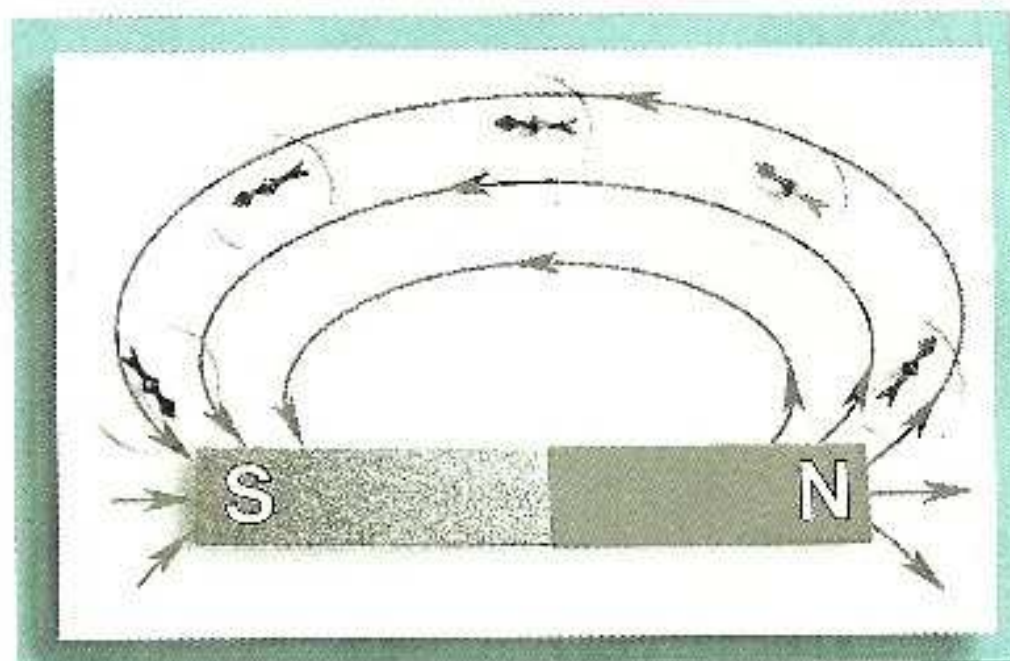


Харківський національний
університет імені В. Н. Каразіна



ЗБІРНИК ЗАДАЧ ІЗ ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ



НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

В 33
УДК 537 (076.1)
ББК 22.33 я 73 – 4
341 В 65

Рекомендовано Вченою радою Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 10 від 30 жовтня 2009 року)

Рецензенти:

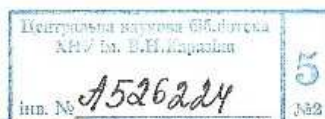
М. О. Азаренков, член-кореспондент НАН України,
доктор фізико-математичних наук, завідувач кафедри
матеріалів реакторобудування ХНУ імені В. Н. Каразіна;
А. М. Колдратенко, доктор фізико-математичних наук,
професор факультету комп'ютерних наук ХНУ імені
В. Н. Каразіна;
В. М. Сухов, кандидат фізико-математичних наук, доцент
фізичного факультету ХНУ імені В. Н. Каразіна.

Збірник задач із загальної фізики: електрика і магнетизм /
3 41 Укл.: Войцєня Т. І., Гірка І. О. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна,
2009. – 118 с.

Збірник адресовано студентам інженерно-фізичних напрямків
підготовки та викладачам університетів України. До збірника
увійшли задачі, що їх протягом багатьох років використовували для
організації аудиторної та самостійної роботи студентів на кафедрі
загальної та прикладної фізики фізико-технічного факультету
Харківського університету. Ці задачі відібрано з численних
підручників та задачників, а також частково розроблено доцентом
Т. І. Войцєнею самостійно.

УДК 537 (076.1)
ББК 22.33 я 73 – 4

© Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, 2009
© Войцєня Т. І., Гірка І. О., укл., 2009
© Макет обкладинки, Дончик І. М., 2009



ЗМІСТ

Вступ	4
1. Стале електричне поле у вакуумі	9
2. Провідники та діелектрики в електричному полі	17
3. Електроємність. Енергія електричного поля	27
4. Електричний струм	33
5. Електричний струм у газах та електролітах	47
6. Стале магнітне поле. Магністики	54
7. Робота при переміщенні провідника зі струмом у магнітному полі та електромагнітна індукція	64
8. Рух заряджених частинок в електричному та магнітному полях	74
9. Періодичні струми. Електричні коливання	78
Відповіді	86
Додатки	110

Вступ

«Учений досліджує природу не тому, що це корисно. Він займається вивченням природи, бо він у захваті від неї; і він у захваті, бо вона красива. Коли б природа не була красивою, вона не була б гідною бути досліджуваною, та коли б природа не була гідною бути досліджуваною, не варто було б жити.»

HENRI POINCARÉ

Для засвоєння програми із загальної фізики студенти мають прослухати курс лекцій, вивчити відповідну методичну літературу, розв'язати задачі, які підбрані до кожної теми, виконати лабораторні роботи. Ми вважаємо за потрібне запропонувати кілька **порад**, які можуть бути корисними для студентів. Часто викладачів питають: «Як слід вивчати фізику та готувати себе до дослідної роботи?» На це питання немає простої відповіді, але ми все ж таки хотіли б запропонувати дещо, спираючись на власний досвід у вивченні та викладанні фізики.

1. Передусім, підтримуйте в собі позитивне **ставлення** до предмету, беручи до уваги, що фізика є найфундаментальнішою з усіх природничих наук. Курси інших дисциплін, які ви будете вивчати після загальної фізики, будуть спиратися на ті самі фізичні підвалини, тому важливо одразу зрозуміти основні поняття та концепції та бути здатними їх застосовувати.

2. Дуже важливо, щоб ви зрозуміли основні концепції та принципи **перед** тим, як станете розв'язувати конкретні задачі. Найкраще, аби напередодні **лекцій** Ви проглянули підручник. При цьому слушно окреслити ті положення, які Вам незрозумілі. Майте

на увазі, що небагато людей здатні опанувати поглиблене значення наукового матеріалу після одного прочитання. Можливо, буде потрібно прочитати текст кілька разів. Уважно конспектуйте лекцію, сміливо ставлячи питання лектору стосовно положень, які потребують додаткового роз'яснення (в природі не існує дурних питань, погано, якщо навіть після лекції ті самі положення залишаться незрозумілими). Слухання лекцій та робота в лабораторії мають доповнити книгу та роз'яснити частину найскладнішого матеріалу. Вам слід звести зазубрювання матеріалу до мінімуму. Зазубрювання параграфів із книжок, рівнянь та їх виведення зовсім не свідчить, що Ви розумієте матеріал. Ваше розуміння матеріалу буде розширене внаслідок обговорень з іншими студентами та викладачами, спостереження досліджуваних явищ на лабораторних роботах та розв'язання домашніх завдань. Запитуйте шоразу, коли Ви відчуваєте, що це необхідно. Можна також порадитись із студентами старших курсів. Ні в якому разі не відкладайте вивчення матеріалу до сесії. Такий підхід, як правило, призводить до незадовільних наслідків аж до відрахування з університету. Уникайте навчання вночі, бо сили Вам стануть в нагоді назавтра в аудиторіях, до того ж такий режим може негативно позначитися на здоров'ї.

3. Центральне місце в опануванні фізикою посідає **розв'язання задач**. Нобелівський лауреат з фізики Роберт Фейнман якось висловився: «Ніхто не знає предмету, доки він в ньому не попрактикувався.» У цьому збірнику містяться задачі, що їх ретельно підібрано до кожної теми з електрики та магнетизму. Для

найкращого засвоєння матеріалу ми радимо не зволікати з розв'язанням домашніх завдань та складанням домашнього завдання викладачеві. Розв'язуйте задачі одразу після того, як Ви прослухали відповідний матеріал на лекціях – це дозволить Вам, з одного боку, якнайкраще зрозуміти та засвоїти теоретичний матеріал та, з другого боку, так Вам буде якнайлегше розв'язувати задачі, бо теоретичний матеріал ще не вивіється з голови. Ефективне розв'язання задач неможливе без Вашого розуміння основних понять і визначень, про які Ви довідаєтесь на лекціях та з підручників. Коли Ви розв'язали задачу, спробуйте знайти інший спосіб розв'язання. Не слід вважати, що Ви вмієте розв'язувати задачу, лише на тій підставі, що Ви бачили, як задачу було розв'язано в аудиторії. Такий висновок може бути справедливий лише, якщо Ви розв'язали задачу власноручно.

Часто можна спостерігати, що студенти помиляються, розв'язуючи задачу, через те, що не розуміють обмеженості сфери застосування тих чи інших формул або фізичних законів. Дуже важливо, аби Ви розуміли та пам'ятали припущення, на яких базується та чи інша специфічна теорія або формалізм.

Пропонуємо Вам увазі кілька зауважень щодо загальної стратегії розв'язання задач. Більшість розділів загальної фізики передбачають вміння студента застосовувати знання про предмет шляхом розв'язання задач. Розв'язуючи задачу, зверніть увагу на наступні п'ять моментів.

1. Побудуйте відповідно до умов задачі діаграму, малюнок, схему тощо зі слушними позначками. Згідно із симетрією задачі

оберіть координатні осі, коли потрібно.

2. Визначте, що саме належить знайти. Залежно від цього згадайте та запишіть основні фізичні закони, які справедливі у системі, що розглядається. Корисно при цьому позначати, які з фізичних величин, що входять до законів, відомі, які – ні.
3. Оберіть або виведіть рівняння чи систему рівнянь, з яких можна здобути необхідну вам фізичну величину, та знайдіть відповідь у загальному вигляді.
4. Підставте значення поданих за умовою задачі величин до одержаного розв'язку, звертаючи увагу на те, аби всі вони були записані в одній системі вимірювань.
5. Рахувати числове значення слід обов'язково в усіх задачах, де це можливо. Не забувайте перевірити та проаналізувати одержану відповідь. Перевірте відповідь за розмірністю, оцініть, чи прийняття числове значення одержано для невідомого. Зверніть увагу на знак відповіді. Чи не обертається знаменник на нуль? Чи переходить одержана відповідь у відомий з попереднього досвіду результат у якомусь граничному випадку?

4. Розв'язання фізичних задач, з одного боку, допомагає засвоїти теоретичний матеріал і, з іншого боку, неможливе без знання цього матеріалу. Слухання лекцій з електрики та магнетизму обов'язково слід доповнювати самостійним читанням підручників. Коли Ви вперше взяли до рук якийсь *підручник*, не полінуйтеся переглянути вступ, в якому автор, як правило, подас корисні зауваження щодо будови та значних рис свого твору. Так Ви можете позбавитись зайвого клопоту та збільшити ефективність

та насолоду від спілкування з книгою. Працюючи з підручником, занотуйте найважливіше та найнеобхідніше до конспекту. Корисно ознайомитися з кількома підручниками (як правило, лектор на першій лекції надає список рекомендованих підручників) та добрати з нього один-два для постійної роботи з ними. Найкращий підручник (як і співбесідник) – той, який Ви розумієте якнайкраще.

5. Фізика є наукою *експериментальною*. Тому ми радимо Вам щоразу намагатися перевірити матеріал, що вивчається, експериментальним шляхом. Певною мірою Вам допоможе в цьому фізичний практикум.

Збірник побудовано у такий спосіб. Перша частина збірника містить умови задач. Вона складається з дев'яти розділів. Перед кожним розділом наведено основні формули, які використовуються при розв'язанні задач за цим розділом. У другій частині збірника наведено відповіді до задач, а також в окремих випадках, коли необхідно, і методичні поради до розв'язання задач. Наприкінці подано довідковий матеріал.

Автори вважають за свій приємний обов'язок висловити вдячність авторам численних радянських збірників задач та підручників, з яких частково відібрано задачі до нашого збірника, а також професорові А. М. Кондратенку, який ініціював створення цього збірника, за корисні поради, зроблені під час рецензування цього видання.

1. Стале електричне поле у вакуумі

Закон Кулона: $\vec{F} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{n}$.

Напруженість і потенціал поля точкового заряду q :

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}, \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}.$$

Зв'язок між напруженістю електричного поля та потенціалом:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi.$$

Теорема Гауса та циркуляція вектора $\vec{E}$:

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = q/\epsilon_0, \quad \oint_L \vec{E} d\vec{l} = 0.$$

Потенціал і напруженість поля точкового диполя з

електричним моментом $\vec{p}$: $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{p} \cdot \vec{r}}{r^3}$.

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2\theta}, \text{ де } \theta - \text{кут між векторами } \vec{r} \text{ та } \vec{p}.$$

Енергія диполя W у зовнішньому електричному полі та момент сил $\vec{N}$, що діють на диполь: $W = -\vec{p} \cdot \vec{E}$, $\vec{N} = [\vec{p}, \vec{E}]$.

Сила $\vec{F}$, що діє на диполь: $\vec{F} = p \frac{d\vec{E}}{dl}$.

Напруженість поля зарядженої прямої нитки та поля поза рівномірно зарядженим циліндром на відстані r від його осі:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}, \text{ де } \lambda - \text{заряд одиниці довжини нитки або циліндра.}$$

Напруженість поля площини, рівномірно зарядженої із густиною σ :

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

Напруженість поля в плоскому, циліндричному та сферичному конденсаторах:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}, E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}, E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Електрична стала вакууму $\epsilon_0 = 8,84 \times 10^{-12}$ ф/м.

1. Тонкий стрижень рівномірно заряджений зарядом $q = 60$ од. заряду СГС. Визначити напруженість у точці, що відстоїть від кінців стрижня на відстані $l = 20$ см, а від середини стрижня – на відстань $a = 15$ см.

2. Кільце радіусом $R = 5$ см з тонкого дроту рівномірно заряджено 50 од. заряду СГС. Визначити: а) напруженість поля в центрі кільця; б) напруженість у точці, що міститься на перпендикулярі до площини кільця, проведеному із центра кільця, і віддалений від нього на відстань $h = 10$ см; в) максимальну напруженість на цьому перпендикулярі.

3. Кругла пластинка радіусом $R = 8$ см рівномірно заряджена електричним зарядом із густиною $\sigma = 5$ од. заряду СГС на 1 см^2 .

а) Визначити напруженість поля в точці, що лежить на

відстані $d = 6$ см від пластинки на перпендикулярі до площини пластинки, що проходить крізь її геометричний центр.

б) Показати, що здобута формула переходить у формулу напруженості поля безмежної зарядженої площини ($E = 2\pi\sigma$), якщо $d \rightarrow 0$, і у формулу для напруженості поля точкового заряду, якщо $d \gg R$.

4. Площину рівномірно заряджено електричним зарядом із густиною σ . У середині площини є круглий отвір, радіус якого a є малим у порівнянні з розмірами площини. Знайти напруженість поля в точці, що лежить на перпендикулярі до площини, що проходить крізь центр отвору на відстані d від площини.

5. На рис. 1 показано два однакові диполі $[p]$, які розташовано взаємно перпендикулярно на відстані $r \gg l$. Які обертаючі моменти діють на диполь A , на диполь B та на всю систему в цілому?

6. Півсферу рівномірно заряджено електричним зарядом із поверхневою густиною σ . Визначити напруженість поля в центрі півсфери.

7. Накреслити (приблизно) графіки, що показують, як змінюється напруженість поля залежно від відстані в наступних випадках.

а) Поле двох площин, які заряджено протилежними зарядами (плоский



Рис. 1 (до задачі 5)

конденсатор). Вздовж осі абсцис слід відкласти відстань x від довільної точки, що лежить ліворуч від плоского конденсатора, відраховану праворуч.

б) Поле сферичного конденсатора з радіусами R_1 і R_2 . Внутрішню кулю заряджено позитивно. Вздовж осі абсцис слід відкласти відстань r від центра.

в) Поле шару діелектрика, що його заряджено з однорідною об'ємною густиною ρ . Вздовж осі абсцис слід відкласти відстань від довільної точки, що лежить ліворуч від шару, відраховану праворуч.

г) Поле кулі з діелектрика, що його заряджено з однорідною об'ємною густиною ρ . Вздовж осі абсцис слід відкласти відстань від центра кулі.

8. Є дві системи точкових зарядів $q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_{N_1}$ і $q'_1, q'_2, \dots, q'_i, \dots, q'_{N_2}$, що їх закріплено в точках з радіусами-векторами $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_i, \dots, \vec{r}_{N_1}$ і $\vec{r}'_1, \vec{r}'_2, \dots, \vec{r}'_i, \dots, \vec{r}'_{N_2}$. Знайти силу F , з якою система зарядів q'_i діє на систему зарядів q_i .

9. По тілу з об'ємом V розподілений заряд q із густиною $\rho = \rho(\vec{r})$; по тілу з об'ємом V' розподілений інший заряд q' з густиною $\rho' = \rho'(\vec{r}')$. Написати вираз для сили F , з якою заряд q' діє на заряд q .

10. По області V розподілений заряд із густиною $\rho = \rho(\vec{r})$. Написати вираз для потенціалу ϕ та напруженості поля $\vec{E}$ в точці з

радіусом-вектором $\vec{r}'$.

11. Тонке дрітине кільце радіусу r несе електричний заряд q . Яким буде збільшення сили, що розтягує дріт, якщо в центр кільця помістити точковий заряд q_0 ?

12. У вершинах квадрата з діагоналлю $2l$ містяться точкові заряди q і $(-q)$, як показано на рис. 2. Знайти модуль вектора напруженості електричного поля в точці, що відстоїть на відстань x від центру квадрата та

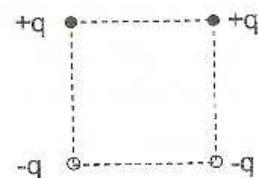


Рис. 2 (до задачі 12)

розташована симетрично відносно вершин квадрата.

13. Точковий заряд q міститься в центрі тонкого кільця радіусу R , по якому рівномірно розподілений заряд $(-q)$. Знайти модуль вектора напруженості електричного поля на осі кільця в точці, що відстоїть від центра кільця на відстань x , якщо $x \gg R$.

14. Дуже довга пряма рівномірно заряджена нитка має заряд λ на одиницю довжини. Знайти модуль і напрямок вектора напруженості електричного поля в точці, що відстоїть від нитки на відстань y і міститься на перпендикулярі до нитки, що проходить крізь один з її кінців.

15. Сферу радіусу r заряджено з поверхневою густиною $\sigma = \vec{\alpha} \cdot \vec{r}$, де $\vec{\alpha}$ — сталий вектор, $\vec{r}$ — радіус-вектор точки сфери відносно її центру. Знайти вектор напруженості електричного поля в центрі сфери.

16. Знайти вектор напруженості електричного поля в центрі кулі радіусу R , об'ємна густина заряду якого $\rho = \vec{\alpha} \vec{r}$, де $\vec{\alpha}$ – сталий вектор, $\vec{r}$ – радіус-вектор, що його проведено із центру кулі.

17. Рівномірно заряджена дуже довга нитка, яку розташовано вздовж осі кола радіусу R , упирається одним своїм кінцем у його центр. Заряд нитки на одиницю довжини дорівнює λ . Знайти потік вектора $\vec{E}$ крізь площу кола.

18. Кулю радіусу R рівномірно заряджено з об'ємною густиною ρ . Знайти потік вектора напруженості електричного поля крізь переріз кулі, що утворений площиною, яка відстоїть від центру кулі на відстані $r_0 < R$.

19. Куля радіусу R несе позитивний заряд, об'ємна густина якого залежить лише від відстані r до його центра за законом $\rho = \rho_0 [1 - r/R]$, де ρ_0 – стала. Вважаючи, що діелектрична проникність кулі та навколишнього простору дорівнює одиниці, знайти: а) модуль вектора напруженості електричного поля усередині та поза кулею як функцію відстані r ; б) максимальне значення напруженості $E_{\max}$ і відповідне йому значення відстані $r_{\max}$.

20. Усередині кулі, яку заряджено рівномірно з об'ємною густиною ρ , є сферична порожнина. Центр порожнини зміщений відносно центру кулі на величину α . Знайти напруженість $\vec{E}$ поля усередині порожнини, вважаючи діелектричну проникність рівною одиниці.

21. Усередині безмежно довгого круглого циліндра, що його

заряджено рівномірно з об'ємною густиною ρ , є кругла циліндрична порожнина. Відстань між осями циліндра та порожнини дорівнює α . Знайти напруженість електричного поля в порожнині. Діелектричну проникність уважати рівною одиниці.

22. Є два тонких дрітятих кільця радіусу R кожне, осі яких збігаються. Заряди кілець дорівнюють q та $(-q)$. Знайти різницю потенціалів між центрами кілець, що відстоять одне від одного на відстані α .

23. Безмежно довгу пряму нитку заряджено рівномірно з лінійною густиною $\lambda = 0,40$ мкКл/м. Обчислити різницю потенціалів точок 1 і 2, якщо точка 2 перебуває в $\eta = 2,0$ рази далі від нитки, ніж точка 1.

24. Дуже тонку круглу пластинку радіусу R , що міститься у вакуумі, рівномірно заряджено з поверхневою густиною σ . Знайти потенціал і напруженість електричного поля на осі пластинки як функцію відстані l від її центру.

Проаналізувати отриманий вираз при $l \rightarrow 0$ та $l \gg R$.

25. Знайти потенціал ϕ на краю тонкого диска радіусу R , по якому рівномірно розподілений заряд із поверхневою густиною σ .

26. Два коаксіальних кільця, кожне радіусу R , з тонкого дроту перебувають на малій відстані l одне від одного ($l \ll R$) і мають заряди q і $(-q)$. Знайти

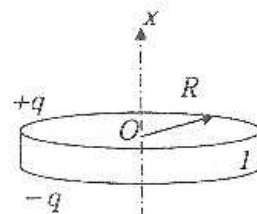


Рис. 3 (до задачі 26)

потенціал і напруженість електричного поля на осі системи як функції координати x (рис. 3). Зобразити на одному рисунку схематичні графіки отриманих залежностей. Проаналізувати ці функції при $|x| \gg R$.

27. Диполь із електричним моментом $\vec{p}$ розташований на відстані r від довгої нитки, яку заряджено рівномірно з лінійною густиною λ . Знайти силу $\vec{F}$, яка діє на диполь, якщо вектор $\vec{p}$ орієнтований: а) уздовж нитки; б) по радіусу-вектору $\vec{r}$; в) перпендикулярно до нитки та до радіуса-вектора $\vec{r}$.

28. Знайти потенціал $\phi(x, y)$ електричного поля $\vec{E} = 2\alpha xy \vec{i} + \alpha(x^2 - y^2) \vec{j}$, де α — це стала, $\vec{i}$ та $\vec{j}$ — це орти осей x та y .

29. Потенціал поля в деякій області простору залежить лише від координати x : $\phi = -ax^3 + b$, де a і b — деякі сталі. Знайти розподіл об'ємного заряду $\rho(x)$.

30. Дві безмежні площини, що відстоять одна від одної на відстань l , заряджені рівномірно з поверхневою густиною σ і $-\sigma$ (рис. 4). Площини мають коаксіальні отвори радіусу R , причому $l \ll R$. Взявши координатну вісь x з початком відліку 0, як показано на рисунку, знайти потенціал і проекцію вектора напруженості електричного поля E_x на вісь системи як функції координати x . Зобразити приблизний графік $\phi(x)$.

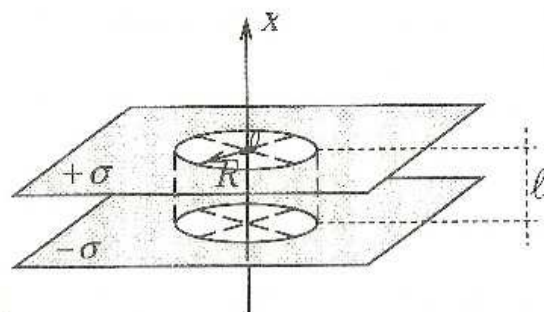


Рис. 4 (до задачі 30)

2. Провідники та діелектрики в електричному полі

Умови на межі поділу двох діелектриків: $E_{1r} = E_{2r}$, $D_{2n} - D_{1n} = \sigma$, $P_{2n} - P_{1n} = \sigma'$, де σ та σ' — поверхневі густини сторонніх і зв'язаних зарядів.

Потік вектора поляризації $\vec{P}$ крізь замкнуту поверхню $\oint \vec{P} d\vec{s} = -q'$, де q' — алгебраїчна сума зв'язаних зарядів усередині цієї поверхні.

