

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
"Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)"

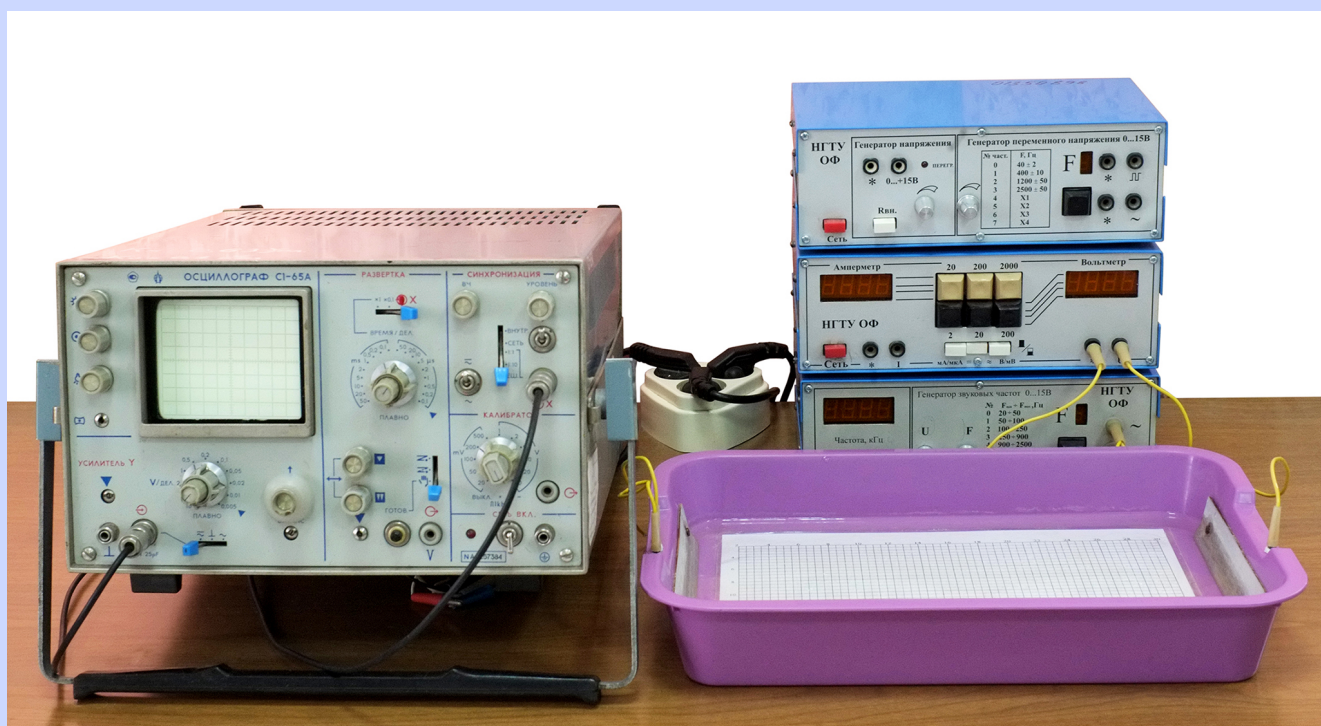
В. А. Федорук, С. В. Бирюков,

А. В. Тюкин, А. С. Рубан

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Учебное пособие

Под общей редакцией В. А. Федорука



Омск ■ 2018

УДК 537
ББК 22.33
Ф33

Согласно 436-ФЗ от 29.12.2010 «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию» данная продукция маркировке не подлежит.

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. В. И. Суриков (ОмГТУ);
канд. техн. наук, доц. Е. В. Иванова
(филиал ФГКВООУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения им. А. В. Хрулева)

Работа утверждена редакционно-издательским советом СибАДИ в качестве учебного пособия.

Федорук, Владимир Аркадьевич.

Ф33 Электричество и магнетизм [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. А. Федорук, С. В. Бирюков, А. В. Тюкин, А. С. Рубан ; под общей ред. В. А. Федорука. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2018. – Режим доступа:..... , свободный после авторизации. – Загл. с экрана.

Включает в себя теоретические сведения, тестовые и разноуровневые задачи из раздела общей физики «Электричество и магнетизм».

Имеет инетерактивное оглавление в виде закладок.

Предназначено для самостоятельной подготовки студентов всех форм обучения по всем специальностям и направлениям подготовки бакалавров и специалистов технических вузов, изучающих электромагнетизм.

Подготовлено на кафедре «Физика».

Текстовое (символьное) издание (530 КБ)

Системные требования: Intel, 3,4 GHz; 150 Мб; Windows XP/Vista/7; DVD-ROM; 1 Гб свободного места на жестком диске; программа для чтения pdf-файлов: Adobe Acrobat Reader; Foxit Reader

Редактор Н.В. Павлова

Техническая подготовка Н.В. Кенжалинова

Издание первое. Дата подписания к использованию 14.05.2018
Издательско-полиграфический комплекс СибАДИ. 644080, г. Омск, пр. Мира, 5
РИО ИПК СибАДИ. 644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, 1

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2018

Введение

Данное учебное пособие предназначено для самостоятельной подготовки студентов к практическим занятиям по разделу общей физики «Электричество и магнетизм».

