,31 Дж/(моль·К)
Стандартний молярний об’єм	V_m	$22{,}4 \cdot 10^{-3}$ м^3/моль
Стала Больцмана	k	$1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Швидкість світла у вакуумі	c	$3{,}00 \cdot 10^{8}$ м/с

Таблиця 4 – **Густина ρ газів за нормальних умов**

Вид газу	**ρ, кг/м^3**	**Вид газу**	**ρ, кг/м^3**
Азот	1.25	Кисень	1,47
Водень	0,09	Окис вуглецю	1,25
Водяна пара (100°С)	0,88	Повітря	2,2
Гелій	0,179	Пропан	2,2

Таблиця 5 – **Густина ρ рідин (при *T*=293 К)**

Вид рідини	**ρ, 10^3 кг/м^3**	**Вид рідини**	**ρ, 10^3 кг/м^3**
Ацетон	0,8	Дизельне пальне	1,0
Бензин(легкий)	0,7	Морська вода	1,02-1,04
Вода	1,0	Ртуть	13,5
Гас	0,8	Сірчана кислота	1,8-1,85
Гліцерин	1,26	Спирт	0,79-0,83

Таблиця 6 – **Густина ρ твердих речовин**

Речовина	**ρ, 10^3 кг/м^3**	**Речовина**	**ρ, 10^3 кг/м^3**
Алюміній	2,71	Латунь	8,6
Бетон	2,2	Мідь	8,9
Граніт	2,8	Піщаник	2,4
Дуб	0,8	Плексиглас	1,2
Залізо	7,8	Свинець	11,34
Золото	19,3	Сосна	0,5
Кам’яне вугілля	1,4	Срібло	10,5
Крига	0,9	Цинк	7,1

Таблиця 7 – **Коефіцієнт поверхневого натягу σ рідини (при 20^0 С)**

Рідина	σ, мН/м	Рідина	σ, мН/м
Ацетон	23,3	Розчин мила	40
Вода	72,7	Ртуть	465…490
Гліцерин	65,7	Спирт	22…23
Гас	28,9	Трансформаторне масло	36…40

Навчальне видання

Методичні вказівки і контрольні завдання для виконання розрахунково-графічних робіт з фізики.
Розділ «Механіка і молекулярна фізика»

Укладачи:
Гаврилова Тетяна Володимирівна
Єрьоміна Олена Федорівна.
Сабокарь Олег Сергійович
Шиндерук Світлана Одександрівна
Стрельнікова Вікторія Анатоліївна

Відповідальний за випуск Батигін Ю.В.

Підписано до друку________. Формат 60х84 2/2.
Усл. печ. лист. . Уч.-изд. лист. 1,5.
Замовлення №________. Наклад 50 екз. Ціна договірна

ХНАДУ, 61002, Харьков-ГСП, вул. Ярослава Мудрого, 25

Підготовлено і надруковано видавництвом Харківського національного автомобільно-дорожнього університет.