Вектор $\vec{D}$ і теорема Гауса для нього: $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$, $\oint \vec{D} d\vec{s} = q$, де q — алгебраїчна сума сторонніх зарядів усередині цієї поверхні.

Для ізотропних діелектриків $\vec{P} = \kappa \epsilon_0 \vec{E}$, $\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}$, $\epsilon = 1 + \kappa$.

У випадку ізотропного однорідного діелектрика, що

7536224



заповнює весь простір між еквіпотенціальними поверхнями:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 / \epsilon.$$

Напруженість електричного поля поблизу поверхні провідника у вакуумі

$$E_n = \sigma / \epsilon_0$$

31. Дві пластинки ($S = 2 \text{ дм}^2$) містяться у гасі на відстані $d = 4 \text{ мм}$ одна від одної. З якою силою вони взаємодіють, якщо вони заряджені до різниці потенціалів $U = 150 \text{ В}$?

32. На плоский повітряний конденсатор із товщиною повітряного шару $1,5 \text{ см}$ подано напругу 39 кВ . Чи буде пробитий конденсатор, якщо гранична напруженість у повітрі дорівнює 30 кВ/см ? Чи буде пробитий конденсатор, якщо до нього посередині ввести паралельну стінкам скляну пластинку товщиною $0,3 \text{ см}$? Гранична напруженість для скла 100 кВ/см .

33. Циліндричний конденсатор має два шари діелектриків з діелектричними проникностями ϵ_1 та ϵ_2 і з граничними напруженостями E_1 та E_2 . Аби якомога раціональніше використати матеріал, бажано, щоб напруженість поля досягала значення, що відповідає пробою, в обох діелектриках одночасно. При якому співвідношенні між радіусами циліндрів діелектриків це буде мати місце?

34. а) Циліндричний конденсатор має два шари діелектриків. Перший шар – це папір, просочений лаком

($\epsilon_1 = 4 \text{ СГС}$), його внутрішній радіус $r_1 = 2 \text{ см}$, зовнішній $r_2 = 2,3 \text{ см}$. Другий шар – це скло ($\epsilon_2 = 7 \text{ СГС}$, $r_2 = 2,3 \text{ см}$, $r_3 = 2,5 \text{ см}$). Де буде пробитий конденсатор: у папері чи склі, якщо напругу поступово підвищувати? За якої напруги $U_{\text{поб}}$ буде пробитий конденсатор? Гранична напруженість для паперу $E_{1\text{поб}} = 120 \text{ кВ/см}$, а для скла $E_{2\text{поб}} = 100 \text{ кВ/см}$.

б) Розв'язати те саме завдання для випадку зворотного розташування шарів діелектриків (усередині – скло товщиною 2 мм , ззовні – папір, просочений лаком, товщиною 3 мм).

35. Між двома довгими паралельними дротами, протягнутими на відстані $l = 15 \text{ см}$ один від одного, підтримується різниця потенціалів $U = 1500 \text{ В}$. Радіус дротів $r = 1 \text{ мм}$. Визначити напруженість поля: а) у точці, що лежить посередині між дротами; б) у точці, що відстоїть від одного із дротів на відстані $R_1 = 30 \text{ см}$, і від іншого – на відстані $R_2 = 25 \text{ см}$.

36. Чотири провідні пластинки розташовані, як показано на рис. 5, паралельно один одному на рівних відстанях. Пластинки A і B розташовані на відстані d , заряджені до напруги U , після чого від'єднані від джерела напруги. Пластинки C і D незаряджені.

а) Якою є напруга між A і C , C і D , D і B ? Якою є напруженість поля у просторах між пластинками?

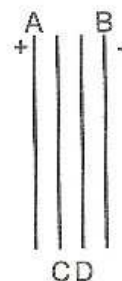


Рис.5 (до задачі 36)

б) Дайте відповідь на ті самі питання, якщо пластинки C і D з'єднати провідником і потім роз'єднати.

в) Дайте відповідь на ті самі питання, якщо після маніпуляцій, описаних у пункті б), пластинки A і B з'єднати провідником і потім роз'єднати.

г) Як змінюються відповіді на питання а), б), і в), якщо при перших двох положеннях пластинки A і B будуть підтримуватися при сталій напрузі, а при третьому положенні будуть спочатку від'єднані від джерела напруги й лише потім з'єднані провідником?

37. а) Точкові заряди $q_1 = +2 \times 10^{-9}$ Кл і $q_2 = +1 \times 10^{-9}$ Кл розташовані на відстані $d_1 = 4,6$ см один від одного. Між ними на однакових від них відстанях поміщено провідну, відведену до землі пластину товщиною $d_2 = 2$ см. Поверхні пластини перпендикулярні до прямої, що з'єднує заряди. Визначити силу, що діє на пластину.

б) Як зміниться відповідь, якщо один із зарядів замінити рівним йому за величиною негативним зарядом?

38. Точковий заряд $q = 5$ СГС розташований на відстані $a = 3$ см від металевої стінки, відведеної до землі. Знайти поверхневу густину наведеного заряду на стінці: а) у точці, що є найближчою до заряду q ; б) у точці, що перебуває на відстані $r = 5$ см від заряду; в) визначити загальну величину заряду, індукованого на поверхні стінки.

39. Визначити густину фіктивних зарядів на поверхнях слюдяної пластинки товщиною $0,2$ мм, що служить ізолятором у

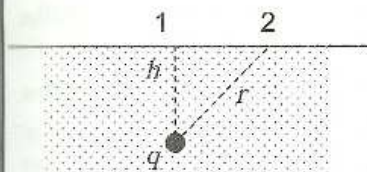


Рис. 6 а (до задачі 41)

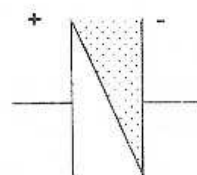


Рис. 6 б (до задачі 42)

плоскому конденсаторі, зарядженому до напруги 400 В.

40. Біля поверхні порцеляни напруженість поля в повітрі 200 В/см. Напрямок поля становить із нормаллю до поверхні кут 40° . Визначити: а) кут між напрямком поля та нормаллю в порцеляні; б) напруженість поля в порцеляні; в) густину фіктивних зарядів на межі порцеляна з повітрям.

41. У гасі на глибині $h = 3$ см від вільної поверхні перебуває точковий заряд $q = +50$ од. СГС (рис. 6 а). Визначити густину фіктивних зарядів на поверхні гасу: а) над зарядом і б) на відстані $r = 5$ см від заряду; в) визначити загальну величину фіктивного заряду на поверхні гасу.

42. Накреслити приблизне розташування ліній індукції та еквіпотенціальних поверхонь (що відрізняються на однакову різницю потенціалів) у наступних випадках.

1) Металеву кульку заряджено позитивно і наполовину занурено до гасу.

2) Між двома пластинками зарядженого плоского конденсатора поміщено, як показано на рис. 6 б, клин з парафіну.

43. Дві горизонтально розташовані пластинки заряджені зарядами $+2 \times 10^{-7}$ Кл і -2×10^{-7} Кл. Пластинки розташовані настільки близько, що поле між ними можна вважати однорідним. Нижню пластинку занурено до рідкого діелектрика ($\epsilon = 3$ од. СГС). Площа пластинок 300 см^2 . Визначити сили, що діють на кожен із пластинок і на поверхню рідини.

44. Невелика кулька висить над горизонтальною безмежною провідною площиною на ізолюючій пружній нитці жорсткості k . Після того, як кульку зарядили, вона опустилася на X см, і її відстань до провідної площини стала дорівнювати l . Знайти заряд кульки.

45. Точковий заряд q розташований на відстані l від безмежної провідної площини. Яку роботу необхідно виконати, щоб повільно віддалити цей заряд на дуже велику відстань від площини?

46. Два точкових заряди, q і $-q$, розташовані на відстані l один від одного і на однаковій відстані $l/2$ від безмежної провідної площини. Знайти: а) модуль вектора електричної сили, що діє на кожен заряд; б) модуль вектора напруженості електричного поля в точці, що розташована посередині між цими зарядами.

47. Тонка безмежно довга нитка має заряд λ на одиницю довжини і розташована паралельно безмежній провідній площині. Відстань між ниткою та площиною дорівнює l . Знайти: а) модуль вектора сили, що діє на одиницю довжини нитки; б) розподіл поверхневої густини заряду $\sigma(x)$ на площині, де x – це відстань від

площини, що є перпендикулярною до провідної поверхні та проходить крізь нитку.

48. Дуже довга пряма нитка орієнтована перпендикулярно до безмежної провідної площини та не доходить до цієї площини на відстань l . Нитку заряджено рівномірно з лінійною густиною λ . Нехай точка O – це слід нитки на площині. Знайти поверхневу густина індукованого заряду на площині: а) у точці O ; б) залежно від відстані r до точки O .

49. Знайти потенціал незарядженої провідної сфери, поза якою на відстані l від її центру розташований точковий заряд q .

50. Система складається із двох концентричних провідних сфер, причому на внутрішній сфері радіусу a міститься позитивний заряд q_1 . Який заряд q_2 слід помістити на зовнішню сферу радіусу b , щоб потенціал внутрішньої сфери виявився рівним нулю? Як буде залежати при цьому потенціал ϕ від відстані r до центру системи? Зобразити приблизний графік цієї залежності.

51. Чотири великі металеві пластини розташовані на малій відстані одна від одної, як показано на рис. 7. Крайні пластини з'єднані провідником, а на внутрішні пластини подано різницю потенціалів $\Delta\phi$. Знайти: а) значення напруженості електричного поля між

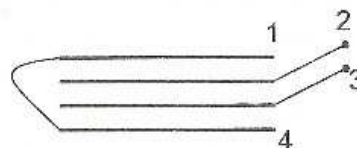


Рис. 7 (до задачі 51)

сусідніми пластинами; б) сумарний заряд, що припадає на одиницю площі кожної пластини.

52. Дві безмежні провідні пластини 1 і 2 розташовані на відстані l одна від одної. Між пластинами на відстані x від пластини 1 розташований точковий заряд q . Знайти заряди, які наведено на кожній із пластин.

53. Металева кулька радіусу $R = 1.5$ см несе заряд $q = 10$ мкКл. Знайти модуль вектора результуючої сили, що діє на заряд, що міститься на одній половині кульки.

54. Напруженість електричного поля у вакуумі біля плоскої поверхні однорідного ізогровного діелектрика з проникністю ϵ дорівнює E_0 . При цьому вектор $\vec{E}_0$ складає кут θ з нормаллю до поверхні діелектрика. Вважаючи поле всередині та ззовні діелектрика однорідним, знайти потік вектора $\vec{E}$ крізь сферу радіусу R із центром на поверхні діелектрика.

55. Безмежно велику пластину виготовлено з діелектрика із проникністю ϵ і заряджено рівномірно стороннім зарядом з об'ємною густиною ρ . Товщина пластини дорівнює $2d$. Знайти: а) модуль вектора напруженості електричного поля і потенціал як функції відстані l від середини пластини (потенціал у середині пластини прийняти рівним нулю), взявши координатну вісь x перпендикулярно до пластини, зобразити приблизні графіки залежностей проєкції $E_x(x)$ вектора $\vec{E}$ і потенціалу $\varphi(x)$; б) поверхневу та об'ємну густину зв'язаного заряду.

56. Сторонні заряди рівномірно розподілені з об'ємною

24

густиною $\rho > 0$ по кулі радіусу R , яку виготовлено з однорідного ізогровного діелектрика із проникністю ϵ . Знайти: а) модуль вектора напруженості електричного поля як функцію відстані r від центру кулі; зобразити приблизні графіки залежностей $E(r)$ і $\varphi(r)$; б) об'ємну та поверхневу густину зв'язаних зарядів.

57. Круглий діелектричний диск радіусу R і товщини d поляризований статично так, що поляризованість $\vec{P}$ є усюди однаковою, і вектор $\vec{P}$ лежить у площині диска. Знайти напруженість $\vec{E}$ електричного поля в центрі диска, якщо $d \ll R$.

58. Первісно простір між обкладками плоского конденсатора заповнено повітрям, і напруженість поля в зазорі дорівнює E_0 . Потім половину зазору, як



Рис. 8 (до задачі 58)

показано на рис. 8, заповнили однорідним ізогровним діелектриком з



Рис. 9 (до задачі 59)

проникністю ϵ . Знайти модулі векторів $\vec{E}$ і $\vec{D}$ в обох частинах зазору (1 і 2), якщо при введенні діелектрика

- напруга між обкладками не змінювалася;
- заряди на обкладках залишалися незмінними.

59. Розв'язати попередню задачу за умови, що діелектриком заповнили половину зазору, як показано на рис. 9.

60. Половину простору між двома концентричними обкладками сферичного конденсатора заповнено, як показано на

25

рисунку 10, однорідним ізотропним діелектриком із проникністю ϵ . Заряд конденсатора дорівнює q . Знайти модуль вектора напруженості електричного поля між обкладками як функцію відстані r від центру кривини цих обкладинок.

61. Дві однакові невеликі однойменно заряджені кульки підвішені на ізолюючих нитках рівної довжини до однієї точки. При заповненні оточуючого середовища гасом кут між нитками не змінився. Знайти густину матеріалу кульок.

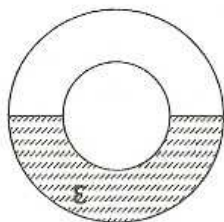


Рис. 10 (до задачі 60)

62. Усередині кулі з однорідного ізотропного діелектрика із проникністю $\epsilon = 5,00$ створене однорідне електричне поле напруженості $E = 100 \text{ В/м}$. Радіус кулі $R = 3,0 \text{ см}$. Знайти максимальну поверхневу густину зв'язаних зарядів і повний зв'язаний заряд одного знака.

63. Точковий заряд q розташований у вакуумі на відстані l від плоскої поверхні однорідного ізотропного діелектрика, що заповнює весь півпростір. Проникність діелектрика дорівнює ϵ . Знайти: а) поверхневу густину зв'язаних зарядів як функцію відстані r від точкового заряду q ; проаналізувати здобутий результат при $l \rightarrow 0$; б) сумарний зв'язаний заряд на поверхні діелектрика.

64. Скориставшись умовою та розв'язком попереднього

завдання, знайти модуль вектора сили, що діє на заряд з боку зв'язаних зарядів на поверхні діелектрика.

65. Точковий заряд q розташований на площині, що відокремлює вакуум від безмежного однорідного ізотропного діелектрика із проникністю ϵ . Знайти модулі векторів $\vec{D}$ і $\vec{E}$, а також потенціал ϕ як функції відстані r від заряду q .

66. Простір, що його заповнено однорідним ізотропним діелектриком із проникністю ϵ , обмежено провідною площиною. На відстані l від цієї площини в діелектрику міститься невелика металева кулька, що несе заряд q . Знайти поверхневу густину зв'язаних зарядів на межі з провідною площиною як функцію відстані r від кульки.

67. В однорідне електричне поле напруженості $\vec{E}$ помістили однорідну діелектричну кулю. За цих умов діелектрик поляризується однорідно. Знайти напруженість $\vec{E}$ електричного поля всередині кулі та поляризованість діелектрика, проникність якого дорівнює ϵ .

3. Електроємність, енергія електричного поля

Електроємність плоского конденсатора $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$.

Енергія взаємодії системи точкових зарядів $W = \frac{1}{2} \sum q_i \phi_j$.

Повна електрична енергія системи з безперервним

розподілом заряду

$$W = \frac{1}{2} \int \varphi \rho dV.$$

Повна електрична енергія двох заряджених тіл 1 і 2:

$W = W_1 + W_2 + W_{12}$, де W_1 і W_2 – власні енергії тіл, W_{12} – енергія взаємодії.

Енергія зарядженого конденсатора

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

Об'ємна густина енергії електричного поля:

$$W = \frac{\vec{E}\vec{D}}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}.$$

68. Два однакові металеві диски діаметром 12 см розташовані паралельно один одному та розділені парафінованим папером товщиною 0,2 мм. Диски зсунуті так, що центр одного з них перебуває проти краю іншого (рис. 11). Визначити ємність такої системи.

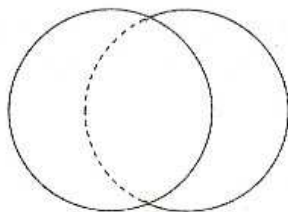


Рис. 11 (до задачі 68)

69. Металеву кулю ($R = 3$ см) опущено наполовину до гасу. Який електричний заряд несе куля, якщо її заряджено до 1800 В.

70. а) Визначити ємність конденсатора, що складається з двох кульок діаметром $d = 1$ см, центри яких розташовані у повітрі на відстані $l = 20$ см один від одного. При розв'язанні цієї задачі для спрощення можна вважати, що заряди на поверхнях кульок розподілені рівномірно.

б) Визначити ємність конденсатора, що складається з такої ж кульки, як і в пункті а) та великої провідної пластинки, що відстоїть на відстані $l = 20$ см від центра кульки. Порівняти з ємністю ізолюваної кульки такого ж діаметра.

71. Паралельно одному з п'яти послідовно з'єднаних однакових конденсаторів підключений статичний вольтметр, ємність якого у два рази менша за ємність кожного з конденсаторів. Вольтметр показує 500 В. Знайти напругу на всій батареї.

72. Визначити ємність плоского конденсатора із площею обкладинок $S = 200$ см². Між обкладками міститься скло ($d_1 = 1$ мм), покриті по обидва боки шаром парафіну (товщина кожного шару $d_2 = 0,2$ мм).

73. Плоский конденсатор має за ізолюючий шар скляну пластинку товщиною $d = 2$ мм і площею $S = 300$ см². Конденсатор заряджений до напруги $U = 100$ В, після чого відключений від джерела напруги. Визначити механічну роботу, яку потрібно виконати, щоб вийняти скляну пластинку з конденсатора (тертям в розрахунках знехтувати).

74. Пластини повітряного конденсатора мають площу 300 см² і віддалені одна від одної на відстань 3 мм. Між ними міститься металева пластинка з такою самою площею і товщиною

11 мм, ізолювана від землі. Конденсатор заряджений до напруги 600 В і від'єднаний від джерела напруги. Яку роботу треба виконати, щоб витягти пластинку?

75. Батарея з $n = 5$ послідовно з'єднаних лейденських банок, кожна ємністю $C = 400$ см, підтримується при сталій напрузі $U = 60000$ В. Одна з банок пробивається. Визначити: а) зміну енергії батареї банок; б) роботу заряду; в) роботу джерела напруги.

76. Знайти ємність відокремленого кульового провідника радіусу R_1 , оточеного прилягаючим до нього концентричним шаром однорідного діелектрика з проникністю ϵ і зовнішнім радіусом R_2 .

77. До джерела е.р.с. $\mathcal{E}$ підключили послідовно два плоских повітряних конденсатори, кожен ємністю C . Потім один з конденсаторів заповнили однорідним діелектриком із проникністю ϵ . У скільки разів зменшилася напруженість електричного поля в цьому конденсаторі? Який заряд пройде крізь джерело?

78. Простір між обкладками плоского конденсатора заповнено послідовно двома діелектричними шарами 1 і 2 з товщинами d_1 і d_2 , а також із проникностями ϵ_1 і ϵ_2 . Площа кожної обкладки дорівнює S . Знайти: а) ємність конденсатора; б) густину зв'язаних зарядів на межі поділу діелектричних шарів, якщо напруга на конденсаторі дорівнює U , і електричне поле спрямоване від шару 1 до шару 2.

79. Проміжок між обкладками плоского конденсатора заповнений ізотропним діелектриком, проникність ϵ якого змінюється в перпендикулярному до обкладок напрямку за

лінійним законом від ϵ_1 до ϵ_2 , причому $\epsilon_2 > \epsilon_1$. Площа кожної обкладки S , відстань між ними d . Знайти: а) ємність конденсатора; б) об'ємну густину зв'язаних зарядів як функцію, якщо заряд конденсатора q , і поле в ньому спрямовано у бік зростання ϵ .

80. Знайти ємність сферичного конденсатора з радіусами обкладок R_1 і $R_2 > R_1$, що заповнений ізотропним діелектриком із проникністю, що змінюється за законом $\epsilon = a/r$, де a — стала, r — відстань від центра конденсатора.

81. Два довгі прямі дроти з однаковим радіусом перерізу a розташовані в повітрі паралельно один одному. Відстань між їхніми осями дорівнює l . Знайти взаємну ємність дротів на одиницю їхньої довжини за умови $l \gg a$.

82. Визначити ємність системи, що складається з металевої кульки радіусу a та безмежної провідної площини, що відстоїть від центра кульки на відстань l , якщо $l \gg a$.

83. Чотири однакові металеві пластини розташовані в повітрі на однаковій відстані d одна від одної. Площа кожної пластини дорівнює S . Знайти ємність системи між точками A і B , якщо пластини з'єднані так, як показано: а) на рис. 12 а; б) на рис. 12 б.



Рис. 12 а (до задачі 83)



Рис. 12 б (до задачі 83)

84. Визначити різницю потенціалів $\varphi_A - \varphi_B$ між точками А і В схеми (рис. 13 а). За якої умови вона дорівнює нулю?

85. Заряд q розподілений рівномірно по об'єму кулі радіуса R . Вважаючи, що діелектрична проникність кулі дорівнює одиниці, знайти: а) власну електростатичну енергію кулі; б) частку енергії W_1 , що її запасено усередині кулі, до енергії W_2 , що її запасено в навколишньому просторі.

86. Сферичну оболонку радіуса R_1 , яку рівномірно заряджено зарядом q , розширили до радіуса R_2 . Знайти роботу, яку виконали при цьому електричні сили.

87. Сферичну оболонку рівномірно заряджено зарядом q . У центрі оболонки розташований точковий заряд q' . Знайти роботу, виконану електричними силами при розширенні оболонки – збільшенні її радіуса від R_1 до R_2 .

88. Плоский конденсатор занурили в горизонтальному положенні до води, яка заповнила проміжок між пластинами шириною $d = 1,0$ мм. Потім конденсатор підключили до сталої напруги $U = 500$ В. Знайти збільшення тиску води в проміжку між пластинами.

89. Плоский конденсатор розташований горизонтально так, що одна його пластина перебуває над поверхнею рідини, інша – під

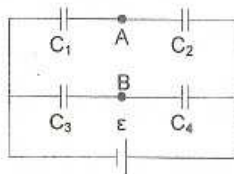


Рис.13 а (до задачі 84)

поверхнею рідини (рис. 13 б). Діелектрична проникність рідини ϵ , її густина ρ . На яку висоту піднімається рівень рідини в конденсаторі після зарядження його



Рис. 13 б (до задачі 89)

пластин зарядом з поверхневою густиною σ ?

4. Електричний струм

Закон Ома для неоднорідної ділянки ланцюга

$$I = \frac{U_{12}}{R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R},$$

де U_{12} – спадання напруги на цій ділянці.

Закон Ома в диференціальній формі: $j = \sigma(E + E^0)$,

де E^0 – напруженість поля сторонніх сил.

Правила Кірхгофа: $\sum I_i = 0$, $\sum I_i R_i = \sum \varepsilon_i$.

Потужність струму P і тепла потужність Q :

$$P = UI = (\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12})I; Q = RI^2.$$

Питома потужність струму $P_{\text{пит}} = j(E + E^0)$.

Питома тепла потужність струму $Q_{\text{пит}} = \rho j^2$.

Густина струму в металі: $\vec{j} = ne\vec{v}$, де n – концентрація носіїв заряду, e – заряд електрона, $\vec{v}$ – середня швидкість упорядкованого руху електронів.

Густина струму емісії електронів у вакуумі (формула Дешмана): $j = AT^2 \exp[e\phi/(kT)]$, де A – стала, $e\phi$ – робота виривання електрона з металу.

90. Яка кількість електрики переноситься в наступних випадках: а) струм рівномірно зростає від нуля до 3 А протягом 10 с; б) струм зменшується від 18 А до нуля, причому за кожні 0,01 с він зменшується вдвічі?

91. В установці, яку зображено на схемі (рис. 14), сміст конденсатора C_1 удвічі більша за сміст конденсатора C_2 , опір R_1 утричі більший за опір R_2 . Опір батареї є нехтовно малим, її електрорушійна сила дорівнює 60 В. Визначити напруги на конденсаторах у

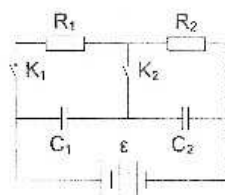


Рис. 14 (до задачі 91)

наступних випадках: а) ключі K_1 і K_2 замкнуті; б) ключ K_1 замкнуто, K_2 розімкнуто; в) ключ K_1 розімкнуто, K_2 замкнуто.

92. Яку напругу можна дати на котушку, що має $w = 1000$ витків мідного дроту із середнім діаметром витків $d = 6$ см, якщо припустима густина струму $j = 2$ А/мм²?

93. Якщо вольтметр з'єднати послідовно з опором $R = 10000$ Ом, то при напрузі $U_0 = 120$ В він покаже $U_1 = 50$ В. Якщо з'єднати його послідовно з невідомим опором R_x , то він за тієї самої

напруги покаже $U_2 = 10$ В.

Визначити цей опір R_x .

94. Два гальванічних елементи з е.р.с., що дорівнюють E_1 і E_2 , вольтметр із більшим

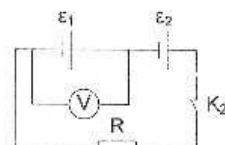


Рис. 15 (до задачі 94)

внутрішнім опором і шкалою, нуль якої міститься на її середині, і опір R з'єднані за схемою, що її показано на рис. 15. Опір R і внутрішні опори кожного з елементів рівні між собою. При розімкненому ключі K стрілка вольтметра відхиляється праворуч.

При якому співвідношенні між E_1 і E_2 стрілка вольтметра при замкнутому ключі K :

- відхилиться праворуч;
- зупиниться на нулі;
- відхилиться ліворуч?

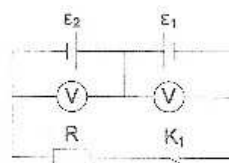


Рис. 16 а (до задачі 95)

95. Два гальванічні елементи (1 і 2), два вольтметри з більшими внутрішніми опорами і шкалами, нулі яких містяться на їхніх серединах, і опір R

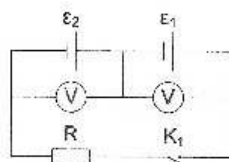


Рис. 16 б (до задачі 95)

з'єднані за схемою, що її показано на рис. 16 а. Коли ключ K_1 розімкнуто, то вольтметри при 1-му і 2-му елементах показують напруги 1,8 В і 1,4 В, причому їхні стрілки відхилені праворуч. При замиканні ключа K_1 вольтметри показують напруги 1,4 В і 0,6 В при тому самому напрямку відхилення стрілок. Що будуть показу-

вати вольтметри, якщо з'єднати прилади за схемою (рис. 16 б) і замкнути ключ K_1 ?

96. Кілька однакових гальванічних елементів з'єднані, як показано на рис. 17, за допомогою дротів, опір яких є нехтовно малим.

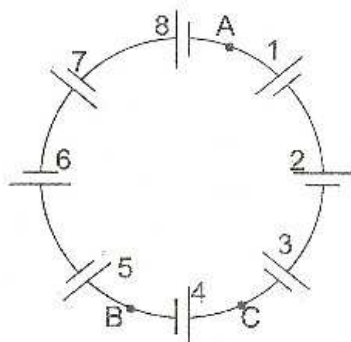


Рис. 17 (до задачі 96)

а) Якою є різниця потенціалів між довільними точками з'єднувальних провідників, наприклад, між точками A і B або між точками A і C ?

б) Дайте відповідь на те саме питання у випадку, коли е.р.с. елементів не є однаковими і внутрішні опори прямо пропорційні е.р.с.

в) Як зміниться відповідь на питання а), якщо елементи будуть повернені один до одного однойменними полюсами?

97. Струм тече по провіднику, форму якого показано на рис. 18. Чи є однаковою напруженість поля в місцях з вузьким і широким перерізом? Чим це пояснити?



Рис. 18 (до задачі 97)

98. Плоский конденсатор з діелектриком у вигляді парафінованого паперу ($\epsilon = 2$ СГС) через $t = 10$ хв. зберіг заряд q , що дорівнює 0,1 від первісного заряду q_0 . Припускаючи, що витік відбувся тільки крізь парафінований папір, обчислити його

питомий опір.

99. До конденсатора ($C = 10$ мкФ) прислано акумулятор з е.р.с. $\mathcal{E} = 2$ В через опір $R = 1000$ Ом. Скільки потрібно часу, аби конденсатор зарядився до напруги $U = 1,98$ В? Внутрішнім опором акумулятора знехтувати.

100. Споживач має 20 лампочок з опором по 48 Ом і 100 лампочок з опором по 288 Ом кожна. Лампочки з'єднані паралельно. Визначити опір установки споживача.

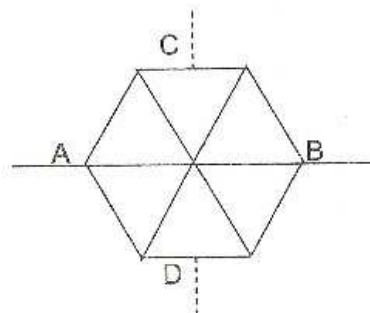


Рис. 19 (до задачі 101)

101. Визначити електричний опір мережі, яку показано на рис. 19, якщо опір кожного з ланок мережі дорівнює 1 Ом. Розглянути два випадки: а) струм тече від точки A до точки B ; б) струм тече від точки C до точки D .

102. Потрібно підібрати для схем, які показано на рис. 20 і 21, такі опори R , щоб при замкнутому ключі K_1 і розімкнутому ключі K_2 амперметр показував такий самий струм, як при замкнутому ключі K_2 і розімкнутому ключі K_1 . Опорам джерела струму і амперметра знехтувати.

103. На рис. 22 показано схему з'єднання котушки

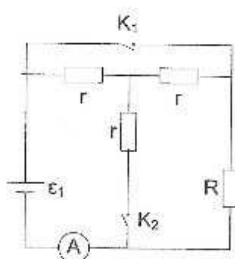


Рис. 20 (до задачі 102)

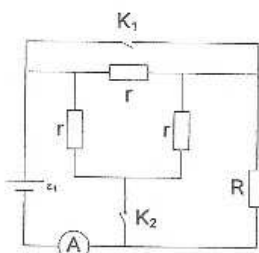


Рис. 21 (до задачі 102)

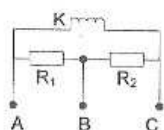


Рис. 22 (до задачі 103)

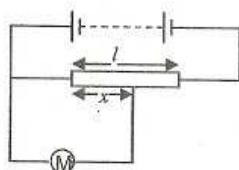


Рис. 23 (до задачі 104)

амперметра K і шунтів R_1 і R_2 . Якщо увімкнути амперметр у ланцюг, користуючись клеммами A і B , то ціна поділки циферблата амперметра дорівнює $0,1$ А. Якщо користуватися клеммами A і C , то ціна поділки дорівнює $0,02$ А. Якою є ціна поділки, якщо користуватися клеммами B і C ?

104. На рис. 23 зображено схему потенціометра, за допомогою якого можна міняти напругу U_I , що припадає на прилад M . Потенціометр перебуває під напругою U . Нехай опір приладу M дорівнює r , і опір потенціометра дорівнює R . Визначити U_I як функцію відстані x повзунка потенціометра від одного з його кінців. Проаналізувати випадки: а) $x = 0$; б) $x = l$; в) $x = l/2$; $r \gg R$.

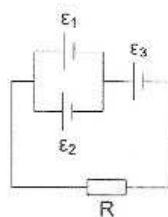


Рис. 24 (до задачі 105)

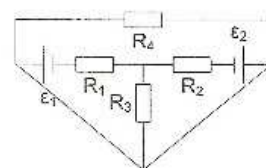


Рис. 25 (до задачі 106)

105. Три гальванічні елементи ($\varepsilon_1 = 1,3$ В; $\varepsilon_2 = 1,5$ В; $\varepsilon_3 = 2$ В; $r_1 = r_2 = r_3 = 0,2$ Ом) увімкнено, як це показано на рис. 24. Опір $R = 0,55$ Ом. Визначити струми I_1, I_2, I_3 в елементах.

106. На схемі, яку показано на рис. 25, опори $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1000$ Ом, $\varepsilon_1 = 1,5$ В, $\varepsilon_2 = 1,8$ В. Визначити струми в опорах.

107. а) Батарея складається з $n = 5$ послідовно з'єднаних елементів з е.р.с. $\varepsilon = 1,4$ В кожний та з внутрішнім опором по $r = 0,3$ Ом кожний. При якому струмі корисна потужність батареї дорівнює 8 Вт?

б) Якою є найбільша корисна потужність батареї?

108. Струм від магістралі до споживача підводиться по мідному дроту загальною довжиною 49 м і площею перерізу $2,5$ мм². Напруга в магістралі дорівнює 120 В. Споживач має намір зробити електричну піч потужністю 600 Вт. Яким має бути опір у печі?

109. Визначити роботу струму на ділянці, що не містить джерел е.р.с. і має опір $R = 12$ Ом, якщо струм протягом $t = 5$ с

рівномірно збільшувався від $I_1 = 2$ А до $I_2 = 10$ А.

110. По дроту, опір якого $R = 6$ Ом, протік заряд $q = 30$ Кл. Визначити кількість теплоти, яку виділив дріт, у наступних випадках: а) по дроту протягом $\tau = 24$ с протікав сталий струм; б) струм у дроті рівномірно зменшувався до нуля протягом $\tau = 24$ с; в) струм у дроті зменшувався до нуля в такий спосіб, що за кожні $\tau = 24$ с він зменшувався вдвічі.

111. Опір обмотки електричного чайника 16 Ом. Визначити проміжок часу, протягом якого закипить у ньому 600 г води, яка має початкову температуру $t_1 = 10^\circ\text{C}$, якщо к.к.д. становить 60 %, і якщо напруга в мережі 120 В.

112. Скільки витків нікелевого дроту треба навити на порцеляновий циліндр діаметром 1,5 см, щоб улаштувати кип'ятильник, яким протягом 10 хв можна закип'ятити 120 г води при початковій температурі 10°C ; к.к.д. прийняти за 60 %. Діаметр дроту 0,2 мм. Напруга 100 В.

113. Електричний чайник має дві секції нагрівального дроту. При увімкненні однієї він закипає за 10 хв; при увімкненні іншої він закипає за 20 хв. Через скільки часу він закипить, якщо увімкнути обидві секції: а) послідовно; б) паралельно? Напругу, к.к.д. чайника, кількість води і початкову температуру вважати в усіх випадках однаковими.

114. Якщо напруга в мережі дорівнює $U_1 = 120$ В, то вода в електричному чайнику закипає за $\tau_1 = 20$ хв. Якщо ж напруга в мережі дорівнює $U_2 = 110$ В, то за тих самих кількості води і

початкової температури вода закипає за $\tau_2 = 28$ хв.

Припускаючи, для спрощення, що втрати теплоти від чайника до навколишнього простору є

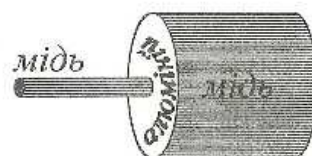


Рис. 26 (до задачі 115)

пропорційними часу нагрівання, розрахувати, за який час закипить вода в чайнику, якщо напруга в мережі дорівнює $U_3 = 100$ В.

115. Струм тече від мідної трубки радіусом $r = 2$ мм до мідної трубки радіусом $R = 4$ см по плоскій алюмінієвій фользі товщиною $d = 0,1$ мм (рис. 26). Яка кількість теплоти виділяється в алюмінієвій фользі за $\sigma = 0,5$ с, якщо струм дорівнює $I = 5$ А?

116. а) До кінців свинцевого дроту довжиною $l = 5$ см і діаметром $d = 0,2$ мм подається напруга $U = 100$ В. Який проміжок часу τ пройде до того моменту, як дріт починає плавитися? Температура плавлення свинцю $t = 327^\circ\text{C}$. Втратами теплоти в зовнішній простір знехтуйте. Початкову температуру дроту прийміть за 0°C . Зміною теплосмості свинцю при нагріванні знехтуйте.

б) Який проміжок часу пройде до початку плавлення дроту, якщо по ньому тече струм $I = 50$ А?

117. Котушка містить 590 витків мідного дроту діаметром 0,3 мм. Діаметр витків дорівнює 14 см. Котушка може обертатися навколо своєї осі, причому її кінці з'єднані з балістичним гальванометром. Коли обертова котушка різко гальмується, гальванометр реагує. Який заряд пройде по ланцюзі при

гальмуванні котушки за наступних умов: опір гальванометра разом з опором контактів і дрітків дорівнює 130 Ом. Частота обертання котушки дорівнює 33 с^{-1} .

118. Який найбільший (теоретично) заряд протік по ланцюзі, що складається з термопари мідь-платина та деякого опору, якщо гарячий контакт поглинув 1 кал? Температура гарячого контакту 100°C ; е.р.с. дорівнює 0,76 мВ.

119. Якою є робота виходу з металу, якщо підвищення температури нитки розжарення, яку виготовлено з цього металу, від 2000 до 2001°K збільшує струм насичення в електронній лампі на 1 %?

120. Визначити струм насичення в електронній лампі з вольфрамовим катодом при таких даних: довжина і діаметр нитки розжарення 3 см і 0,1 мм; температура розжарення 27000°K ; стала A для вольфраму дорівнює $60,2 \text{ A}/(\text{см}^2 \cdot \text{град}^2)$.

121. Вольфрамова нитка, що служить катодом в електронній лампі, розжарюється струмом 1,9 А до деякої температури. На скільки Вольтів треба підвищити напругу на цій нитці, щоб при анодному струмі 0,1 А температура нитки залишилася такою самою, як і за відсутності анодного струму?

122. Знайти опір

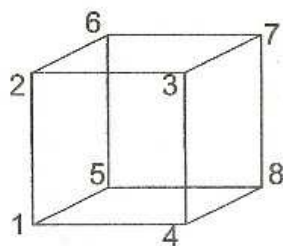


Рис. 27 (до задачі 122)

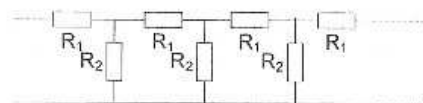


Рис. 28 (до задачі 123)

дротяного каркаса, що має форму куба (рис. 27), при включенні його до ланцюга між точками а) 1 – 7; б) 1 – 2; в) 1 – 3. Опір кожного ребра каркаса дорівнює R .

123. На рис. 28 зображено безмежний ланцюг, що утворений повторенням тієї самої ланки – опорів $R_1 = 4,0 \text{ Ом}$ і $R_2 = 3,0 \text{ Ом}$. Знайти опір цього ланцюга між точками A і B .

124. Дано безмежну дротяну сітку із квадратними вічками (рис. 29). Опір кожного провідника між сусідніми вузлами дорівнює R_0 . Знайти опір цієї сітки між точками A і B .

Порада. Скористатися принципами симетрії та суперпозиції.

125. Металеву кулю радіусу a оточено концентричною точкою металевою оболонкою радіусу b . Простір між цими електродами заповнено однорідним слабо провідним середовищем з питомим опором ρ . Знайти опір міжелектродного проміжку. Проаналізувати здобутий вираз при $b \rightarrow \infty$.

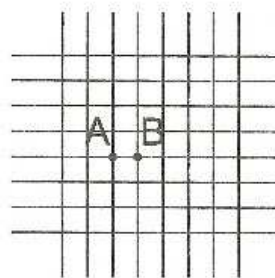


Рис. 29 (до задачі 124)

126. Простір між двома провідними концентричними сферами, радіуси яких a і b ($a < b$), заповнено однорідним слабо провідним середовищем. Ємність такої системи дорівнює C . Знайти питомий опір середовища, якщо різниця потенціалів між сферами, коли їх відімкнуто від зовнішньої напруги, зменшується в η разів за час t .

127. Проміжок між пластинами плоского конденсатора заповнений неоднорідним слабо провідним середовищем, питома провідність якого змінюється в напрямку, перпендикулярному до пластин, за лінійним законом від $\sigma_1 = 1,0$ пСм/м до $\sigma_2 = 2$ пСм/м. Площа кожної пластини $S = 230$ см², ширина проміжку $d = 2,0$ мм. Знайти струм крізь конденсатор при напрузі на ньому $U = 300$ В.

128. Проміжок між обкладинками плоского конденсатора заповнений послідовно двома діелектричними шарами 1 і 2 товщиною d_1 і d_2 із проникностями ϵ_1 і ϵ_2 і питомими опорами ρ_1 і ρ_2 . Конденсатор перебуває під сталою напругою U , причому електричне поле спрямоване від шару 1 до шару 2. Знайти поверхневу густину σ сторонніх зарядів на межі поділу діелектричних шарів і умову, за якої $\sigma = 0$.

129. Амперметр і вольтметр під'єднали послідовно до батареї з е.р.с. $\mathcal{E} = 6,0$ В. Якщо паралельно вольтметру під'єднати деякий опір, то показання вольтметра зменшуються в $\eta = 2,0$ рази, а показання амперметра у стільки ж разів збільшуються. Знайти показання вольтметра після під'єднання опору.

130. Знайти значення і напрямок струму крізь опір R у схемі

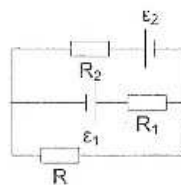


Рис. 30 (до задачі 130)

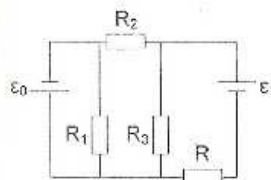


Рис. 32 (до задачі 132)

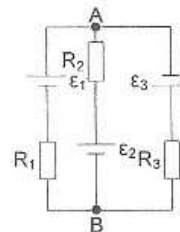


Рис. 31 (до задачі 131)

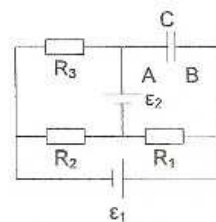


Рис. 33 (до задачі 133)

(рис. 30), якщо е.р.с. джерел $\mathcal{E}_1 = 1,5$ В, $\mathcal{E}_2 = 3,7$ В і опори $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом і $R = 5,0$ Ом. Внутрішніми опорами джерел струму знехтувати.

131. У схемі (рис. 31) е.р.с. джерел $\mathcal{E}_1 = 1,5$ В, $\mathcal{E}_2 = 2,0$ В, $\mathcal{E}_3 = 2,5$ В і опори $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом, $R_3 = 30$ Ом. Внутрішніми опорами джерел можна знехтувати. Знайти: а) струм крізь опір R_1 ; б) різницю потенціалів $\varphi_A - \varphi_B$ між точками А і В.

132. Знайти струм крізь опір R у схемі (рис. 32). Внутрішніми опорами обох джерел можна знехтувати.

133. Знайти різницю потенціалів $\varphi_A - \varphi_B$ між обкладинками конденсатора C схеми (рис. 33), якщо е.р.с. джерел $\mathcal{E}_1 = 4,0$ В,

$\mathcal{E}_2 = 1,0$ В і опори $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом, $R_3 = 30$ Ом. Внутрішніми опорами джерел можна знехтувати.

134. Змішану батарею з великої кількості $N = 300$ однакових елементів, кожний із внутрішнім опором $r = 0,3$ Ом, під'єднано до зовнішнього опору $R = 10$ Ом. Знайти кількість n паралельних груп, що містять однакову кількість послідовно з'єднаних елементів, для якої на зовнішньому опорі виділятиметься максимальна теплова потужність.

135. Котушка радіусу $r = 25$ см, що містить $I = 500$ м тонкого мідного дроту, обертається з кутовою швидкістю $\omega = 300$ рад/с навколо своєї осі. Через ковзні контакти котушку під'єднано до балістичного гальванометра. Загальний опір усього ланцюга $R = 21$ Ом. Знайти питомий заряд носіїв струму в міді, якщо при різкому гальмуванні котушки крізь гальванометр протікає заряд $q = 10$ нКл.

136. По мідному дріті тече струм із густиною $j = 1,0$ А/мм². Вважаючи, що на кожний атом міді припадає один вільний електрон, оцінити, який шлях пройде електрон, перемістившись уздовж дроту на відстань $l = 10$ мм.

137. По прямому мідному дроту довжини $l = 1000$ м і перетином $S = 1,0$ мм² тече струм $I = 4,5$ А. Вважаючи, що на кожен атом міді припадає один вільний електрон, знайти: а) час, за який електрон переміститься від одного кінця дроту до іншого; б) суму електричних сил, що діють на всі вільні електрони в даному дроті.

5. Електричний струм у газах та електролітах

Робота іонізації $A = e\phi$, де ϕ – потенціал іонізації.

Зв'язок швидкостей іонів v і u з їхніми рухливостями κ і κ_- , а також із напруженістю поля: $v = \kappa E$, $u = \kappa_- E$.

Густина струму при концентрації йонів n : $j = en(\kappa + \kappa_-)E$.

Густина струму насичення між плоскими електродами, що відстоять на відстані d : $j = eqd$, q – кількість пар іонів, які утворені іонізатором в 1 см³ за 1 с.

Кількість пар іонів, які рекомбінують за 1 с в 1 см³ газу, вільного від порошин: $\Delta n = an^2$, де a – коефіцієнт рекомбінації.

Якщо в газі присутні частинки пилу, диму, тощо, рекомбінація значною мірою відбувається на них, тоді кількість пар іонів, які рекомбінують за 1 с, можна вважати пропорційним n : $\Delta n = \beta n$.

Середня тривалість існування іона $\tau = n/q$.

Закон Фарадея для маси m речовини, яка висаджується на електроді при проходженні заряду q , $m = \frac{A}{Z} \frac{q}{F}$, де A – атомна або молекулярна вага речовини, Z – валентність, F – число Фарадея.

Питома провідність електроліту $g = Ze n \alpha (\kappa + \kappa_-)$, де Ze – заряд іона, α – коефіцієнт дисоціації.

Рівняння Гіббса–Гельмгольца в застосуванні до різниці потенціалів між електродами та електролітом (напівелемент) або між двома електродами, які занурено до електроліту (елемент)

$E = \frac{H}{FZ} + T \frac{dE}{dT}$, де H – загальна сума кількості теплоти, яка виділилася при реакції усередині елемента (або напівелемента) на 1 моль іонів.

138. а) Молекула кисню іонізується ударом електрона. Яку різницю потенціалів мав пройти електрон, який викликав іонізацію, якщо його початкова швидкість була малою? Швидкість молекули, яка іонізується, перед ударом також слід вважати малою.

б) Те саме питання щодо іона, маса якого разом з «прилипшими» молекулами в $n = 4$ рази більша за масу молекули кисню.

в) Якою має бути відносна швидкість молекул кисню, щоб унаслідок зіткнення відбулася однакратна іонізація однієї з них?

Порада. При розв'язанні цієї та наступних завдань варто взяти до уваги, що іонізація відбувається внаслідок непружого удару молекул.

139. Повітря, яке міститься між двома пластинами із площею 300 см^2 , що перебувають на відстані 2 см одна від одної, іонізується рентгенівськими променями. При напрузі 150 В, яке є значно меншим за напругу, що дає струм насичення, між пластинами тече струм $4 \times 10^{-6} \text{ А}$. Визначити концентрацію іонів між пластинами.

140. Концентрація іонів, що спричиняють провідність атмосферного повітря, у середньому дорівнює 700 см^{-3} . Середня

величина напруженості земного електричного поля дорівнює 130 В/м. Обчислити густину струму провідності в атмосфері.

141. Повітря між двома пластинками конденсатора іонізується. Струм насичення між ними дорівнює $2 \times 10^{-10} \text{ А}$. Площа пластинок 100 см^2 , відстань між ними 0,5 см. Визначити кількість пар іонів, що утворюються за 1 с в 1 см^3 .

142. Можна вважати, що іони, які зіштовхнулися, рекомбінують. У скільки разів збільшиться кількість зіткнень іонів повітря внаслідок їхньої взаємодії в порівнянні з незарядженими молекулами при температурі 17°C ? Діаметр молекул повітря прийняти таким, що дорівнює $d = 3 \times 10^{-8} \text{ см}$. Коефіцієнт рекомбінації $a = 1,6 \times 10^{-6} \text{ см}^3 \times \text{с}^{-1}$.

143. Кількість пар іонів, що утворюються в 1 см^3 повітря за 1 с, приймають таким, що дорівнює над океанами і далі від суходолу близько 1 (дія космічного випромінювання), над сушею в середньому близько 8 (дія космічних променів і радіоактивних речовин у повітрі й у ґрунті). Повітря над океаном можна вважати вільним від пилу; $a = 1,6 \times 10^{-6} \text{ см}^3 \times \text{с}^{-1}$. Повітря над суходолом забруднене пилом; $\beta = 0,01 \text{ с}^{-1}$. Обчислити концентрацію іонів над океаном і над суходолом.

144. Кількість пар іонів, що утворюються в 1 см^3 повітря при іонізації рентгенівськими променями, дорівнює $n_0 = 10^6 \text{ см}^{-3}$. Через який час від моменту припинення дії іонізатора кількість пар іонів зменшиться до $n = 10^4 \text{ см}^{-3}$: а) якщо повітря чисте ($a = 1,6 \times 10^{-6} \text{ см}^3 \times \text{с}^{-1}$); б) якщо повітря забруднене пилом

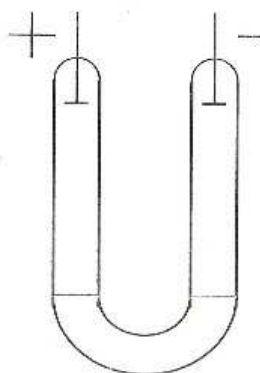


Рис. 34 (до задачі 145)

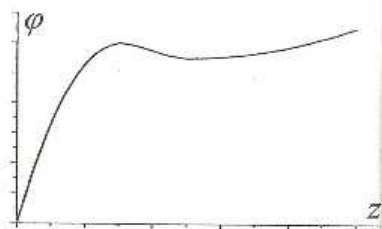


Рис. 35 (до задачі 146)

($\beta = 10^{-2} \text{ с}^{-1}$)? Наявністю інших іонізаторів знехтувати.

145. У вигнутій трубці з високим вакуумом (рис. 34.) електрони летять від катода до анода по траєкторіях, які вигнуті за формою трубки. Як це пояснити?

146. На рис. 35 представлений розподіл потенціалу в трубці, в якій горить тліючий розряд (схематично). У якій області між електродами напруженість поля є найбільшою? Де вона дорівнює нулю? Вказати області, де є просторові заряди.

147. Дві великі паралельні пластини містяться у вакуумі. Одна з пластин служить катодом — джерелом електронів, початкова швидкість яких є нехтовно малою. Електронний потік, який спрямовано до протилежної пластини, створює в просторі об'ємний заряд, внаслідок чого потенціал у проміжку між пластинами змінюється за законом $\phi = ax^{4/3}$, де a — позитивна стала, x — відстань від катода. Знайти: а) об'ємну густину просторового заряду залежно

від x ; б) густину струму.

148. Повітря між двома пластинами, які є паралельними і віддаленими одна від одної на відстань $d = 20 \text{ мм}$, іонізують рентгенівським випромінюванням.

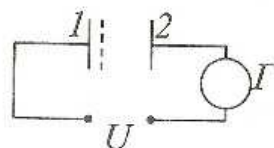


Рис. 36 (до задачі 149)

Площа кожної пластини $S = 500 \text{ см}^2$. Знайти концентрацію позитивних іонів, якщо при напрузі $U = 100 \text{ В}$ між пластинами тече струм $I = 3,0 \text{ мкА}$, значно менший за струм насичення. Рухливість іонів повітря $U_0^+ = 1,37 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ і $U_0^- = 1,91 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

149. Газ іонізують безпосередньо поблизу поверхні плоского електрода 1 (рис. 36), віддаленого від електрода 2 на відстань l . Між електродами приклали змінну напругу, що змінюється з часом за законом $U = U_0 \sin \omega t$. Зменшуючи частоту ω , виявили, що гальванометр G показує струм тільки при $\omega < \omega_0$, де ω_0 — деяка гранична частота. Знайти рухливість іонів, що досягають за цих умов електрода 2.

150. Повітря між двома близько розташованими пластинками рівномірно іонізують ультрафіолетовим випромінюванням. Об'єм повітря між пластинами $V = 500 \text{ см}^3$, спостережуваний струм насичення $I_{\text{нас}} = 0,48 \text{ мкА}$. Знайти: а) кількість пар іонів, які створює іонізатор за одиницю часу в одиниці об'єму; б) рівноважну концентрацію пар іонів, якщо коефіцієнт рекомбінації іонів повітря $r = 1,67 \times 10^{-6} \text{ см}^3 \times \text{с}^{-1}$.

151. Іонізатор, який тривало діяв і створив за одиницю часу

в одиниці об'єму повітря кількість пар іонів $n_i = 3,5 \times 10^3 \text{ см}^{-3} \times \text{с}^{-1}$, було вимкнено. Вважаючи, що єдиним процесом втраги іонів у повітрі є рекомбінація з коефіцієнтом $r = 1,67 \times 10^{-6} \text{ см}^3 \times \text{с}^{-1}$, знайти, через який час після вимкнення іонізатора концентрація іонів зменшиться $\eta = 2,0$ рази.

152. Плоский повітряний конденсатор, відстань між пластинами якого $d = 5,0 \text{ мм}$, зарядили до різниці потенціалів $U = 90 \text{ В}$ і відімкнули від джерела напруги. Знайти час, за який напруга на конденсаторі зменшиться на $\eta = 1,0 \%$, маючи на увазі, що в повітрі за звичайних умов у середньому утворюється за одиницю часу в одиниці об'єму кількість пар іонів $n_i = 5,0 \text{ см}^{-3} \times \text{с}^{-1}$ і що дана напруга відповідає струму насичення.

153. Газ між пластинами конденсатора, що відстоять одна від одної на відстань d , рівномірно іонізується ультрафіолетовим випромінюванням так, що щосекунди в одиниці об'єму створюється n_i електронів. Остатні, рухаючись в електричному полі конденсатора, іонізують молекули газу, причому кожен електрон створює на одиниці довжини свого шляху α нових електронів (та йонів). Нехтуючи іонізацією йонами, знайти густину електронного струму біля пластини з більшим потенціалом.

154. Нікелювання металевого виробу з поверхнею 120 см^2 струмом $0,3 \text{ А}$ тривало 5 годин. Валентність нікелю дорівнює 2. Визначити товщину шару нікелю.

155. Скільки цинку витрачається в елементі Данієля за 20 хв. роботи при струмі $0,5 \text{ А}$? Валентність цинку дорівнює 2. Прийняти, що вихід струму дорівнює 100 %.

156. Яка кількість води розкладеться при електролізі

розчину сірчаної кислоти протягом $t = 10 \text{ хв}$, якщо струм дорівнює $I = 0,8 \text{ А}$?

157. Визначити коефіцієнт дисоціації водяного розчину хлористого калію (KCl) із концентрацією $c = 0,1 \text{ г/см}^3$. Питомий опір такого розчину при 18°C дорівнює $7,36 \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

158. Коефіцієнт дисоціації водяного розчину, що містить $0,064 \text{ г}$ азотної кислоти в 1 см^3 дорівнює $0,824$. Якою є питома електропровідність цього розчину при 18°C ?

159. У воді розчинено $1,5 \text{ г}$ кристалів мідного купоросу ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), причому отриманий розчин має об'єм 100 см^3 . У розчин занурено два мідні електроди у вигляді прямокутних пластин зі сторонами 8 і 10 см . Напруга між електродами дорівнює $0,5 \text{ В}$, струм дорівнює $0,5 \text{ А}$.

а) Якою є загальна сума електричних сил, що діють на іони Cu , які містяться між електродами?

б) Якою є арифметична сума швидкостей упорядкованого руху іонів Cu і SO_4 ? При розрахунку прийняти, що дисоціація розчиненої речовини є повною.

160. Визначити молекулярну теплоту переходу в розчин іонів талія. Різниця потенціалів між талієм і розчином, що містить моль іонів талія (Tl) в 1 л за температури 25°C , дорівнює $E = -0,0576 \text{ В}$, а зміна цієї різниці потенціалів при зміні температури дорівнює $-0,00121 \text{ В/град}$.

6. Стале магнітне поле. Магнетизми

Магнітне поле точкового заряду q , який рухається з нерелятивістською швидкістю $\vec{v}$:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q[\vec{v}, \vec{r}]}{r^3}$$

$$\text{Закон Біо-Савара: } d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{[\vec{j}, \vec{r}]}{r^3} dv, \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}$$

Циркуляція вектора $\vec{B}$ та теорема Гауса для нього:

$$\oint \vec{B} d\vec{r} = \mu_0 I, \quad \oint \vec{B} d\vec{s} = 0.$$

$$\text{Сила Лоренца: } \vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{v}, \vec{B}].$$

$$\text{Сила Ампера: } d\vec{F} = [\vec{j}, \vec{B}] dv, \quad d\vec{F} = I[d\vec{l}, \vec{B}].$$

Сила та момент сил, що діють на магнітний диполь:

$$\vec{P}_m = JS\vec{n}, \quad \vec{F} = P_m \frac{\partial \vec{B}}{\partial n}, \quad \vec{N} = [\vec{P}_m, \vec{B}],$$

де $\frac{\partial \vec{B}}{\partial n}$ — це похідна вектора $\vec{B}$ вздовж напрямку диполя.

Циркуляція намагніченості $\vec{J}$: $\oint \vec{J} d\vec{r} = I'$, де I' — це сумарний молекулярний струм.

$$\text{Вектор } \vec{H} \text{ та його циркуляція: } \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}; \quad \oint \vec{H} d\vec{r} = I, \text{ де}$$

I — це алгебраїчна сума макроскопічних струмів.

$$\text{Умови на межі двох магнетиків: } B_{1n} = B_{2n}, \quad H_{1\tau} = H_{2\tau}.$$

$$\text{Для магнетиків, у яких } \vec{J} = \chi \vec{H}: \quad \vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}, \quad \mu = 1 + \chi.$$

161. На рис. 37

зображено подвійну спіраль, що слугує у деяких типах ламп розжарювальним тілом. Загальна кількість великих витків ω_1 , малих — ω_2 . Площа великих витків S_1 , малих — S_2 . По спіралі тече струм I . Визначити магнітний момент подвійної спіралі.

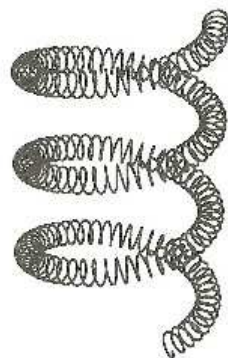


Рис. 37 (до задачі 161)

162. По трьох довгих прямих дротах, які розташовано в одній площині

паралельно один одному на відстані 3 см, течуть струми $I_1 = I_2$ і $I_3 = -(I_1 + I_2)$. Визначити положення прямої, в якій напруженість поля, що його створюють ці струми, дорівнює нулю.

163. По довгому дроту, який зігнуто під прямим кутом, тече струм 20 А. Визначити напруженість магнітного поля в точці, що лежить на продовженні однієї зі сторін кута на відстані 2 см від вершини.

164. Дріт зігнуто у вигляді прямокутника зі сторонами $A = 16$ см і $B = 30$ см. Визначити напруженість магнітного поля, яке створено струмом $I = 6$ А, що тече по дроту, у центрі прямокутника.

165. Діаметр витків соленоїда в $n = 4$ рази більший за довжину його осі. Густота витків дорівнює $\omega_l = 200 \text{ см}^{-1}$. По витках

соленоїда тече струм $I = 0,1$ А. Визначити напруженість магнітного поля: а) посередині осі соленоїда; б) у центрі однієї з його основ.

166. Визначити циркуляцію напруженості у випадках, які зображено на рис. 38, якщо в обох дротах течуть струми 8 А: а) контур охоплює один дріт, б) контур охоплює по віссі два дроти, в) контур охоплює по спірсу два дроти.

167. Струм $I = 20$ А тече по порожній тонкостінній трубі радіусом $R_2 = 5$ см і назад по суцільному провіднику радіусом $R_1 = 1$ мм, який прокладено

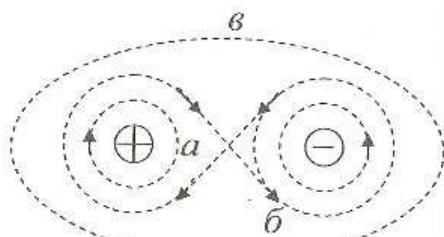


Рис. 38 (до задачі 166)

вздовж осі труби. Довжина труби $l = 20$ м. Чому дорівнює магнітний потік такої системи? Магнітним полем усередині металу знехтувати.

168. На залізному кільці (тороїді) є обмотка, що містить 1000 витків. По обмотці тече струм 1 А. Визначити напруженість та індукцію магнітного поля усередині тороїда на відстані: а) 10 см від центру тороїда; б) 12,5 см.

169. Середня довжина обводу залізного кільця $l = 61$ см. У кільці зроблено проріз $l_1 = 1$ см (рис. 39). На кільці є обмотка з $n = 1000$ витками. Коли по обмотці тече струм $I = 1,5$ А, індукція поля в прорізі дорівнює $B = 1800$ Гс. Визначити μ заліза за цих

умов, прийнявши, що площа перерізу магнітного потоку в прорізі у $k = 1,1$ рази більша за площу перерізу кільця.

170. Загальна довжина силових ліній в електромагніті дорівнює 36 см, а товщина кожного з повітряних проміжків 0,2 мм (див. рис. 40). Площа перерізу магнітного потоку всюди дорівнює

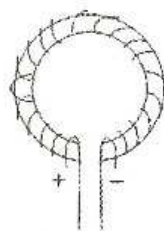


Рис. 39 (до задачі 169)

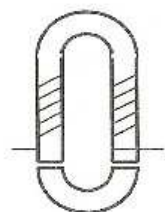


Рис. 40 (до задачі 170)

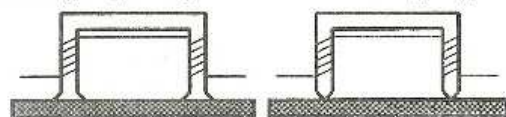


Рис. 41 (до задачі 171)

2 см. Обмотка електромагніта складається з 294 витків. За струму 3 А піднімальна сила магніту дорівнює 160 Н. Визначити, якими є за цих умов: а) індукція; б) магнітна проникність заліза.

171. Який з електромагнітів, які зображено на рис. 41, має більшу піднімальну силу, якщо використовуваний магнітний потік в обох випадках є однаковим?

172. Траєкторія пучка електронів, які рухаються у вакуумі в магнітному полі ($B = 70$ Гс), є дугою кола радіусом 3 см. Визначити

швидкість та енергію електронів.

173. Електрон рухається в магнітному полі, індукція якого $B = 20 \text{ Тс}$, по гвинтовій лінії радіусом $R = 2 \text{ см}$ і кроком $h = 5 \text{ см}$ (рис. 42). Визначити швидкість електрона.

174. Однорідне електричне ($E = 3 \text{ В/см}$) і магнітне ($B = 1 \text{ Тс}$) поля орієнтовані взаємно перпендикулярно. Якими мають бути напрямок і величина швидкості електрона, щоб його траєкторія була прямолінійною?

175. Якими є нормальне та тангенціальне прискорення електрона, який рухається в електричному та магнітному полях, які

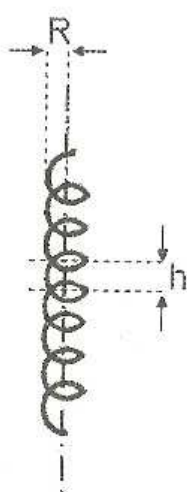


Рис. 42 (до задачі 173)

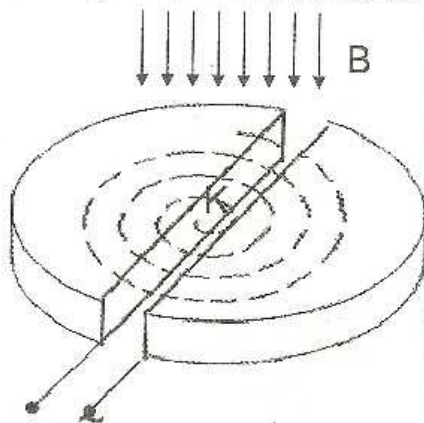


Рис. 43 (до задачі 176)

співпадають зі напрямком, за таких умов: а) швидкість електрона спрямована вздовж полів; б) швидкість електрона спрямована перпендикулярно до них?

176. Одним із типів приладів, які призначені для одержання заряджених частинок із великою швидкістю, є циклотрон. Він являє собою низьку циліндричну металеву коробку (рис. 43), яку розрізано на дві половини (дуанти). Дуанти поміщені до вакууму. Між ними створюється електричне поле, причому через деякі проміжки часу напрямок цього поля змінюється на протилежний. Поблизу центра одного з дуантів є джерело іонів K . Дуанти перебувають в однорідному магнітному полі, напрямок якого показано на рисунку стрілками. Іон, що потрапив до розрізу між дуантами, внаслідок дії електричного поля рухається із прискоренням. Потім усередині дуанта він рухається під дією магнітного поля по дузі окружності та знову підлітає до розрізу між дуантами. Проміжок часу, після закінчення якого напруга між дуантами змінює свій знак, підбирають так, щоб іон встиг описати усередині дуанта півкола. Таким чином, при кожному переході іона з одного дуанта до іншого його швидкість збільшується, та іон описує усередині дуантів півкола все більшого діаметра.

а) Довести, що проміжки часу, через які слід міняти напрямок електричного поля між дуантами, не залежать від радіуса півкола, по якому рухається іон, а тому мають залишатися незмінними протягом усього часу руху іона.

б) Визначити індукцію магнітного поля, яке потрібно для надання протону енергії $\omega = 4 \text{ Мев}$, якщо максимальний радіус

півкола усередині дуанта дорівнює $R = 60$ см.

в) Визначити проміжок часу, протягом якого протон досягає зазначеної енергії. Його початкову швидкість можна вважати малою. У моменті переходу протона з одного дуанта до іншого напрута між ними дорівнює $U = 20000$ В. Проміжок між дуантами $d = 1$ см. Прийняти, що поле між дуантами є однорідним.

177. Усередині однорідного довгого прямого дроту круглого перерізу є кругла довга циліндрична порожнина, вісь якої є паралельною до осі дроту та зміщена відносно останньої на відстань l . По дроту тече сталий струм густини j . Знайти вектор індукції магнітного поля усередині порожнини. Розглянути, зокрема, випадок $l = 0$.

178. На рис. 44 показаний кільцевий соленоїд прямокутного перерізу. Знайти магнітний потік

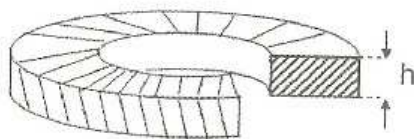


Рис. 44 (до задачі 178)

крізь цей переріз, якщо струм в обмотці $I = 1,7$ А, повна кількість витків $N = 1000$, частка зовнішнього діаметра до внутрішнього $\eta = 1,6$ і товщина $h = 5,0$ см.

179. Знайти магнітний момент тонкого кругового витка зі струмом, якщо радіус витка $R = 100$ мм та індукція магнітного поля в його центрі $B = 6,0$ мкТ.

180. Обчислити магнітний момент тонкого провідника зі струмом $I = 0,8$ А, що його щільно навито на половину тора



Рис. 45 (до задачі 180)

(рис. 45). Діаметр перерізу тора $d = 5,0$ см, кількість витків $N = 500$.

181. Непровідний тонкий диск радіусу R рівномірно заряджено з одного боку з поверхневою густиною σ . Диск

обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю ω . Знайти:

а) індукцію магнітного поля в центрі диска; б) магнітний момент диска.

182. Непровідну сферу радіусу $R = 50$ мм заряджено рівномірно з поверхневою густиною $\sigma = 10,0$ мкКл/м². Сфера обертається з кутовою швидкістю $\omega = 70$ рад/с навколо осі, що проходить крізь її центр. Знайти магнітну індукцію в центрі сфери.

183. Заряд q рівномірно розподілений по об'єму однорідної кулі маси m і радіусу R . Куля обертається навколо осі, що проходить крізь її центр, з кутовою швидкістю ω . Знайти відповідний магнітний момент і його частку до механічного моменту.

184. Довгий діелектричний циліндр радіусу R статично поляризований так, що в усіх його точках поляризованість $\vec{P} = \alpha \vec{r}$, де α – додатна стала, $\vec{r}$ – радіус-вектор, що його проведено від осі. Циліндр обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю ω .

Знайти індукцію $\vec{B}$ магнітного поля в центрі циліндра.

185. Уздовж довгого тонкостінного круглого циліндра радіусу R тече струм I . Який тиск відчувають стінки циліндра?

186. Який тиск відчуває бічна поверхня довгого прямого соленоїда, який містить n витків на одиницю довжини, коли по ньому тече струм I ?

187. Струм I тече по довгому одношаровому соленоїду, радіус перерізу якого дорівнює R . Кількість витків на одиницю довжини соленоїда n . Знайти граничну силу струму, за якої обмотка може розірватися, якщо гранична сила навантаження дроту обмотки на розрив дорівнює $F_{\text{пр}}$.

188. Невеликий виток зі струмом перебуває на відстані r від довгого прямого дроту зі струмом I . Магнітний момент витка дорівнює $\vec{p}_m$. Знайти модуль і напрямок вектора сили, яка діє на виток, якщо вектор $\vec{p}_m$ а) паралельний до прямого провідника; б) спрямований уздовж радіуса-вектора $\vec{r}$; в) збігається за напрямком з магнітним полем струму I у місці розташування витка.

189. Невелика котушка зі струмом, яка має магнітний момент $\vec{p}_m$, перебуває на осі кругового витка радіусу R , по якому тече струм I . Знайти модуль вектора сили, яка діє на котушку, якщо її відстань від центра витка дорівнює x , а вектор $\vec{p}_m$ збігається за напрямком з віссю витка.

190. Індукція магнітного поля у вакуумі поблизу плоскої поверхні магнетика дорівнює B , і вектор $\vec{B}$ становить кут θ з

нормаллю до поверхні (рис. 46). Магнітна проникність магнетика дорівнює μ . Знайти: а) потік вектора $\vec{H}$ крізь поверхню S сфери радіусу R , центр якої лежить на поверхні магнетика;

б) циркуляцію вектора $\vec{B}$ по квадратному контуру Γ зі

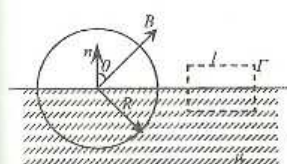


Рис. 46 (до задачі 190)

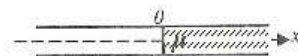


Рис. 47 (до задачі 192)

сторонаю I , який розташований, як показано на рис. 46.

191. Сталій струм I тече вздовж довгого однорідного циліндричного дроту круглого перерізу. Дріт виготовлено з парамагнетика з магнітною сприйнятливістю χ . Знайти: а) поверхневий молекулярний струм $I_{\text{поп}}$; б) об'ємний молекулярний струм $I_{\text{об}}$. Як ці струми орієнтовані один відносно одного?

192. Безмежно довгий прямий соленоїд зі струмом «нашоловину» заповнений магнетиком, як показано на рис. 47. Зобразити схематично графіки магнітної індукції B , напруженості H та магнітної поляризованості J на осі соленоїда залежно від x .

193. Прямий безмежно довгий дріт зі струмом I лежить у площині поділу двох непровідних середовищ із магнітними проникностями μ_1 і μ_2 . Знайти модуль вектора індукції магнітного поля в усьому просторі залежно від відстані r до дроту. Взяти до уваги, що лінії вектора $\vec{B}$ є окружностями із центром на осі дроту.

194. Круговий контур зі струмом лежить на плоскій межі поділу вакууму і магнетика. Проникність останнього дорівнює μ . Знайти індукцію $\vec{B}$ магнітного поля в довільній точці на осі контуру, якщо індукція поля в цій точці за відсутності магнетика дорівнює $\vec{B}_0$. Узагальнити здобутий результат на всі точки поля.

7. Робота при переміщенні провідника зі струмом у магнітному полі та електромагнітна індукція

Закон електромагнітної індукції Фарадея: $\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt}$.

У випадку соленоїда та тороїда: $\Phi = N\Phi_i$, де N – кількість витків, Φ_i – магнітний потік крізь кожен виток.

Індуктивність соленоїда: $L = \mu\mu_0 n^2 V$, тут n – це кількість витків, що припадають на одиницю довжини соленоїда.

Власна енергія струму та взаємна енергія взаємодії двох струмів.

$$W = \frac{LI^2}{2}, W_{12} = L_{12}I_1I_2.$$

Об'ємна густина енергії магнітного поля:

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

Індуктивність прямого соленоїда $L = k\mu S/l$, де k – множник, значення якого залежить від частки діаметра соленоїда до його довжини, ω – кількість витків соленоїда.

195. До короткозамкнутої котушки один раз – швидко, другий раз – повільно всувають магніт. а) Чи однаковий заряд індукується в котушці в обох випадках? б) Чи однакову роботу проти електромагнітних сил виконує рука, яка всуває магніт?

196. При обертанні металевих тіл електрони віддаляються від осі обертання, і в тілі створюється електричне поле. З якою частотою має обертатися навколо вертикальної осі металевий диск, щоб у ньому було відсутнє електричне поле? Вертикальну складову магнітного поля Землі прийняти такою, що дорівнює в системі СІ 40 А/м.

197. Горизонтальний металевий стрижень обертається навколо вертикальної осі, яка проходить на відстані $1/3$ його довжини від його краю, із частотою $n = 2 \text{ с}^{-1}$. Довжина стрижня дорівнює $l = 60 \text{ см}$. Визначити різницю потенціалів між кінцями стрижня, якщо вертикальна складова земного магнітного поля дорівнює $H = 0,5 \text{ Е}$.

198. Дротяне кільце ($R = 10 \text{ см}$) міститься в сталому однорідному магнітному полі ($B = 100 \text{ Гс}$), що є перпендикулярним до площини кільця.

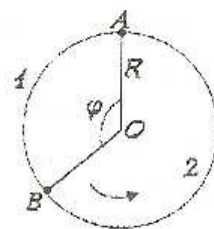


Рис. 48 (до задачі 198)

Центр кільця з'єднаний з ним двома прямими дротиками (рис. 48). Один із дротиків (OA) є нерухомим, інший (OB) обертається навколо центра зі сталою кутовою швидкістю $\omega = 4 \text{ рад/с}$, внаслідок

чого по прямим дротиках і по кільцю течуть індукційні струми. Опір дротика довжиною 1 см дорівнює $r = 10^{-2}$ Ом. Магнітні поля індукційних струмів є малими в порівнянні зі сталим магнітним полем B_0 . Визначити струми в прямим дротиках та у дугах кільця у наступних положеннях: а) $\varphi = 0$; б) $\varphi = \pi$; в) $\varphi = 2\pi$.

199. Котушка без залізного сердечника має 1000 витків, діаметр перерізу 10 см і довжину 50 см. Величина струму в котушці рівномірно збільшується на 0,1 А за 1 с (за допомогою реостата). На котушку надіто кільце з мідного дроту площею перерізу 2 мм^2 . Уважаючи, що магнітні потоки, які пронизують котушку та кільце, у будь-який момент є рівними між собою, знайти струм у кільці.

200. Довжина дерев'яного циліндра $l = 20$ см є значно більшою за його діаметр. На циліндр навіті дві мідні обмотки з перерізами $S = 2 \text{ мм}^2$. Одну з обмоток замкнено накоротко. Які заряди індукуються в цій обмотці, якщо іншу обмотку приєднати до акумулятора з е.р.с., яка дорівнює $\mathcal{E} = 2$ В, і з дуже малим внутрішнім опором?

201. На круглий дерев'яний циліндр навіто обмотку з мідного дроту, маса якої дорівнює $m = 50$ г. Відстань між крайніми витками дорівнює $l = 60$ см, вона є набагато більшою за діаметр циліндра. Опір обмотки $R = 30$ Ом. Якою є її індуктивність?

202. а) Дві котушки з індуктивностями $L_1 = 5$ мГн і $L_2 = 3$ мГн включені послідовно і розташовані так, що їхні магнітні поля взаємно підсилюють одне одного. Індуктивність цієї системи виявилася такою, що дорівнює $L = 11$ мГн. Визначити взаємну

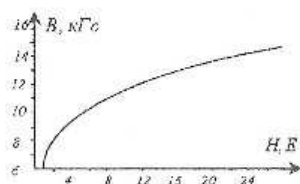


Рис. 49 (до задачі 203)

індуктивність котушок.

б) Якою стане індуктивність системи котушок, якщо, не змінюючи розташування котушок, змінити напрямок струму в одній з них на зворотний?

203. а) Визначити індуктивність котушки із замкнутим магнітним ланцюгом (кільцевий соленоїд) за наступних умов: кількість витків $w = 1000$; площа перерізу магнітопровода $S = 25 \text{ см}^2$; середній діаметр кільця $d = 20$ см; струм $I = 1$ А. Магнітні властивості заліза описані кривою на рис. 49. б) Те саме питання за умови, що струм $I_1 = 0,1$ А.

204. Визначити індуктивність петлі з двох дротів. Довжина петлі $l = 1500$ м; діаметр дротів $d = 1$ мм; відстань між осями дротів $a = 2$ см. Магнітним полем усередині дротів можна знехтувати.

205. На рис. 50 показано графік залежності струму в дроселі від часу при підключенні до нього джерела сталого струму.

а) Якими є площі OABO і OCAO?

б) Користуючись графіком, визначити індукцію магнітного

полю в сердечнику дроселя через 0,5 с після вмикання струму, якщо відомо наступне. Обмотка дроселя складається з мідного дроту площею перерізу $S = 1 \text{ мм}^2$. Діаметр сердечника дорівнює $d = 5 \text{ см}$. Опором усіх частин ланцюга, за винятком обмотки дроселя, можна знехтувати.

206. Котушка має індуктивність 6 Гн , омичний опір 200 Ом і реактивний опір 1000 Ом .

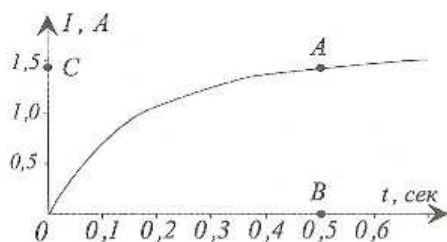


Рис. 50 (до задачі 205)

Її присьєднано паралельно до магістралі, в якій підтримується напруга 120 В (рис. 51). Яка напруга буде між точками A і B схеми через $0,001 \text{ с}$ після розмикання ключа K ?

207. Визначити енергію магнітного поля в залізоному сердечнику об'ємом 400 см^3 , якщо індукція дорівнює 12000 Гс .

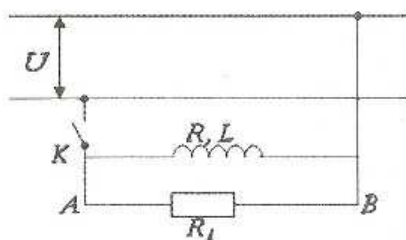


Рис. 51 (до задачі 206)

208. Котушка без залізного сердечника має 10000 витків діаметром 5 см . Довжина котушки дорівнює 50 см . Обмотку зроблено з мідного дроту ($S = 0,1 \text{ мм}^2$). Через скільки часу після під'єднання котушки до

батареї акумуляторів величина струму досягне значення $I = 0,99 I_0$, де I_0 - стала величина струму? Таблицю значень множника k наведено нижче:

Діаметр дроту, мм	0,00	0,02	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	5	10	100
k	1,00	0,992	0,959	0,920	0,872	0,818	0,688	0,526	0,320	0,205	0,035

209. Прямокутний контур з ковзною перемичкою довжини l перебуває в однорідному магнітному полі, що є перпендикулярним до площини контуру (рис. 52). Індукція поля дорівнює B . Перемичка має опір R , сторони AB і CD мають опори R_1 і R_2 . Нехтуючи самоіндукцією контуру, знайти струм у перемичці при її поступальному переміщенні зі сталою швидкістю v .

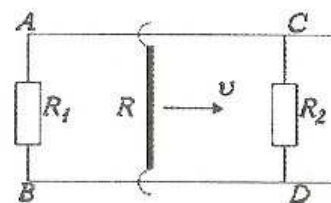


Рис. 52 (до задачі 209)

210. Металевий диск радіусу $a = 25 \text{ см}$ обертають зі сталою кутовою швидкістю $\omega = 130 \text{ рад/с}$ навколо його осі. Знайти різницю потенціалів між центром та ободом диска, якщо:

- зовнішнього магнітного поля немає;
- зовнішнє однорідне магнітне поле з індукцією $B = 5,0 \text{ мТл}$ є перпендикулярним до диска.

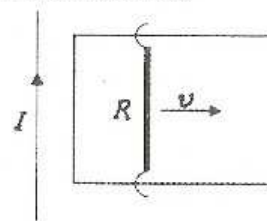


Рис. 53 (до задачі 211)

211. Довгий прямий дріт зі струмом I та П-подібний дріт із рухливою перемичкою розташовані в одній площині, як показано на рис. 53. Перемичку, довжина якої l і опір R , переміщують праворуч

із сталою швидкістю u . Знайти струм $I_{\text{інд}}$, який індукується в контурі, як функцію відстані r між перемичкою та прямим дротом. Опором П-подібного дроту і самоіндукцією контуру можна знехтувати.

212. Квадратна рамка зі стороною a і довгий прямий дріт зі струмом I перебувають в одній площині, як показано на рис. 54. Рамку поступально переміщують праворуч зі сталою швидкістю u . Знайти е.р.с. індукції в рамці як функцію відстані x .

213. Металевий стрижень маси m може обертатися навколо горизонтальної осі O , ковзаючи по кільцевому провіднику радіуса a (рис. 55). Система перебуває в однорідному магнітному полі з індукцією B , спрямованому перпендикулярно до площини кільця. Вісь і кільце під'єднані до

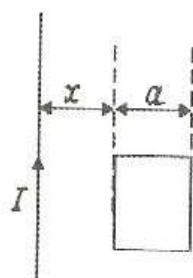


Рис. 54 (до задачі 212)

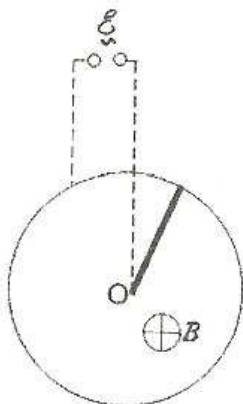


Рис. 55 (до задачі 213)

джерела е.р.с. $\mathcal{E}$, утворюючи ланцюг з опором. Нехтуючи тертям, індуктивністю ланцюга та опором кільця, знайти, за яким законом має змінюватися е.р.с. джерела, аби стрижень обертався зі сталою кутовою швидкістю ω .

214. По двох гладких мідних шинах, які встановлено під кутом α до горизонту, ковзає під дією сили тяжіння мідна перемичка маси m (рис. 56). Угорі шини замкнуті на опір R . Відстань між шинами l . Система перебуває в однорідному магнітному полі з індукцією B , перпендикулярною до площини, у якій рухається перемичка.



Рис. 56 (до задачі 214)

Опори шин, перемички та ковзних контактів, а також самоіндукція контуру с нехтовно малими. Знайти сталу швидкість перемички.

215. Система відрізняється від розглянутої в попередньому завданні (рис. 56) лише тим, що замість опору R до кінців шин під'єднано конденсатор ємності C . Знайти прискорення перемички.

216. Дріт зігнуто у формі півкола радіуса a . Дріт обертають навколо осі OO' з кутовою швидкістю ω в однорідному магнітному полі з індукцією B (рис. 57). Вісь обертання є перпендикулярною до напрямку поля. Опір всього ланцюга дорівнює R . Нехтуючи магнітним полем індукованого

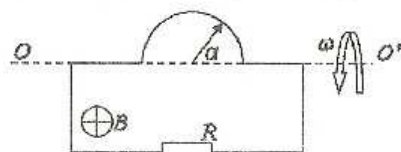


Рис. 57 (до задачі 216)

струму, знайти середнє за період обертання значення теплової потужності, яка виділяється в контурі.

217. Квадратна дротяна рамка зі стороною a і прямий провідник зі сталим струмом I лежать в одній площині (рис. 58).

Індуктивність та опір рамки дорівнюють L і R . Рамку повернули на 180° навколо осі OO' , що відстоїть від провідника зі струмом на відстань b . Знайти заряд, що протік у рамці.

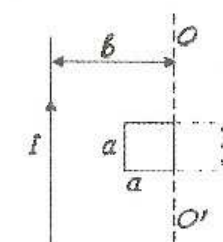


Рис. 58 (до задачі 217)

218. По довгому прямому дроті тече струм I_0 . На відстанях a і b від нього розташовані два паралельні йому дроти, які замкнуті на

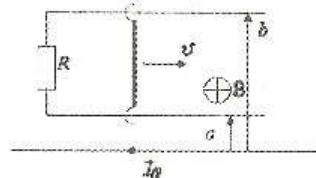


Рис. 59 (до задачі 218)

одному кінці опором (рис. 59). По дротах без тертя пересувають зі

сталією швидкістю стрижень-перемичку. Нехтуючи опором дротів, стрижня та ковзних контактів, знайти: а) значення і напрямок індукованого струму в стрижні; б) силу, яку слід докласти до стрижня-перемички, аби він рухався зі сталою швидкістю.

219. Провідник AD маси m скочає без тертя по двох довгих провідних рейках, які розташовано на відстані l одна від одної

(рис. 60). Ліворуч рейки замкнуті опором R . Система перебуває в

однорідному магнітному полі, перпендикулярному до площини контуру. У момент $t = 0$ стрижню AD надали початкову швидкість v_0 , яку спрямовано праворуч. Нехтуючи опором рейок і стрижня AD , а також самоіндукцією, знайти: а) відстань, яку пройде стрижень до зупинки; б) кількість тепла, яке виділиться при цьому на опорі R .

220. По Π -подібному дроті, який розташовано в горизонтальній площині, може скочати без тертя

перемичка AD (рис. 61). Вона має довжину l , масу m і опір R . Вся система перебуває в однорідному магнітному полі з індукцією B , спрямованому вертикально. У момент $t = 0$ на перемичку почали діяти зі сталою горизонтальною силою F , і перемичка почала пересуватися поступально праворуч. Знайти залежність від часу t

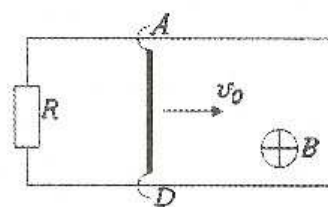


Рис. 60 (до задачі 219)

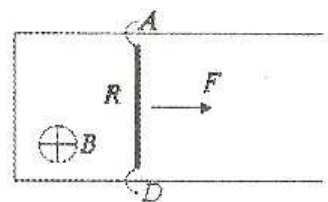


Рис. 61 (до задачі 220)

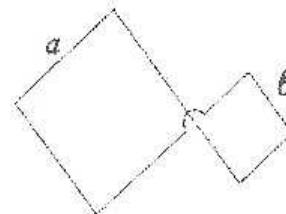


Рис. 62 (до задачі 221)

швидкості перемички. Індуктивністю контуру і опором П-подібного дроту знехтувати.

221. Плоский контур (рис. 62), що має вигляд двох квадратів зі сторонами $a = 20$ см і $b = 10$ см, перебуває в однорідному магнітному полі, перпендикулярному до його площини. Індукція поля змінюється в часі за законом $B = B_0 \sin(\omega t)$, де $B_0 = 10$ мТ і $\omega = 100$ рад/с. Знайти амплітудне значення струму, який індуковано в контурі, за умови, що опір одиниці довжини контуру дорівнює $\rho = 50$ мОм/м. Індуктивністю контуру знехтувати.

8. Рух заряджених частинок в електричному і магнітному полях

222. Електрон, енергія якого відповідає різниці потенціалів U_0 , потрапив у вакуумі до поля циліндричного конденсатора (радіуси циліндрів R_1 і R_2). Швидкість електрона в початковий момент

направлено перпендикулярно до площини, яка проходить крізь вісь конденсатора.

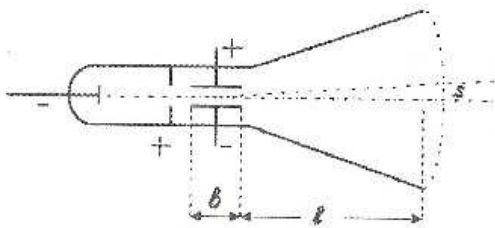


Рис. 63 (до задачі 223)

За якої напруги $|U|$ між обкладками конденсатора електрон буде летіти усередині конденсатора по колу?

223. Вузький потік електронів у вакуумі пролітає крізь плоский конденсатор паралельно його пластинкам (рис. 63) і спричиняє освітлення флуоресціюючого екрану, який відстоїть від кінця конденсатора на відстані $l = 15$ см. Якщо до конденсатора прикласти напругу $U = 50$ В, світла пляма на екрані зсувається на $s = 21$ мм. Відстань між пластинками конденсатора $d = 18$ мм; довжина конденсатора $b = 6$ см. Визначити швидкість електронів.

224. Потік електронів дістав свою швидкість внаслідок дії напруги $U_1 = 5000$ В. Потік влітає всередину між пластинками плоского конденсатора. Розміри конденсатора є такими: довжина конденсатора $b = 5$ см; відстань між пластинками $d = 1$ см. Яку найменшу напругу слід прикласти до конденсатора, щоб електрони не вилетіли з нього?

225. Електрон рухається зі швидкістю $v = 40000$ км/с. Він влітає до простору між двома пластинками. Довжина пластинок конденсатора $b = 6$ см. Відстань між пластинками $d = 0,5$ см. До конденсатора прикладено напругу $U = 40$ В. Наскільки збільшиться швидкість електрона після його виходу з конденсатора в порівнянні з початковою?

226. Електрон починає рухатися в однорідному електричному полі з напруженістю $E = 10$ кВ/см. Через який час після початку руху кінетична енергія електрона стане дорівнювати його енергії спокою?

227. Протон прискорений різницею потенціалів $U = 500$ кВ.

Він пролітає поперечне однорідне магнітне поле з індукцією $B = 0,51 \text{ Т}$. Товщина області з полем $a = 10 \text{ см}$ (рис. 64). Знайти кут відхилення протопа від первісного напрямку руху.

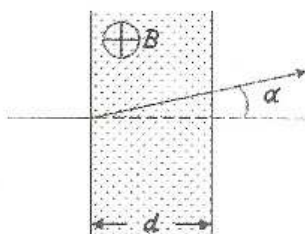


Рис. 64 (до задачі 227)

228. Заряджена частинка рухається по колу радіусу $r = 100 \text{ мм}$ в однорідному магнітному полі з індукцією $B = 10,0 \text{ мТ}$. Знайти її швидкість і період обертання, якщо частинкою є: а) нерелятивістський протон; б) релятивістський електрон.

229. Електрон прискорений різницею потенціалів $U = 1,0 \text{ кВ}$. Він рухається в однорідному магнітному полі під кутом $\alpha = 30^\circ$ до вектора $\vec{B}$, модуль якого $B = 29 \text{ мТ}$. Знайти крок гвинтової траєкторії електрона.

230. Слабко розбіжний пучок нерелятивістських заряджених частинок прискорений різницею потенціалів U . Пучок виходить із точки A уздовж осі прямого соленоїда. Пучок фокусується на відстані l від точки A при двох послідовних значеннях індукції магнітного поля, B_1 і B_2 . Знайти питомий заряд q/m частинок.

231. Точка A лежить на осі прямого соленоїда. З точки A вилітає нерелятивістський електрон зі швидкістю v під кутом α до

осі. Індукція магнітного поля B . Екран розташовано перпендикулярно до осі на відстані l від точки A . Знайти відстань r від осі до точки на екрані, в яку влучає електрон.

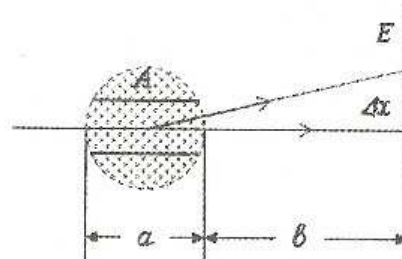


Рис. 65 (до задачі 232)

232. Пучок нерелятивістських заряджених частинок проходить без відхилень крізь область A (рис. 65), у якій створені поперечні взаємно перпендикулярні електричне та магнітне поля з напруженістю E та індукцією B . Якщо магнітне поле вимкнути, слід пучка на екрані E зміщується на Δx . Знаючи відстані a і b , знайти питомий заряд q/m частинок.

233. Пучок нерелятивістських протонів проходить без відхилень крізь область, у якій створені однорідні поперечні взаємно перпендикулярні електричне та магнітне поля з $E = 120 \text{ кВ/м}$ і $B = 50 \text{ мТ}$. Потім пучок потрапляє на заземлену мішень. Знайти силу, з якою пучок діє на мішень, якщо струм у пучку $I = 0,30 \text{ мА}$.

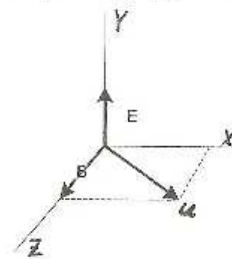


Рис. 66 (до задачі 234)

234. Нерелятивістські протони рухаються прямолінійно в

області, де створені однорідні взаємно перпендикулярні електричне та магнітне поля з $E = 4,0 \text{ кВ/м}$ і $B = 50 \text{ мТл}$. Траєкторія протонів лежить у площині XZ (рис. 66) і становить кут $\varphi = 30^\circ$ з віссю X . Знайти крок гвинтової лінії, по якій будуть рухатися протони після вимикання електричного поля.

235. Магнетрон – це прилад, що складається з нитки розжарювання радіусу a і коаксіального циліндричного анода радіусу b , які перебувають в однорідному магнітному полі, паралельному нитці. Між ниткою та анодом прикладено прискорювальну різницю потенціалів U . Знайти значення індукції магнітного поля, при якому електрони, що вилітають із нульовою початковою швидкістю з нитки, будуть досягати анода.

236. Система складається з довгого циліндричного анода радіусу a і коаксіального з ним циліндричного катода радіусу b ($b < a$). На осі є нитка зі струмом накали I , що створює в навколишньому просторі магнітне поле. Знайти найменшу різницю потенціалів між катодом і анодом, при якій термоелектрони, що залишають катод без початкової швидкості, почнуть досягати анода.

9. Періодичні струми. Електричні коливання

Потужність, яка виділяється в ланцюзі змінного струму:

$$P = UI \cos \varphi,$$

де U і I – діючі (ефективні) значення напруги і струму:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, I = \frac{I_m}{\sqrt{2}},$$

де U_m і I_m – амплітуди напруги і струму.

Загасаючі коливання контуру

$$Q = q_m \exp(-\beta t) \cos(\omega t + \alpha),$$

$$\text{де } \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}; \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \beta = \frac{R}{2L}.$$

Логарифмічний декремент загасання λ і добротність контуру Q при слабкому загасанні:

$$\lambda = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}}; Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Усталені вимушені коливання струму при послідовному включенні до контуру напруги $U = U_m \cos(\omega t)$:

$$I = I_m \cos(\omega t - \varphi), \quad \text{де} \quad I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}},$$

$$\tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}.$$

237. При якій напрузі по обмотці дроселя, що має омичний опір 35 Ом та індуктивність $0,1 \text{ Гн}$, підє струм 3 А ? Частота 50 Гц .

238. Якої ємності конденсатор треба взяти, щоб його ємнісна провідність була еквівалентною провідності реостата з

опором 500 Ом , якщо частота струму дорівнює: а) 50 Гц ; б) 50000 Гц ?

239. У котушці з омичним опором 10 Ом при частоті 50 Гц виникає зсув фази між напругою та струмом, який дорівнює 60° . Визначити індуктивність котушки.

240. На картонний циліндр довжиною $l = 50 \text{ см}$ і діаметром $d_2 = 5 \text{ см}$ навито $n = 500$ витків мідного дроту діаметром $d_1 = 0,5 \text{ мм}$. При якій частоті реактивний опір такої котушки в $n = 2$ рази більший за її омичний опір?

241. а) Кільце, діаметр якого $d_1 = 10 \text{ см}$, виготовлено з мідного дроту діаметром $d_2 = 1 \text{ мм}$. Кільце обертається в однорідному магнітному полі ($B = 10 \text{ Гс}$) з частотою обертання $n = 10 \text{ с}^{-1}$. Індуктивність кільця таких розмірів $L = 350 \text{ см}$. Визначити ефективний струм у кільці.

б) Який був би струм у кільці, якби його опір був близький до нуля (або у випадку надпровідника)?

Зменшенням індуктивності внаслідок скін-ефекту знехтувати.

242. Діаметр дерев'яного кільця $d = 30 \text{ см}$, його поперечний переріз має вигляд кола. На кільце навито обмотку з мідного дроту, маса якої $m = 2 \text{ кг}$. Обмотку приєднують спочатку до мережі сталого струму, потім до мережі змінного струму ($f = 50 \text{ Гц}$), причому ефективна напруга дорівнює напрузі сталого струму. У якому випадку споживається більша потужність?

243. Обмотка дроселя, що має незначний омичний опір і значну індуктивність, перебуває під напругою, що змінюється із

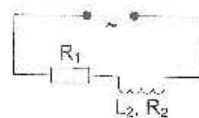


Рис. 67 а) (до задачі 244)



Рис. 67 б) (до задачі 244), $R_1 > R_2$

$$L_2 > L_1$$

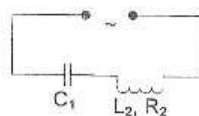


Рис. 67 в) (до задачі 244)

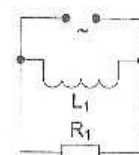


Рис. 68 а) (до задачі 245)

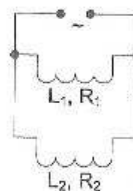


Рис. 68 б) (до задачі 245), $R_1 > R_2$

$$L_2 > L_1$$

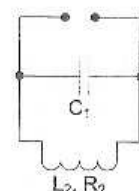


Рис. 68 в) (до задачі 245)

часом за законом синуса. Гістерезис у залізнму сердечнику дроселя виражений слабо, і ним можна знехтувати. Струми Фуко також є нехтовно малими. Зміни магнітного потоку є значними, і частина періоду проходить при насиченні. а) Чи є близьким до синусоїдального струм, що йде по обмотці дроселя? б) Чи є близьким до синусоїдального магнітний потік у сердечнику

дроселя?

244. Накреслити векторні діаграми напруг і струмів для випадків, які зображено на схемах рис. 67.

245. Накреслити векторні діаграми струмів і напруг для випадків, які зображено на схемах рис. 68.

246. У коливальному контурі, що складається з конденсатора ємності C і котушки індуктивності L , відбуваються вільні незагасаючі коливання, при яких амплітуда напруги на конденсаторі дорівнює U_m . Знайти для довільного моменту часу зв'язок між струмом I у контурі та напругою U на конденсаторі. Вирішити це питання як за допомогою закону Ома, так і з енергетичних міркувань.

247. Коливальний контур складається з конденсатора ємності C , котушки індуктивності L і з нехтовно малим опором, а також ключа. При розімкнутому ключі конденсатор зарядили до напруги U_m і потім у момент $t = 0$ замкнули ключ. Знайти: а) струм у контурі як функцію часу $I(t)$; б) е.р.с. самоіндукції в котушці в моменти, коли електрична енергія конденсатора виявляється рівною енергії струму в котушці.

248. У коливальному контурі (рис. 69) індуктивність котушки $L = 2,5$ мГ, а ємності конденсаторів $C_1 = 2,0$ мкФ і $C_2 = 3,0$ мкФ. Конденсатори зарядили до напруги $U = 180$ В і замкнули ключ K . Знайти: а) період власних коливань;

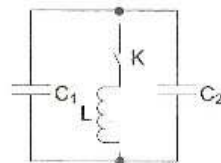


Рис. 69 (до задачі 248)

б) амплітудне значення струму крізь котушку.

249. У контурі відбуваються вільні загасаючі коливання, при яких напруга на конденсаторі змінюється з часом за законом $U = U_m \exp(-\beta t) \cos \omega t$. Знайти моменти часу, коли модуль напруги на конденсаторі досягає: а) амплітудних значень; б) максимальних (екстремальних) значень.

250. Коливальний контур складається з конденсатора ємності $C = 4,0$ мкФ і котушки з індуктивністю $L = 2,0$ мГ та з активним опором $R = 10$ Ом. Знайти частку енергії магнітного поля котушки до енергії електричного поля конденсатора в момент, коли струм є максимальним.

251. Деякий коливальний контур містить дві послідовно з'єднані котушки з активними опорами R_1 і R_2 , а також індуктивностями L_1 і L_2 , причому взаємна індуктивність їх є нехтовно малою. Ці котушки треба замінити однією так, щоб частота і добротність контуру не змінилися. Знайти індуктивність та активний опір такої котушки.

252. Знайти час, за який амплітуда коливань струму в контурі з добротністю $Q = 5000$ зменшиться в $\eta = 2,0$ рази, якщо частота коливань $\nu = 2,2$ МГц.

253. Коливальний контур має ємність $C = 10$ мкФ, індуктивність $L = 25$ мГ та активний опір $R = 1,0$ Ом. Через скільки коливань амплітуда струму в цьому контурі зменшиться в e разів?

254. На скільки відсотків відрізняється частота ω вільних коливань контуру з добротністю $Q = 5,0$ від власної частоти коливань цього контуру?

255. Знайти добротність контуру з ємністю $C = 2,0$ мкф та індуктивністю $L = 5,0$ мГ, якщо на підтримку в ньому незагасаючих коливань із амплітудою напруги на конденсаторі $U_m = 1,0$ В необхідно підводити потужність $(P) = 0,10$ мВт. Загасання коливань в контурі слід вважати достатньо малим.

256. Яку середню потужність має споживати коливальний контур з активним опором $R = 0,45$ Ом, щоб у ньому підтримувалися незагасаючі гармонічні коливання з амплітудою струму $I = 30$ мА?

257. Коливальний контур містить конденсатор з ємністю $C = 1,2$ нф і котушку з індуктивністю $L = 6,0$ мкГ та активним опором $R = 0,50$ Ом. Яку середню потужність слід підводити до контуру, аби підтримувати в ньому незагасаючі гармонічні коливання з амплітудою напруги на конденсаторі $U_m = 10$ В?

258. Знайти частоту загасаючих коливань контуру, який показано на рис. 70. Ємність C , індуктивність L та активний опір R вважаються відомими. З'ясувати, при якому співвідношенні між C , L і R коливання є можливими.

259. Довгий одношаровий соленоїд із дроту з питомим опором ρ має на одиницю довжини n щільно укладених витків. Товщина ізоляції дроту є нехтовно малою. Радіус перерізу соленоїда дорівнює a . Знайти різницю фаз між струмом і змінною напругою із частотою ν , яку підключено до кінців соленоїда.

260. Ланцюг складається з послідовно ввімкнутих конденсатора та активного опору

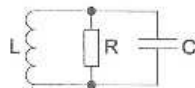


Рис. 70 (до задачі 258)

$R = 110$ Ом. Кінці ланцюга приєднали до джерела змінної напруги з амплітудним значенням $U_m = 110$ В. При цьому амплітуда усталеного струму в ланцюзі $I_m = 0,50$ А. Знайти різницю фаз між струмом і напругою, що подається.

261. Ланцюг складається з послідовно з'єднаних конденсатора з ємністю $C = 22$ мкф і котушки з активним опором $R = 20$ Ом та індуктивністю $L = 0,36$ Г. Ланцюг підключений до джерела змінної напруги з амплітудою $U_m = 180$ В і частотою $\omega = 314$ рад/с. Знайти: а) амплітуду струму в ланцюзі; б) різницю фаз між струмом і зовнішньою напругою; в) амплітуди напруги на конденсаторі та котушці.

262. Змінну напругу із частотою $\omega = 314$ рад/с і амплітудним значенням $U_m = 180$ В підключено до кінців ланцюга, що складається з послідовно з'єднаних конденсатора та котушки з активним опором $R = 40$ Ом та індуктивністю $L = 0,36$ Г. При якому значенні ємності конденсатора амплітуда напруги на котушці буде максимальною? Чому дорівнює ця амплітуда напруги на конденсаторі?

ВІДПОВІДІ

$$1. E = \frac{q}{\epsilon l a} = 0,2 \text{ СГС од. напруженості.}$$

$$2. \text{ а) } 0; \text{ б) } E = \frac{qh}{\epsilon \sqrt{(R^2 + h^2)^3}} = 0,36 \text{ СГС од. напруженості,}$$

в) Максимальна напруженість має місце в точці, що відстоїть від кільця на відстані $h_0 = R/\sqrt{2}$; $E_{\max} = 0,77 \text{ СГС од. напруженості.}$

3. а) Виходимо з розв'язку попередньої задачі. Розділяємо пластинку на набір нескінченно тонких кілець. Заряд на кільці з радіусом x дорівнює: $dq = \sigma 2\pi x dx$. Тоді $dE = \frac{2\pi\sigma x dx}{\epsilon(x^2 + d^2)^{3/2}}$;

$$E = \frac{2\pi\sigma}{\epsilon} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + R^2/d^2}} \right) = 12,57 \text{ СГС одиниць напруженості;}$$

б) при $d \rightarrow 0$ другий член у дужках дорівнює нулю, та $E = \frac{2\pi\sigma}{\epsilon}$.

Якщо $R \ll d$, то $\frac{1}{\sqrt{1 + R^2/d^2}} \approx 1 - \frac{R^2}{2d^2}$. При цьому $E = \frac{q}{\epsilon l^2}$.

4. Розв'язок легко дістати як наслідок розв'язку задачі 3:

$$E = \frac{2\pi\sigma}{\epsilon \sqrt{1 + a^2/d^2}}.$$

5. Диполь А: $-p^2/r^3$; диполь В: $-2p^2/r^3$; на всю систему: $+3p^2/r^3$. Сума всіх обертаючих моментів дорівнює нулю.

6. Розбиваємо півсферу на набір нескінченно вузьких кілець (рис. 1). Площа кожного кільця $2\pi R dh$. Заряд

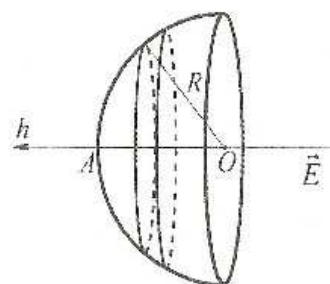


Рис. 1 (до задачі 6)

на кільці $\sigma 2\pi R dh$. З міркувань симетрії зрозуміло, що поле спрямоване по лінії ОА. Тому напруженість поля, створювана зарядом на кільці, дорівнює $dE = \frac{\sigma 2\pi R dh}{\epsilon R^2} \frac{R-h}{R}$. Звідси $E = \frac{\pi\sigma}{\epsilon}$.

$$8. F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} \frac{q_i q_k}{|\vec{r}_i - \vec{r}_k|^3} |\vec{r}_i - \vec{r}_k|.$$

$$9. F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \int_V \frac{\rho(\vec{r}) \rho'(\vec{r}') (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} dV dV'.$$

$$10. \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{\rho(\vec{r}) dV}{|\vec{r} - \vec{r}'|}, F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{\rho(\vec{r}) (\vec{r} - \vec{r}') dV}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3}.$$

$$11. \Delta T = \frac{qq_0}{8\pi^2 \epsilon_0 r^2}.$$

$$12. E = \frac{ql}{\sqrt{2\pi\epsilon_0} (l^2 + x^2)^{3/2}}.$$

$$13. E = \frac{3qR^2}{4\pi\epsilon_0 x^4}.$$

14. $E = \frac{\sqrt{2}\lambda}{4\pi\epsilon_0 y}$. Вектор $\vec{E}$ спрямований під кутом 45° до нитки.

15. $E = -\frac{ar}{3\epsilon_0}$.

16. $E = \frac{aR^2}{6\epsilon_0}$.

17. $|\Phi| = \frac{\lambda R}{2\epsilon_0}$. Знак Φ залежить від вибору напрямку нормалі до кола.

18. $|\Phi| = \frac{\pi\rho r_0(R^2 - r_0^2)}{3\epsilon_0}$.

19. а) $E = \frac{\rho_0 r}{3\epsilon_0} \left(1 - \frac{3r}{4R}\right)$ при $r < R$; $E = \frac{\rho_0 R^2}{12\epsilon_0 r^2}$ при $r \geq R$.

б) $E_{\text{max}} = \frac{\rho_0 R}{9\epsilon_0}$ при $r_{\text{max}} = 2R/3$.

20. $\vec{E} = \frac{\vec{a}\rho}{3\epsilon_0}$.

21. $\vec{E} = \frac{\vec{a}\rho}{2\epsilon_0}$, де вектор $\vec{a}$ спрямований до осі порожнини.

22. $\Delta\varphi = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 R} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + (a/R)^2}}\right)$.

23. $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \eta - 5 \text{ кВ.}$

24. $\varphi = \frac{\sigma l}{2\epsilon_0} \left(\sqrt{1 + (R/l)^2} - 1\right)$, $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{l}{\sqrt{l^2 + R^2}}\right)$.

При $l \rightarrow 0$ потенціал $\varphi = \frac{\sigma R}{2\epsilon_0}$; при $l \gg R$ потенціал $\varphi \approx \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l}$.

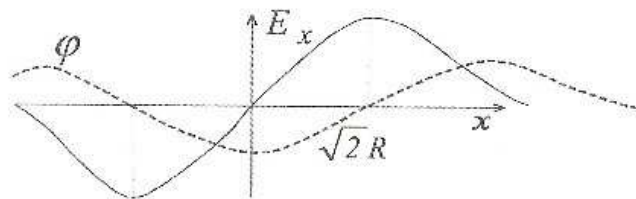


Рис. 2 (до задачі 26)

$E \approx \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l^2}$, де $q = \sigma\pi R^2$.

25. $\varphi = \frac{\sigma R}{\pi\epsilon_0}$.

26. $\varphi = -\frac{ql}{4\pi\epsilon_0} \frac{x}{(R^2 + x^2)^{3/2}}$, $E_x = -\frac{ql}{4\pi\epsilon_0} \frac{R^2 - 2x^2}{(R^2 + x^2)^{5/2}}$, де E_x — це

проекція вектора $\vec{E}$ на вісь x . Графіки цих залежностей показані на

рис. 2. При $|x| \gg R$ потенціал $\varphi \approx \frac{ql}{4\pi\epsilon_0 x^2}$, і $E_x \approx \frac{ql}{2\pi\epsilon_0 x^3}$.

27. а) $F = 0$; б) $\vec{F} = -\frac{\lambda \vec{p}}{2\pi\epsilon_0 r^2}$, в) $\vec{F} = \frac{\lambda \vec{p}}{2\pi\epsilon_0 r^2}$.

28. $\varphi = \sigma y(y^2/3 - x^2) + \text{Const.}$ 29. $\rho = 6\epsilon_0 ax$.

$$30. \quad \varphi = \frac{\sigma l}{2\epsilon_0} \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}}, \quad E_x = \frac{\sigma l}{2\epsilon_0} \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}}. \quad \text{Дивіться}$$

рис. 3.

$$31. \quad F = \frac{U^2 \epsilon S}{8\pi d^2} =$$

$$25 \text{ дин} = 2,5 \times 10^{-4} \text{ Н.}$$

32. Проб'ється лише після введення скляної пластинки, тому що в цьому випадку

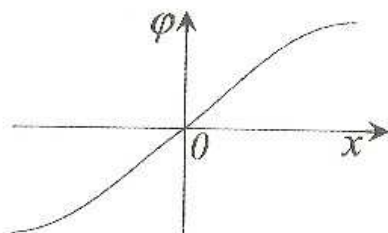


Рис. 3 (до задачі 30)

напруженість у повітрі буде 31,4 кВ/см, а після пробиття повітря напруженість у склі буде 130 кВ/см.

33. Напруженість у шарі діелектрика в циліндричному конденсаторі є найбільшою біля його внутрішньої поверхні. При досягненні напруги, що відповідає пробію в даному діелектрику, ми маємо умови:

$$\frac{2\gamma}{r_1 \epsilon_1} = E_1, \quad \frac{2\gamma}{r_2 \epsilon_2} = E_2,$$

де r_1 і r_2 – внутрішні радіуси діелектричних циліндрів. Звідси $E_1 r_1 \epsilon_1 = E_2 r_2 \epsilon_2$.

34. а) Зі співвідношення між найбільшими напруженостями в ізолюючих шарах $\frac{E_2}{E_1} = \frac{\epsilon_1 r_1}{r_2 \epsilon_2}$ дістаємо, що при підвищенні

напруги на конденсаторі буде пробитий спочатку паперовий, а потім скляний шар. Виходячи з цього, можна підрахувати, що 90

пробій відбудеться при напрузі 45 кВ;

б) у цьому випадку теж спочатку буде пробитий паперовий шар при напрузі 48 кВ.

$$35. \text{ а) } E = \frac{2U}{l \ln \frac{l-r}{r}} = 40 \text{ В/см};$$

$$\text{б) додаючи векторно, маємо: } E = \frac{Ul}{2R_1 R_2 \ln \frac{l-r}{r}} = 3 \text{ В/см.}$$

36. а) Та сама різниця потенціалів, що дорівнює $U/3$. Ні. Та сама напруженість, що дорівнює U/d ;

б) між A і C та між B і D різниця потенціалів $U/3$. Між C і D різниця потенціалів дорівнює нулю. На пластинках C і D негативний і позитивний заряди такої ж величини, як і на пластинках A і B . Напруженість поля між A і C та між B і D дорівнює U/d , між C і D дорівнює нулю;

в) різниця потенціалів і напруженість між A і C та між B і D дорівнюють $U/9$ та $U/(3d)$, між C і D ці величини дорівнюють відповідно $-2U/9$ та $2U/(3d)$;

г) а) відповіді не змінилися; б) між A і C та між D і B різниця потенціалів дорівнює $U/2$; між C і D дорівнює нулю. Напруженість поля між A і C та між D і B дорівнює $3U/(2d)$; між C і D дорівнює нулю; в) різниця потенціалів і напруженість поля між C і D дорівнюють $-U/3$ та $-U/d$.

$$37. \text{ а) } F = \frac{q_1^2 - q_2^2}{4\pi\epsilon_0 (d_1 - d_2)^2} = 4 \times 10^{-8} \text{ Н.}$$

$$38. \text{ а) } \sigma = -\frac{q}{2\pi a^2} =$$

$-0,088 \text{ СГС; б) на підставі таких самих міркувань}$

$$\sigma = \frac{qa}{2\pi r^3} = -0,019 \text{ СГС;}$$

в) розглянемо рис. 4, нескінченно вузьке кільце з радіусом b . Його площа $dS = 2\pi b db$. Заряд на ньому

дорівнює $dq = \sigma dS = -\frac{qab db}{\sqrt{a^2 + b^2}^3}$. Повний заряд на всій стінці

$$q' = -\frac{qa}{2} \int_0^\infty \frac{2b db}{\sqrt{a^2 + b^2}^3} = -q = -5 \text{ СГС од. заряду.}$$

39. $1,06 \times 10^{-3} \text{ К/см}^2$. 40. а) $78^\circ 46'$; б) 131 В/см ; в) $0,034 \text{ од. СГС}$.

41. а) Умова рівності індукції в повітрі й гасі дає $\left(\frac{q}{h^2} - 2\pi\sigma_1\right)\epsilon = \left(\frac{q}{h^2} + 2\pi\sigma_1\right)\epsilon_0$, тут ϵ_0 і ϵ — діелектричні

проникності повітря й гасу. Звідси $\sigma_1 = \frac{q}{2\pi h^2} \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon + \epsilon_0} = 0,29 \text{ од. СГС;}$

$$\text{б) } \sigma_1 = \frac{qh}{2\pi r^3} \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon + \epsilon_0} = 0,64 \text{ од. СГС; в) див. відповідь до}$$

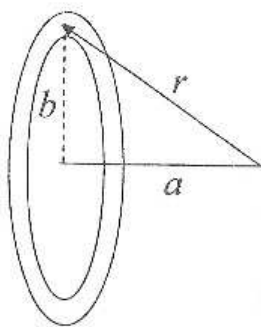


Рис. 4 (до задачі 38 в)

задачі 38: $q_1 = q \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon + \epsilon_0} = 17 \text{ од. СГС}$.

43. Результуюча сила, що діє на верхню пластинку, дорівнює сумі притягання заряду, що міститься на ній, до заряду на нижній пластинці (ця сила мала б місце, якби також і нижня пластинка перебувала в повітрі) і притягання до фіктивного заряду на поверхні рідини, густина якого дорівнює, як це видно з розв'язку

$$\text{задачі 41,} \quad \sigma_1 = \frac{q \epsilon_2 - \epsilon_1}{S \epsilon_1 + \epsilon_2}. \quad \text{Отже,}$$

$$F_1 = q \left(\frac{2\pi q}{\epsilon_1 S} + \frac{2\pi\sigma_1}{\epsilon_1} \right) = \frac{4\pi q^2}{S} \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1(\epsilon_1 + \epsilon_2)} = 11300 \text{ дин.}$$

Аналогічно обчислюється сила, що діє на нижню пластинку:

$$F_2 = \frac{4\pi q^2}{S} \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2(\epsilon_1 + \epsilon_2)} = 1300 \text{ дин. Сила, що діє на поверхню}$$

$$\text{рідини, дорівнює } F_3 = \frac{4\pi q^2}{S} \left(\frac{1}{\epsilon_1} - \frac{1}{\epsilon_2} \right) = 10000 \text{ дин.}$$

$$44. q = 4l\sqrt{\pi\epsilon_0 k x}. \quad 45. A = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 l}.$$

$$46. \text{ а) } F = \frac{(2\sqrt{2}-1)q^2}{8\pi\epsilon_0 l^2}; \text{ б) } E = 2 \frac{q}{\pi\epsilon_0 l^2} \left(1 - \frac{1}{5\sqrt{5}} \right).$$

$$47. \text{ а) } F_1 = \frac{\lambda^2}{4\pi\epsilon_0 R}; \text{ б) } \sigma = \frac{l\lambda}{\pi(l^2 + x^2)}.$$

$$48. \text{ а) } \sigma = \frac{\lambda}{2\pi l}; \text{ б) } \sigma(r) = \frac{\lambda}{2\pi\sqrt{l^2 + r^2}}. \quad 49. \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l}.$$

$$50. \text{ а) } q_2 = -\frac{bq_1}{a}; \varphi(r) = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0} \times \begin{cases} \frac{1}{r} - \frac{1}{a} & \text{при } a \leq r \leq b, \\ \frac{1-b/a}{r} & \text{при } r \geq b. \end{cases}$$

$$51. \text{ а) } E_{23} = \Delta\varphi/d; E_{12} = E_{34} = 0,5E_{23}. \text{ б) } |\sigma_1| = \sigma_4 = \epsilon_0\Delta\varphi/(2d); \sigma_2 = |\sigma_3| = 3\epsilon_0\Delta\varphi/(2d).$$

$$52. q_1 = -q(l-x)/l; q_2 = -qx/l.$$

Порада. Якщо заряд q подумки «розмазати» по площині, яка проходить крізь цей заряд і є паралельною до пластин, то при цьому заряди q_1 і q_2 не зміняться. Зміниться лише їхній розподіл, і електричне поле стане простим для розрахунку.

$$53. F = \frac{q^2}{32\pi\epsilon_0 R^2} = 0,5 \text{ кН}. \quad 54. \oint \vec{E} d\vec{S} = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \pi R^2 E_0 \cos\theta.$$

$$55. \text{ а) } E = \rho l / \epsilon\epsilon_0 \text{ при } l < d, E = \rho d / \epsilon_0 \text{ при } l > d; \varphi = -\rho l^2 / (2\epsilon\epsilon_0) \text{ при } l \leq d, \varphi = -\left(\frac{d}{2\epsilon} + l - d\right) \frac{\rho d}{\epsilon_0} \text{ при } l \geq d. \text{ Графіки залежностей } E_x(x) \text{ і } \varphi(x) \text{ див. на рис. 5.}$$

$$\text{ б) } \sigma' = \rho d(\epsilon - 1)/\epsilon, \rho' = -\rho(\epsilon - 1)/\epsilon.$$

$$56. \text{ а) } E = \rho r / (3\epsilon\epsilon_0) \text{ при } r < R, E = \rho R^2 / (3\epsilon_0 r^2) \text{ при } r > R,$$

$$\text{ б) } \sigma_1 = \rho R(\epsilon - 1)/(3\epsilon), \rho' = -\rho(\epsilon - 1)/\epsilon. \text{ Див. рис. 6.}$$

$$57. \vec{E} = -\frac{\vec{P}d}{4\epsilon_0 R}.$$

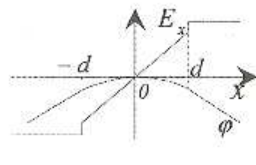


Рис. 5 (до задачі 55)

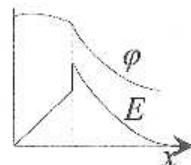


Рис. 6 (до задачі 56)

$$58. \text{ а) } E_1 = 2\epsilon E_0/(\epsilon + 1), E_2 = 2E_0/(\epsilon + 1), D_1 = D_2 = \frac{2\epsilon\epsilon_0 E_0}{\epsilon + 1};$$

$$\text{ б) } E_1 = E_0, E_2 = E_0/\epsilon, D_1 = D_2 = \epsilon_0 E_0.$$

$$59. \text{ а) } E_1 = E_2 = E_0, D_1 = \epsilon_0 E_0, D_2 = \epsilon D_1;$$

$$\text{ б) } E_1 = E_2 = 2E_0/(\epsilon + 1), D_1 = 2\epsilon_0 E_0/(\epsilon + 1), D_2 = \epsilon D_1.$$

$$60. E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0(\epsilon + 1)r^2}.$$

$$61. \rho = \rho_0\epsilon/(\epsilon - 1) = 1,6 \text{ г/см}^3, \text{ де } \epsilon \text{ і } \rho_0 - \text{діелектрична проникність і густина газу.}$$

$$62. \sigma'_{\max} = (\epsilon - 1)\epsilon_0 E = 3,5 \text{ нКл/м}^2, q' = \pi R^2(\epsilon - 1)\epsilon_0 E = 10 \text{ пКл.}$$

$$63. \text{ а) Скориставшись безперервністю нормальної складової вектора } \vec{D} \text{ на межі діелектрика, здобудемо } \sigma' = -\frac{ql(\epsilon - 1)}{2\pi r^3(\epsilon + 1)}, \sigma' \rightarrow 0 \text{ при } l \rightarrow 0;$$

$$\text{ б) } q' = -q(\epsilon - 1)/(\epsilon + 1).$$

$$64. F = \frac{q^2(\epsilon - 1)}{16\pi\epsilon_0 l^2(\epsilon + 1)}.$$

$$65. D = \frac{q}{2\pi(\varepsilon+1)r^2} \text{ у вакуумі, } D = \frac{\varepsilon q}{2\pi(\varepsilon+1)r^2} \text{ у діелектрику.}$$

$$E = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0(\varepsilon+1)r^2}, \varphi = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0(\varepsilon+1)r} \text{ у вакуумі та у діелектрику.}$$

$$66. \sigma' = \frac{ql(\varepsilon-1)}{2\pi r^3 \varepsilon}.$$

$$67. \vec{E} = 3\vec{E}_0/(\varepsilon+2), \vec{P} = 3\varepsilon_0\vec{E}_0(\varepsilon-1)/(\varepsilon+2).$$

$$68. 350 \text{ см.} \quad 69. 9 \times 10^{-9} \text{ Кл.}$$

$$70. \text{ а) } C = \frac{\varepsilon_0 d(2l-d)}{8(l-d)} = 0,257 \text{ см; б) } C = \frac{\varepsilon_0 d(4l-d)}{4(2l-d)} = 0,51 \text{ см.}$$

$$71. 3500 \text{ В.} \quad 72. C = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 S}{4\pi(\varepsilon_2 d_1 + 2\varepsilon_1 d_2)} = 516 \text{ пФ.}$$

$$73. A = \frac{\varepsilon S U^2 (\varepsilon - \varepsilon_0)}{8\pi \varepsilon_0 d} = 279 \text{ ерг.} \quad 74. 119 \text{ ерг.}$$

$$75. \text{ Ємність батареї перед і після пробією: } C/n \text{ і } C/(n-1); \text{ енергія } CU^2/(2n) \text{ і } CU^2/[2(n-1)];$$

$$\text{зміна енергії: а) } \Delta W = \frac{CU^2}{2} \left(\frac{1}{n-1} - \frac{1}{n} \right) = \frac{CU^2}{2n(n-1)} = 4 \times 10^{-2} \text{ Дж;}$$

$$\text{б) } A_1 = \frac{CU^2}{2n(n-1)} = 4 \times 10^{-2} \text{ Дж; в) } A_2 = \frac{CU^2}{n(n-1)} = 8 \times 10^{-2} \text{ Дж.}$$

$$76. C = \frac{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon R_1 R_2}{R_2 + (\varepsilon_1 - 1)R_1}.$$

$$77. \text{ Напруженість зменшилася в } 2(\varepsilon+1) \text{ разів, } q = \frac{C(\varepsilon-1)}{2(\varepsilon+1)} \varepsilon.$$

$$78. \text{ а) } C = \frac{\varepsilon_0 S}{d_1/\varepsilon_1 + d_2/\varepsilon_2}; \text{ б) } \sigma' = \frac{\varepsilon_0 U (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - 1)}{\varepsilon_1 d_1 + \varepsilon_2 d_2}.$$

$$79. \text{ а) } C = \frac{\varepsilon_0 (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) S}{d \ln(\varepsilon_2/\varepsilon_1)}; \text{ б) } \rho' = -q(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) d S \varepsilon^2.$$

$$80. C = 4\pi\varepsilon_0 a / \ln(R_2/R_1). \quad 81. C = \pi\varepsilon_0 / \ln(b/a).$$

$$82. C = 4\pi\varepsilon_0 a. \quad 83. \text{ а) } C = 2\varepsilon_0 S/(3d), \text{ б) } C = 3\varepsilon_0 S/(2d).$$

$$84. \varphi_A - \varphi_B = \frac{C_2 C_3 - C_1 C_4}{(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)}. \text{ За умови } C_1/C_2 = C_3/C_4.$$

$$85. \text{ а) } W = \frac{3q^2}{20\pi\varepsilon_0 R}, \text{ б) } W_1/W_2 = 1/5. \quad 86. A = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right).$$

$$87. A = \frac{q(q_0 + 0,5q)}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right).$$

$$88. \Delta P = \varepsilon_0 \varepsilon (\varepsilon - 1) U^2 / (2d^2) = 7 \text{ кПа} = 0,07 \text{ атм.}$$

$$89. h = (\varepsilon^2 - 1) \sigma^2 / (2\varepsilon_0 \varepsilon^2 \rho g). \quad 90. \text{ а) } 15 \text{ Кл, б) } 0,26 \text{ Кл.}$$

$$91. \text{ а) } 45 \text{ В і } 15 \text{ В; б) } 20 \text{ В і } 40 \text{ В; в) } 60 \text{ В і } 0.$$

$$92. U = \pi j d \rho w = 6,4 \text{ В.} \quad 93. R_c = R \frac{(U_0 - U_2) U_1}{(U_0 - U_1) U_2} = 78600 \text{ Ом.}$$

$$94. \text{ а) } E_1 > 2E_2; \text{ б) } E_1 = 2E_2; \text{ в) } E_1 < 2E_2.$$

$$95. \text{ Стрілка першого вольтметра відхилиться праворуч і покаже } 1,75 \text{ В; стрілка другого вольтметра відхилиться ліворуч і покаже } 1,5 \text{ В.}$$

96. а) Нуль; б) нуль; в) різниця потенціалів між проводами крізь нспарну кількість елементів дорівнює E_1 , крізь парну – нулю.

$$98. \rho = \frac{4\pi r}{\epsilon \ln\left(\frac{q_0}{q}\right)} = 1,47 \times 10^{15} \text{ Ом} \cdot \text{см.}$$

$$99. t = CR \ln[E/(E - U)] = 0,046 \text{ сек.}$$

$$100. 1,3 \text{ Ом.}$$

$$101. \text{ а) } 0,75 \text{ Ом; б) } 1 \text{ Ом.}$$

$$102. \text{ а) } R = \sqrt{3} r; \text{ б) } R = r/\sqrt{3}.$$

$$103. 0,025 \text{ А.}$$

$$104. U_1 = U \frac{xrl}{Rxrl + rl^2 - Rx^2}.$$

$$105. I_1 = 1,5 \text{ А; } I_2 = 2,5 \text{ А; } I_3 = 4 \text{ А.}$$

106. Без обчислень видно, що $I_4 = 0$, оскільки R_4 закорочено. Приймавши це до уваги, знаходимо $I_1 = 0,4 \text{ мА}$, $I_2 = 0,7 \text{ мА}$, $I_3 = 1,1 \text{ мА}$.

$$107. \text{ а) } I = \frac{nE \pm \sqrt{n^2 E^2 - 4Pnr}}{2nr}; I_1 = 2\frac{2}{3} \text{ А; } I_2 = 2 \text{ А; б) } P_{\text{max}} =$$

$$\frac{nE^2}{4r} = 8\frac{1}{6} \text{ Вт.}$$

$$109. A = (1/3) \tau R(I_1^2 + I_2^2 + I_1 I_2) = 2480 \text{ Дж.}$$

$$110. \text{ а) } Q_1 = \frac{q^2 R}{\tau} = 54 \text{ кал} = 2,4 \times 10^2 \text{ Дж; б) } Q_2 = \frac{4q^2 R}{3\tau} = 72 \text{ кал} =$$

$$3,0 \times 10^2 \text{ Дж; в) } Q_3 = \frac{q^2 R}{\tau} \frac{\ln 2}{2} = 19 \text{ кал} = 79 \text{ Дж.}$$

$$111. 7 \text{ хв.}$$

$$112. 133.$$

$$113. \text{ а) } 30 \text{ хв; б) } 6 \text{ хв } 40 \text{ сек.}$$

114. На підставі зазначеного в задачі припущення можна написати:

98

$$\frac{U_1^2}{R} \tau_1 - \kappa \tau_1 - \frac{U_2^2}{R} \tau_2 - \kappa \tau_2 = \frac{U_3^2}{R} \tau_3 - \kappa \tau_3. \text{ Звідси}$$

$$\tau_3 = \tau_1 \tau_2 \frac{U_1^2 - U_2^2}{U_3^2 (\tau_2 - \tau_1) - U_1^2 \tau_1 - U_2^2 \tau_2} = 44 \text{ хв.}$$

$$115. Q = \frac{I^2}{2\pi d} \rho \tau \ln \frac{R}{r} = 4 \times 10^{-4} \text{ кал.}$$

$$116. \text{ а) } \tau = \frac{Dl^2 C \rho_0 (1 + 0,5\alpha)}{U^2} = 5 \times 10^{-5} \text{ с, де } \rho_0 (1 + 0,5\alpha) -$$

середній питомий опір свинцю при зміні його температури від 0°C до точки плавлення t ; D і C – густина і теплоємність свинцю;

$$\text{б) } \tau = \frac{\pi^2 d^4 D C \ln(1 + \alpha)}{16 I^2 \rho \alpha} = 5,6 \times 10^{-4} \text{ сек.}$$

$$117. 1,1 \times 10^{-10} \text{ Кл.}$$

118. Найбільша (теоретично) робота термопарі дорівнює:

$$A = Q \frac{T_1 - T_2}{T_2}. \text{ Заряд } q = \frac{A}{E} = \frac{Q(T_1 - T_2)}{ET_1} = 1480 \text{ Кл.}$$

$$119. 3,1 \text{ еВ.}$$

$$120. 0,15 \text{ А.}$$

$$121. 0,12 \text{ В.}$$

$$122. \text{ а) } (5/6)R; \text{ б) } (7/12)R; \text{ в) } (3/4)R.$$

$$123. R = 0,5 R_1 (1 + \sqrt{1 + 4 R_2 / R_1}) = 6 \text{ Ом.}$$

Порада. Оскільки ланцюг є безмежним, усі ланки, починаючи із другої, можна замінити опором, який дорівнює шуканому опору R .

124. Підключимо подумки до точок A і B джерело напруги U . Тоді $U = IR = I_0 R_0$, де I – струм у дротах, що підводять, I_0 – струм у

провіднику АВ. Струм I_0 можна записати як суперпозицію двох струмів. Якби струм I «втікав» до точки A і розтікався по сітці на нескінченність, то по провіднику АВ (з міркувань симетрії) ішов би струм $I/4$. Аналогічно, якби струм I надходив до сітки з нескінченності та «втікав» з B , то по провіднику АВ також тік би струм $I/4$. Наклавши один на одного обидва ці розв'язки, дістанемо $I_0 = I/2$.

Тому $R = R_0/2$.

125. $R = \rho(b - a)/(4\pi ab)$.

$R = \rho/(4\pi a)$ при $b \rightarrow \infty$.

126. $\rho = 4\pi\Delta tab/[(b-a)C \ln \eta]$.

127. $I = US(\sigma_2 - \sigma_1)/[d \ln(\sigma_2/\sigma_1)] = 5 \text{ нА}$.

128. $\sigma = \varepsilon_0 U(\varepsilon_2 \rho_2 - \varepsilon_1 \rho_1)/(\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2)$, $\sigma = 0$ при $\varepsilon_1 \rho_1 = \varepsilon_2 \rho_2$.

129. $U = \mathcal{E}/(\eta + 1) = 2,0 \text{ В}$.

130. $I = (R_1 \mathcal{E}_2 - R_2 \mathcal{E}_1)/(R_1 R_2 + R R_1 + R R_2) = 0,02 \text{ А}$, напрямок струму зліва праворуч (див рис. 7).

131. а) $I_1 = [R_1(\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) + R_2(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2)]/(R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1) = 0,06 \text{ А}$;

б) $\varphi_A - \varphi_B = \mathcal{E}_1 - I_1 R_1 = 0,9 \text{ В}$.

132. $I = [\mathcal{E}(R_2 + R_3) + \mathcal{E}_0 R_3]/[R(R_2 + R_3) + R_2 R_3]$.

133. $\varphi_A - \varphi_B = [\mathcal{E}_2 R_3(R_1 + R_2) - \mathcal{E}_1 R_1(R_2 + R_3)]/(R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1) = -1,0 \text{ В}$.

134. $n = \sqrt{NR/R} = 3$.

135. $e/m = I\alpha\hbar/(qR) = 1,8 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}$.

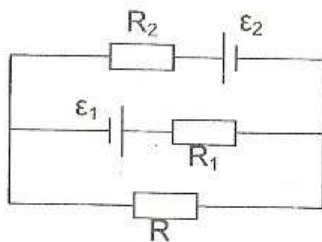


Рис. 7 (до задачі 130)

136. $S = enl\langle v \rangle/j \sim 10^7 \text{ м}$, де n – концентрація вільних електронів, $\langle v \rangle$ – середня швидкість теплового руху електрона.

137. а) $t = enlS/I = 3 \text{ Мс}$; б) $F = enl\rho l = 1,0 \text{ МН}$, де ρ – густина мілі.

138. а) $U \geq 13,56 \text{ В}$; б) $U \geq \varphi(n+1) = 67,8 \text{ В}$;

в) $v \geq 2\sqrt{e\varphi/m} = 1,28 \times 10^6 \text{ см}^2/\text{с}$.

139. $3,4 \times 10^8 \text{ см}^{-3}$.

140. $4,78 \text{ мкА/км}^2$.

141. $2,5 \times 10^7 \text{ см}^{-3} \text{сек}^{-1}$.

142. 17000 разів.

143. а) Над океаном $n = 790 \text{ см}^{-3}$; над суходолом $n = 800 \text{ см}^{-3}$;

б) над океаном 14 м і 19,7 м; над суходолом 178 см і 248 см.

144. а) $t = \frac{I}{a} \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n_0} \right) = 62 \text{ ссек}$; б) $t = \frac{I}{\beta} \ln \frac{n_0}{n} = 460 \text{ сек}$.

147. а) $\rho(x) = -(4/9)\varepsilon_0 a x^{-2/3}$; б) $j = (4/9)\varepsilon_0 a^{3/2} \sqrt{\frac{2e}{m}}$.

148. $n = Id/[e(U_0^+ + U_0^-)US] = 2,3 \times 10^8 \text{ см}^{-3}$.

149. $U_0 = \omega p^2/(2U_0)$.

150. а) $\dot{n}_i = I_{\text{нас}}/(eU) = 6 \times 10^9 \text{ см}^3 \text{сек}^{-1}$; б) $n = \sqrt{\dot{n}_i/r} = 6 \times 10^7 \text{ см}^{-3}$.

151. $t = (\eta - 1)/\sqrt{\dot{n}_i r} = 13 \text{ мс}$. 152. $t = \varepsilon_0 \eta U/(e \dot{n}_i d^2) = 4,6 \text{ сут}$.

153. $j = (e^{\alpha d} - 1)e \dot{n}_i/\alpha$.

154. 15,5 μ .

155. 0,203 г.

156. $m = \frac{\mu H}{2F} = 0,045 \text{ г}$, де μ – молекулярна вага води.

157. Кількість молекул солі в 1 см^3 розчину $n = \alpha N_A/\mu$, де μ – молекулярна вага; N_A – число Авогадро; $\alpha = 0,77$.

158. $0,313 \text{ (Ом}\cdot\text{см)}^{-1}$.

159. а) $4,6 \times 10^4 \text{ Н}$; б) $6 \times 10^{-6} \text{ м/сек}$.

160. 7000 кал/моль.

161. $\rho = l(\omega_1 S_1 + \omega_2 S_2 \cos \alpha)$, де α – кут, утворений осями великої та малої спіралей.

162. Якщо дріт, по якому тече струм I , розташований посередині, то розв'язання є неможливим. Якщо цей дріт розташований скраю, то шукана пряма знаходиться на відстані 1 см від середнього дроту.

163. $H = 80 \text{ А/м}$.

164. $H = \frac{8I\sqrt{a^2+b^2}}{ab} = 0,34 \text{ Е}$.

165. Оскільки на ділянці довжиною dx (рис. 8) величина струму дорівнює $I\omega dx$ і прийнявши для спрощення обчислень

$\frac{R}{\sqrt{x^2+R^2}}$, одержуємо для випадку

а): $H = \frac{\omega I}{\sqrt{1+n^2}} = \frac{2 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1} 1 \cdot 10^{-1} \text{ А}}{\sqrt{17}} = 485 \text{ А/м}$; для

випадку

б): $H = \frac{\omega I}{\sqrt{4+n^2}} =$

450 А/м.

166. а) $8a$

раціоналізованих

одиниць циркуляції

системи $CI = 10 \text{ Е см}$;

б) 16 А; в) нуль.

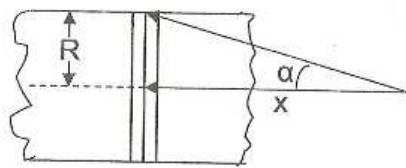


Рис. 8 (до задачі 165)

167. $\Phi = \frac{\mu_0 I l \ln(R_2/R_1)}{2\pi} = 3,13 \times 10^{-4} \text{ Вб}$.

168. Спочатку визначаємо H , потім за графіком на рис. 49 знаходимо B .

а) $H = 20 \text{ Е}$; $B = 13900 \text{ Гс}$; б) $H = 16 \text{ Е}$; $B = 13300 \text{ Гс}$.

169. $\mu = \frac{B(l-l_1)\kappa}{4\pi w l - \frac{Bl_1}{\mu_0}} = 1400 \text{ од. СГС}$.

170. а) 1 Вб/м²; б) $6,3 \times 10^{-4} \text{ СІ}$.

171. Правий.

172. $3,7 \times 10^9 \text{ см/сек}$; 3900 еВ.

173. $v = \frac{eB}{2\pi m} \sqrt{h^2 + 4\pi^2 R^2} = 7,6 \times 10^8 \text{ см/сек}$.

174. Швидкість електрона має бути спрямована перпендикулярно до площини, в якій лежать вектори $\vec{E}$ і $\vec{B}$. Вона дорівнює $v = E/B = 3 \times 10^8 \text{ см/сек}$.

175. а) $a_n = 0$; $a_t = eE/m$; б) $a_t = 0$; $a_n = \frac{e}{m} \sqrt{B^2 v^2 + E^2}$.

176. б) $B = \frac{\sqrt{2mW}}{eR} = 4800 \text{ Гс}$; в) $t = \frac{\sqrt{2mW}}{2eU} (\pi R + 2d) = 1,4 \times 10^{-5} \text{ с}$.

177. $\vec{B} = (1/2)\mu_0 [\vec{j}, \vec{l}]$, тобто поле в порожнині є однорідним.

178. $\Phi = (\mu_0/4\pi) 2IhN \ln \eta = 8 \text{ мВб}$.

179. $p_m = 2\pi R^3 B/\mu_0 = 30 \text{ мА}\cdot\text{м}^2$. 180. $p_m = (1/2)NI d^2 = 0,5 \text{ А}\cdot\text{м}^2$.

181. а) $B = (1/2)\mu_0 \sigma \omega R$; б) $p_m = (1/4)\pi \sigma \omega R^4$.

182. $B = (2/3)\mu_0 \sigma \omega R = 29 \text{ пТ}$. 183. $p_m = (1/5)qR^2 \omega$; $p_m/M = q/(2m)$.

$$184. B = (1/2)\mu_0\alpha\omega R^2.$$

$$185. p = \mu_0 I^2 / (8\pi^2 R^2).$$

$$186. p = (1/2)\mu_0 n^2 I^2.$$

$$187. I_{ip} = \sqrt{2F_{zp} / \mu_0 n R}.$$

$$188. \text{ а) } F = 0; \text{ б) } F = \mu_0 I p_m / (2\pi r^2), \vec{F} \downarrow \uparrow \vec{B}; \text{ в) } F = \mu_0 I p_m / (2\pi r^2), \vec{F} \downarrow \uparrow \vec{r}.$$

$$189. F = \frac{3\mu_0 R^2 I p_m}{4(R^2 + x^2)^{5/2}}.$$

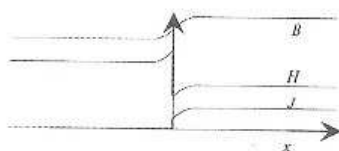


Рис. 9 (до задачі 192)

$$190. \text{ а) } \oint \vec{H} d\vec{S} = \frac{\pi R^2 B \cos \Theta (\mu - 1)}{\mu \mu_0}; \text{ б) } \oint \vec{B} d\vec{r} = (1 - \mu) B l \sin \Theta.$$

$$191. \text{ а) } I_{\text{нов}} = \chi I; \text{ б) } I_{\text{ос}} = \chi I; \text{ у протилежні сторони.}$$

$$192. \text{ Див. рис. 9.}$$

$$193. B = \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \frac{I}{\pi r}; \quad 194. \vec{B} = 2 \vec{B}_0 \mu / (1 + \mu).$$

$$196. 1,4 \times 10^6 \text{ сек}^{-1}; \quad 197. U = \pi B l^2 n(k-2)/k = 38 \text{ мкВ.}$$

$$198. \text{ а) } I_1 = 10^{-3} \text{ А}; I_2 = 0; I_3 = 10^{-3} \text{ А};$$

$$\text{ б) } I_1 = I_2 = 2,8 \times 10^{-4} \text{ А}; I_3 = 5,6 \times 10^{-4} \text{ А}; \text{ в) } I_1 = 0; I_2 = I_3 = 5,6 \times 10^{-4} \text{ А.}$$

$$199. 7,4 \times 10^{-4} \text{ А.} \quad 200. q = \frac{\mu'_0 E S^2}{4\pi r^2 l} = 1,38 \times 10^{-2} \text{ Кл.}$$

$$201. L = \frac{m R \mu'_0}{4\pi D \rho l} = 16,5 \text{ мГн.} \quad 202. \text{ а) } 1,5 \text{ мГн; б) } 5 \text{ мГн.}$$

$$203. \text{ а) Спочатку визначимо } H: H = 4\pi I/d = 20 \text{ Е. Потім по кривій намагнічування (рис. 49) знаходимо } B \text{ і визначаємо } L: L = 3,5 \text{ Гн;}$$

$$\text{ б) } 18,5 \text{ Гн.}$$

$$204. L = 4 l \mu \ln \frac{2a-d}{d} = 2,2 \text{ мГн.}$$

$$205. \text{ а) Площа ОАВО дорівнює заряду, який протік по дроселі за час } 0,5 \text{ с. Площа ОСАО дорівнює } \Phi w/R, \text{ де } \Phi - \text{магнітний потік у сердечнику дроселя, } w - \text{кількість витків в обмотці дроселя, } R - \text{опір його обмотки;}$$

$$\text{ б) позначимо площу ОСАО літерою } \sigma. B = 4\pi r/(S d). \text{ Порахувавши кількість кліток сітки на малюнку, що становить площу ОСАО, знайдемо, що } \sigma = 0,17 \text{ Кл/м}^2. \text{ Звідси } B = 2300 \text{ Гс.}$$

$$206. 490 \text{ В.}$$

$$207. 31300 \text{ ерг.}$$

$$208. 0,008 \text{ с.}$$

$$209. I = B v l / (R + R_{\mu}), \text{ де } R_{\mu} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2).$$

$$210. \text{ а) } \Delta \varphi = (1/2) \omega^2 a^2 m/e = 3,0 \text{ нВ; б) } \Delta \varphi \approx (1/2) \omega B a^2 = 20 \text{ мВ.}$$

$$211. I_{\text{но}} = \frac{\mu_0 l v I}{2\pi R r}; \quad 212. \varepsilon_i = \frac{\mu_0 I a^2 v}{2\pi x(x+a)}.$$

$$213. \varepsilon_i = (\alpha x^3 B^2 + 2mg \sin \omega t) / (2aB).$$

$$214. v = mgR \sin \alpha / (B^2 l^2); \quad 215. a = g \sin \alpha / (1 + l^2 B^2 c/m).$$

$$216. \langle P \rangle = (\pi \alpha x^2 B)^2 / (2R).$$

$$217. q = \frac{\mu_0 a I}{2\pi R} \ln \frac{b+a}{b-a}, \text{ тобто } q \text{ не залежить від } l.$$

$$218. \text{ а) } I = \frac{\mu_0 I_0 v}{2\pi R} \ln \frac{b}{a}; \text{ б) } F = \frac{v}{R} \left(\frac{\mu_0 I_0}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \right)^2.$$

$$219. \text{ а) } S = v_0 m R / (l^2 B^2); \text{ б) } Q = m v_0^2 / 2.$$

$$220. v = \frac{F}{am} [1 - \exp(-\alpha t)], \text{ де } \alpha = B^2 l^2 / (mR).$$

$$221. I = \omega B_0 (a - b) / (4\rho) = 0,5 \text{ A.}$$

$$222. U = 2U_0 \ln(R_2/R_1).$$

$$223. v = \sqrt{\frac{eUb}{dms} \left(\frac{b}{2} + 1 \right)} = 1,58 \times 10^9 \text{ см/сек.}$$

$$224. U_2 = 2d^2 U_1 / b^2 = 1400 \text{ В.}$$

225. Під дією поля в конденсаторі електрон змістився на

$$s = \frac{eUb^2}{2dmv_0^2}; \text{ робота сил електричного поля дорівнює}$$

$$\frac{eU}{d} s = \frac{e^2 U^2 b^2}{2d^2 m v_0^2}. \text{ Вона дорівнює різниці енергій електрона } mv^2/2$$

— $mv_0^2/2$; цю різницю можна прийняти через незначність приросту $v - v_0$ такою, що дорівнює $(v - v_0)v_0 m$. Звідси

$$v - v_0 = \frac{e^2 U^2 b^2}{2d^2 m^2 v_0^3} = 5,6 \times 10^6 \text{ см/с.}$$

$$226. t = \frac{\sqrt{T(T + 2m_0 c^2)}}{ceE} = 3,0 \text{ нс.}$$

$$227. \alpha = \arcsin(dB \sqrt{\frac{q}{2mU}}) = 30^\circ.$$

$$228. \text{ а) } v = reB/m = 100 \text{ км/сек, } T = 2\pi m/(eB) = 6,5 \text{ мксек.}$$

$$\text{ б) } v = c/\sqrt{1 + (m_0 c/(reB))^2} = 0,51 \text{ км/с; } T = \frac{2\pi m_0}{eB\sqrt{1 - (v/c)^2}} =$$

4,1 нсек.

106

$$229. \Delta l = 2\pi \sqrt{2mU/(eB^2)} \cos \alpha = 2,0 \text{ см.}$$

$$230. \frac{q}{m} = \frac{8\pi^2 U}{l^2 (B_2 - B_1)^2}.$$

$$231. r = 2\rho \sin(\varphi/2), \text{ де } \rho = \frac{mv}{eB} \sin \alpha, \varphi = \frac{leB}{mv \cos \alpha}.$$

$$232. \frac{q}{m} = \frac{a(a + 2b)B^2}{2E\Delta x}.$$

$$233. F = mEI/(qB) = 20 \text{ мкН.}$$

$$234. \Delta l = \frac{2\pi mE}{eB^2} \tan \varphi = 6 \text{ см.}$$

$$235. B \leq \frac{2b}{b^2 - a^2} \sqrt{\frac{2mU}{e}}.$$

$$236. U = 2 \frac{e}{m} \left(\frac{\mu_0 I}{4\pi} \right)^2 \ln \frac{a}{b}.$$

$$237. 141 \text{ В.}$$

$$238. \text{ а) } 6,4 \text{ мкФ; б) } 0,0064 \text{ мкФ.}$$

$$239. 0,055 \text{ Гн.}$$

$$240. f = \frac{2\sqrt{n^2 - 1}\rho l}{\pi^3 k d_f^2 d_2 \mu w} = 1600 \text{ Гц.}$$

$$241. \text{ а) } I = \frac{Bn^2 d_1^3 n}{\sqrt{8(R^2 + \omega^2 L^2)}}, \text{ де } R = \frac{4\rho d_1}{d_2^2} = 6,8 \times 10^{-3} \text{ Ом; } \omega L =$$

$3,08 \times 10^{-5} \text{ Ом. Оскільки } \omega L \ll R, \text{ то, нехтуючи } (\omega L)^2 \text{ у порівнянні з}$

$$R^2, \text{ маємо } I = \frac{\sqrt{2}\pi^2 B d_1 n d_2^2}{16\rho} = 0,072 \text{ А;}$$

$$\text{ б) } I = \frac{\sqrt{2}\pi B d_1^2}{8l} = 16 \text{ А незалежно від швидкості обертання.}$$

242. У випадку сталого струму потужність є в 1,2 рази більшою.

107

243. а) Ні; б) так.

$$246. U^2 + I^2 L/C = U_m^2.$$

$$247. а) I = I_m \sin \omega t, \text{ де } I_m = U_m \sqrt{C/L}, \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; б) \varphi_I = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

$$248. а) T = 2\pi \sqrt{L(C_1 + C_2)} = 0,7 \text{ мс};$$

$$б) I_m = U \sqrt{(C_1 + C_2)/L} = 8 \text{ А}.$$

$$249. а) t_n = \pi n / \omega; б) t_n = (1/\omega) \arctg(\beta/\omega) + \pi n, n = 0, 1, 2, \dots$$

$$250. W_1/W_C = L/(CR^2) = 5. \quad 251. L = L_1 + L_2, R = R_1 + R_2.$$

$$252. t = Q \ln \eta / (\pi v j) = 0,5 \text{ с}. \quad 253. n = \frac{I}{2\pi} \sqrt{\frac{4L}{CR^2}} - I = 16.$$

$$254. \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(2Q)^2}}} = 0,5\%.$$

$$255. Q = \frac{U_m^2}{2\langle P \rangle} \sqrt{\frac{C}{L}} = 1,0 \times 10^2. \quad 256. \langle P \rangle = RI^2 = RI_m^2/2 = 20 \text{ мВт}.$$

$$257. \langle P \rangle = CRU_m^2/(2L) = 5 \text{ мВт}.$$

$$258. \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{4R^2C^2}}, R < \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

$$259. \text{Струм відстає за фазою від напруги на кут } \varphi = \arctg \frac{\mu_0 \pi^2 v \alpha}{4n\rho}.$$

260. Струм випереджає за фазою напругу на кут $\varphi = 60^\circ$, який

$$\text{визначається рівнянням } \lg \varphi = \sqrt{\left(\frac{U_m}{RI_m}\right)^2 - 1}.$$

$$261. а) I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + [\omega L - 1/(\omega C)]^2}} = 4,5 \text{ А};$$

$$б) \lg \varphi = \frac{\omega L - 1/(\omega C)}{R}, \varphi = -60^\circ (\text{струм випереджає напругу});$$

$$U_C = I_m/(\omega C) = 0,65 \text{ кВ}, U_L = I_m \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} = 0,50 \text{ кВ}.$$

$$262. \text{При } C = \frac{1}{\omega^2 L} = 28 \text{ мкФ}, U_L = U_m \sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2} = 0,54 \text{ кВ};$$

$$U_C = U_m \omega L/R = 0,51 \text{ кВ}.$$

Додатки

Діелектричні проникності (відносні)

Діелектрик	ϵ	Діелектрик	ϵ
Вода	81	Слюда	7,5
Повітря	1,00058	Спирт	26
Гас	2,0	Скло	6,0
Парафін	2,0	Порцеляна	6,0
Плексиглас	3,5	Ебоніт	2,7
Поліетилен	2,3		

Питомі опори провідників

Провідник	Питомий опір (при 20°C) ρ , нОм·м	Температурний коефіцієнт α , КК ⁻¹
Алюміній	25	4,5
Вольфрам	50	4,8
Залізо	90	6,5
Золото	20	4,0
Мідь	16	4,3
Свинець	190	4,2
Срібло	15	4,1

Магнітні сприйнятливості пара- та діаманетиків (відносні)

Парамагнетики	$\mu-I, 10^{-6}$	Діаманетики	$\mu-I, 10^{-6}$
Азот	0,0013	Водень	-0,063

Повітря	0,38	Бензол	-7,5
Кисень	1,9	Вода	-9,0
Ебоніт	14	Мідь	-10,3
Алюміній	23	Скло	-12,6
Вольфрам	176	Кам'яна сіль	-12,6
Платина	360	Кварц	-15,1
Рідкий кисень	3400	Вісмут	-176

Одиниці величин в СІ та СГС

Величина	Одиниця величини		Частка одиниці СІ одиниці СГС
	СІ	СГС	
Довжина	м	см	10 ²
Час	с	с	1
Швидкість	м/с	см/с	10 ²
Прискорення	м/с ²	см/с ²	10 ²
Частота коливань	Гц	Гц	1
Кутова швидкість	рад/с	рад/с	1
Кутове прискорення	рад/с ²	рад/с ²	1
Маса	кг	г	10 ³
Густина	кг/м ³	г/см ³	10 ³
Сила	Н	дин	10 ⁵
Тиск, механічне напруження	Па	дин/см ²	10
Імпульс	кг·м/с	г·см/с	10 ³
Момент сили	Н·м	дин·см	10 ⁷
Енергія, робота	Дж	єрг	10 ⁷
Потужність	Вт	єрг/с	10 ⁷
Густина потоку енергії	Вт/м ²	єрг/(с·см ²)	10 ⁷
Момент імпульсу	кг·м ² /с	г·см ² /с	10 ⁷
Момент інерції	кг·м ²	г·см ²	10 ⁷

В'язкість	Па·с	П	10
Температура	К	К	1
Теплосмність, ентропія	Дж/К	єрг/К	10 ⁷
Електричний заряд	Кл	СГСЕ-од.	3×10 ⁹
Потенціал	В	СГСЕ-од.	1/300
Напруженість електричного поля	В/м	СГСЕ-од.	1/(3×10 ⁴)
Електричне зміщення	Кл/м ²	СГСЕ-од.	12π×10 ⁵
Електричний момент диполя	Кл·м	СГСЕ-од.	3×10 ¹¹
Поляризованість	Кл/м ²	СГСЕ-од.	3×10 ⁵
Ємність	Ф	см	9×10 ¹¹
Сила струму	А	СГСЕ-од.	3×10 ⁹
Густина струму	А/м ²	СГСЕ-од.	3×10 ⁵
Опір	Ом	СГСЕ-од.	1/(9×10 ¹¹)
Питомий опір	Ом·м	СГСЕ-од.	1/(9×10 ⁹)
Провідність	см	СГСЕ-од.	9×10 ¹¹
Магнітна індукція	Т	Гс	10 ⁴
Магнітний потік	Вб	Мкс	10 ⁸
Напруженість магнітного поля	А/м	Е	4π×10 ⁻³
Магнітний момент	А·м ²	СГСМ-од.	10 ³
Намагніченість	А/м	СГСМ-од.	10 ⁻³
Індуктивність	Г	см	10 ⁹
Сила світла	кд	кд	1
Світловий потік	лм	лм	1
Освітленість	лк		
Світність	лм/м ²		
Яскравість	кд/м ²		

Зауваження: Електричні та магнітні одиниці в СГС надані тут у Гауссовій системі.

Основні формули електродинаміки в СІ та Гауссовій системах

Назва	СІ	Гауссова система
Напруженість поля точкового заряду	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$	$E = \frac{q}{r^2}$
Напруженість поля плоского конденсатора	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon}$	$E = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon}$
Потенціал поля точкового заряду	$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$	$\varphi = \frac{q}{r}$
Зв'язок між $\vec{E}$ та φ	$\vec{E} = -\nabla\varphi, \varphi_1 - \varphi_2 = \int E_l dl$	
Електричний диполь $\vec{p}$ у полі $\vec{E}$	$\vec{N} = [\vec{p}, \vec{E}], W = -(\vec{p}, \vec{E})$	
Зв'язок між $\vec{P}$ та $\vec{E}$	$\vec{P} = \kappa\epsilon_0\vec{E}$	$\vec{P} = \kappa\vec{E}$
Зв'язок між $\sigma', \vec{P}$ та $\vec{E}$	$\sigma' = P_n = \kappa\epsilon_0 E_n$	$\sigma' = P_n = \kappa E_n$
Визначення вектора $\vec{D}$	$\vec{D} = \epsilon_0\vec{E} + \vec{P}$	$\vec{D} = \vec{E} + 4\pi\vec{P}$
Зв'язок між ϵ та κ	$\epsilon = 1 + \kappa$	$\epsilon = 1 + 4\pi\kappa$
Зв'язок між $\vec{D}$ та $\vec{E}$	$\vec{D} = \epsilon_0\epsilon\vec{E}$	$\vec{D} = \epsilon\vec{E}$
Теорема Гаусса для вектора $\vec{D}$	$\oint D_n dS = q$	$\oint D_n dS = 4\pi q$
Ємність конденсатора	$C = q/U$	
Ємність плоского конденсатора	$C = \frac{\epsilon_0\epsilon S}{d}$	$C = \frac{\epsilon S}{4\pi d}$
Енергія системи зарядів	$W = \frac{1}{2} \sum q_i \varphi_i$	
Енергія конденсатора	$W = CU^2/2$	
Густина енергії електричного поля	$w = \frac{\vec{E}\vec{D}}{2}$	$w = \frac{\vec{E}\vec{D}}{8\pi}$

Закон Ома	$\vec{j} = \sigma \vec{E}$	
Закон Джоуля -Ленца	$w = \sigma E^2$	
Магнітний момент контуру зі струмом	$p_m = IS$	$p_m = \frac{I}{c} IS$
Магнітний диполь $\vec{p}_m$ у полі $\vec{B}$	$\vec{N} = [\vec{p}_m, \vec{B}], W = -(\vec{p}_m, \vec{B})$	
Закон Біо-Савара	$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}$	$d\vec{B} = \frac{I}{c} \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}$
Індукція поля: а) прямого струму б) у центрі витка в) у соленоїді	$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{r}$ $B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi I}{r}$ $B = \mu_0 nI$	$B = \frac{I}{c} \frac{2I}{r}$ $B = \frac{I}{c} \frac{2\pi I}{r}$ $B = \frac{4\pi}{c} nI$
Визначення вектора $\vec{H}$	$\vec{H} = \vec{B} / \mu_0 - \vec{j}$	$\vec{H} = \vec{B} - 4\pi \vec{j}$
Циркуляція вектора $\vec{H}$ у сталому полі	$\oint H_l dl = I$	$\oint H_l dl = \frac{4\pi}{c} I$
Зв'язок між $\vec{j}$ та $\vec{H}$	$\vec{j} = \chi \vec{H}$	
Зв'язок між μ та χ	$\mu = 1 + \chi$	$\mu = 1 + 4\pi\chi$
Зв'язок між $\vec{B}$ та $\vec{H}$	$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$	$\vec{B} = \mu \vec{H}$
Сила Лоренца	$\vec{F} = q[\vec{v}, \vec{B}]$	$\vec{F} = \frac{q}{c} [\vec{v}, \vec{B}]$
Закон Ампера	$d\vec{F} = I[d\vec{l}, \vec{B}]$	$d\vec{F} = \frac{I}{c} [d\vec{l}, \vec{B}]$
Сила взаємодії паралельних струмів	$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1 I_2}{d}$	$F = \frac{I}{c^2} \frac{2I_1 I_2}{d}$
Е.р.с. індукції	$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$	$\mathcal{E} = -\frac{1}{c} \frac{d\Phi}{dt}$

Індуктивність	$L = \Phi/I$	$L = c\Phi/I$
Індуктивність соленоїда	$L = \mu_0 \mu n^2 V$	$L = 4\pi \mu n^2 V$
Енергія магнітного поля струму	$W = LI^2/2$	$W = LI^2/(2c^2)$
Густина енергії магнітного поля	$w = BI/2$	$w = BI/(8\pi)$
Рівняння Максвелла в інтегральній формі	$\oint D_n dS = \int \rho dV$ $\oint E_l dl = -\int B_n dS$ $\oint B_n dS = 0$ $\oint H_l dl$ $= \int \left(j_n + \frac{\partial D_n}{\partial t} \right) dS$	$\oint D_n dS = 4\pi \int \rho dV$ $\oint E_l dl = -\frac{1}{c} \int B_n dS$ $\oint B_n dS = 0$ $\oint H_l dl$ $= \frac{1}{c} \int \left(4\pi j_n + \frac{\partial D_n}{\partial t} \right) dS$
Рівняння Максвелла в диференціальній формі	$\text{div} \vec{D} = \rho$ $\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ $\text{div} \vec{B} = 0$ $\text{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\text{div} \vec{D} = 4\pi \rho$ $\text{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ $\text{div} \vec{B} = 0$ $\text{rot} \vec{H} = \frac{1}{c} (4\pi \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t})$
Швидкість електромагнітної хвилі в середовищі	$v = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \epsilon \mu}$	$v = c/\sqrt{\epsilon \mu}$
Зв'язок між $\vec{E}$ та $\vec{H}$ в електромагнітній хвилі	$E\sqrt{\epsilon_0 \epsilon} = H\sqrt{\mu_0 \mu}$	$E\sqrt{\epsilon} = H\sqrt{\mu}$
Вектор Пойнтінга	$\vec{S} = [\vec{E}, \vec{H}]$	$\vec{S} = \frac{c}{4\pi} [\vec{E}, \vec{H}]$

Основні фізичні константи

Швидкість світла у вакуумі	$c=2,998 \times 10^8 \text{ м/с}$
Гравітаційна стала	$\gamma = \begin{cases} 6,67 \times 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \times \text{с}^2) \\ 6,67 \times 10^{-8} \text{ см}^3/(\text{г} \times \text{с}^2) \end{cases}$
Стандартне прискорення вільного падіння	$g=9,807 \text{ м/с}^2$
Число Авогадро	$N_A=6,023 \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Число Лошмідта	$n_0 = \begin{cases} 2,69 \times 10^{25} \text{ м}^{-3} \\ 2,69 \times 10^{19} \text{ см}^{-3} \end{cases}$
Універсальна газова стала	$R = \begin{cases} 8,314 \text{ Дж}/(\text{К} \times \text{моль}) \\ 8,314 \times 10^7 \text{ ерг}/(\text{К} \times \text{моль}) \\ 0,082 \text{ л} \times \text{атм}/(\text{К} \times \text{моль}) \end{cases}$
Стала Больцмана	$k = \begin{cases} 1,380 \times 10^{-23} \text{ Дж/К} \\ 1,380 \times 10^{-16} \text{ ерг/К} \end{cases}$
Число Фарадея	$F = \begin{cases} 0,965 \times 10^8 \text{ Кл}/(\text{кг} - \text{екв}) \\ 2,90 \times 10^{14} \text{ СГСЕ}/(\text{г} - \text{екв}) \end{cases}$
Елементарний заряд	$e = \begin{cases} 1,602 \times 10^{-19} \text{ Кл} \\ 4,803 \times 10^{-10} \text{ СГСЕ} \end{cases}$
Маса електрона	$m_e = \begin{cases} 0,911 \times 10^{-30} \text{ кг} \\ 0,911 \times 10^{-27} \text{ г} \\ 0,511 \text{ Мев} \end{cases}$
Питомий заряд електрона	$\frac{e}{m_e} = \begin{cases} 1,76 \times 10^{11} \text{ Кл/кг} \\ 5,27 \times 10^{17} \text{ СГСЕ/г} \end{cases}$

Маса протона	$m_p = \begin{cases} 1,672 \times 10^{-27} \text{ кг} \\ 1,672 \times 10^{-24} \text{ г} \end{cases}$
Питомий заряд протона	$\frac{e}{m_p} = \begin{cases} 0,959 \times 10^8 \text{ Кл/кг} \\ 2,87 \times 10^{14} \text{ СГСЕ/г} \end{cases}$
Стала Стефана-Больцмана	$\sigma=5,67 \times 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{К}^4)$
Стала закону зміщення Віна	$b=0,29 \text{ см} \cdot \text{К}$
Стала Планка	$h = \begin{cases} 1,054 \times 10^{-34} \text{ Дж} \times \text{с} \\ 1,054 \times 10^{-27} \text{ ерг} \times \text{с} \\ 0,659 \times 10^{-15} \text{ еВ} \times \text{с} \end{cases}$
Стала Рідберга	$R = \frac{me^4}{2h^3} = 2,07 \times 10^{16} \text{ с}^{-1}$ $R' = R/(2\pi) = 1,097 \times 10^5 \text{ см}^{-1}$
Перший борівський радіус	$r_1 = h^2/(me^2) = 0,529 \times 10^{-8} \text{ см}$
Енергія зв'язку електрона в атомі водню	$E = me^4/(2h^2) = 13,56 \text{ еВ}$
Комптонівська довжина хвилі електрона	$\lambda_c = h/(mc) = 3,86 \times 10^{-11} \text{ см}$
Класичний радіус електрона	$r_e = e^2/(mc^2) = 2,82 \times 10^{-13} \text{ см}$
Магнетон Бора	$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e c} = 0,927 \times 10^{-20} \text{ ерг/Гс}$
Ядерний магнетон	$\mu_N = \frac{e\hbar}{2m_p c} = 5,05 \times 10^{-24} \text{ ерг/Гс}$
Магнітний момент протона	$\mu_p = 2,7928 \mu_N$
Магнітний момент нейтрона	$\mu_n = -1,913 \mu_N$
Атомна одиниця маси	$1 \text{ а.о.м.} = \begin{cases} 1,660 \times 10^{-24} \text{ г} \\ 931,4 \text{ Мев} \end{cases}$

Електрична стала	$\epsilon_0 = 0,885 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$ $1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \times 10^9 \text{ м/Ф}$
Магнітна стала	$\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6} \text{ Г/м}$ $\mu_0/(4\pi) = 10^{-7} \text{ Г/м}$

Пономаренко Р.ТТ-21 2011-2012

Павчальне видання

Войцєня Тамара Іванівна
Гірка Ігор Олександрович

**ЗБІРНИК ЗАДАЧ ІЗ ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ:
ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ**

Коректор С. В. Гончарук
Комп'ютерна верстка О. І. Гірка
Макет обкладинки І. М. Дончик



Підписано до друку 30.10.2009. Формат 60×84/16.

Папір офсетний. Друк ризографічний.

Обл.-вид. арк. 4,44. Умов.друк. арк. 3,55.

Наклад 200 прим. Ціна договірна.

5-00

61077, Харків, майдан Свободи, 4,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна

Надруковано ХНУ імені В. Н. Каразіна
61077, Харків, майдан Свободи, 4,
Тел.: 705-24-32

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3364 від 13.01.09

В 33

В 65



Ігор Олександрович Гірка

A526224

Доктор фізико-математичних наук, професор

У 1986 р. закінчив з відзнакою фізико-технічний факультет Харківського державного університету імені О. М. Горького за спеціальністю «Теоретична ядерна фізика». З 1993 р. працює доцентом кафедри загальної та прикладної фізики. Понад п'ятнадцять років викладає загальну фізику (курси «Механіка» та «Молекулярна фізика») на фізико-технічному факультеті. У 1996-2000 рр., а також з 2006 р. і дотепер — завідувач кафедри загальної та прикладної фізики. У 2004 р. захистив докторську дисертацію зі спеціальності «Фізика плазми». У 2007 р. здобув учене звання професора кафедри загальної та прикладної фізики. Автор понад 120 наукових праць, включаючи 58 статей у реферованих журналах. Нагороджений Міністерством освіти і науки України знаками «Відмінник освіти України» (2004 р.) та «За наукові досягнення» (2009 р.).



Тамара Іванівна Войценя

Кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри загальної та прикладної фізики. Закінчила радіофізичний факультет Харківського державного університету імені О. М. Горького. Працює на фізико-технічному факультеті від дня його заснування. Викладала курси з електротехніки, радіотехніки, електроніки, загальної фізики, на сьогодні — курси «Напівпровідникова електроніка» та «Загальна фізика». Автор понад 30 наукових праць у галузі радіаційної фізики кристалів. Автор численних навчально-методичних видань.