Материал данного учебного пособия включает в себя теоретические сведения по электричеству и магнетизму [1, 2], необходимые для решения тестовых и разноуровневых задач [3, 4, 5, 6, 7] по данным разделам.

Приведённые в данном пособии примеры задач с решениями позволяют студентам успешно осваивать на практических занятиях законы электростатики, постоянного электрического тока и магнетизма.

Материал данного пособия содержит тестовые задачи, решение которых самостоятельно и на практических занятиях позволяет подготовить студентов к успешному прохождению интернет-тестирования при проверке остаточных знаний, а также к успешной сдаче семестрового экзамена или зачёта по физике.

Пособие по электричеству и магнетизму является логическим продолжением пособия по механике, молекулярной физике и термодинамике [8].

При подготовке студентов к интернет-экзамену [7] по физике на кафедре «Физика» используется гибкая система тестирования в виде «exe» файлов, разработанная и реализованная Федоруком В. А. в виде программной оболочки «TestingShell-v1.0» [9].

Тестовые задания данного пособия и пособия по механике, молекулярной физике и термодинамике [8] являются неотъемлемой частью вышеуказанной системы тестирования, благодаря которой реализована текущая проверка знаний студентов СибАДИ в рамках контрольных недель, а также их поэтапная подготовка к интернет-экзамену [7] по физике.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

1. Электростатика

1.1. Основные понятия, законы и формулы [1, 2]

Электрический заряд q характеризует способность тел оказывать силовое воздействие друг на друга при помощи электрического поля. Единицей измерения электрического заряда q , принятой в системе СИ, является Кулон (Кл).

Электрический заряд является квантованной величиной, кратной элементарному заряду $e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл,

$$q = \pm Ne_0, \quad (1.1)$$

где N – целое число.

Элементарный заряд – наименьшая встречающаяся в природе мера электрического заряда. Носителем элементарного отрицательного заряда является электрон, а положительного – протон.

Точечный заряд – заряд, сосредоточенный на теле, линейные размеры которого пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием до других заряженных тел, с которыми данный заряд взаимодействует.

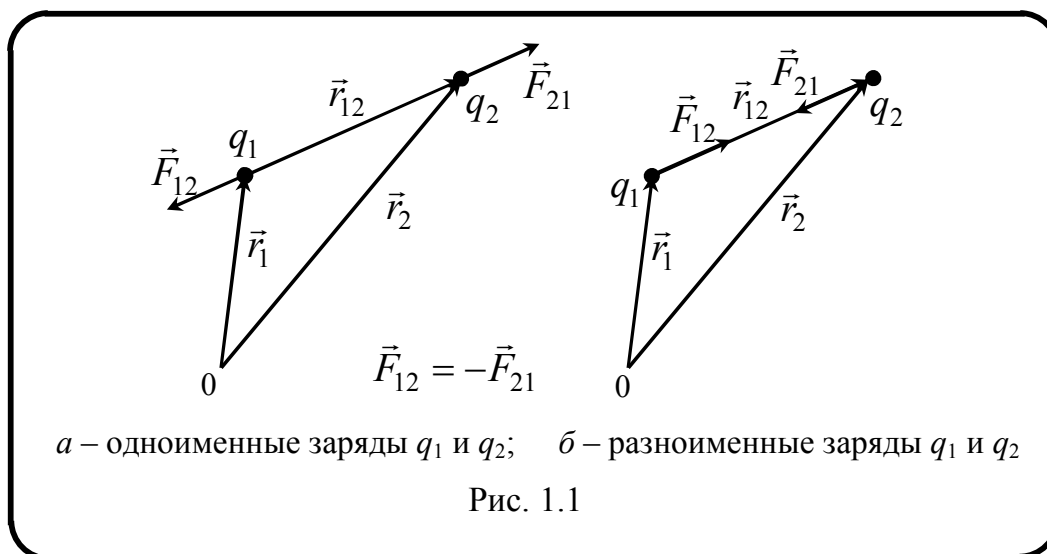
Закон сохранения заряда: общий заряд замкнутой системы остаётся неизменным, какие бы процессы ни происходили внутри данной системы; сумма положительных и отрицательных зарядов остаётся постоянной:

$$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const}. \quad (1.2)$$

Закон Кулона описывает силу, возникающую при взаимодействии друг на друга двух точечных зарядов: сила \vec{F}_{12} взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 прямо пропорциональна произведению этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния r_{12} между ними. Эта сила является центральной: она направлена вдоль прямой, соединяющей заряды (рис. 1.1).

Сила (см. рис. 1.1), действующая со стороны заряда q_1 на заряд q_2 , определяется следующим образом:

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{\epsilon r_{12}^2} \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}, \quad (1.3)$$



где \vec{F}_{21} – сила, которая действует на второй точечный электрический заряд q_2 со стороны первого заряда q_1 ; \vec{r}_{12} – вектор, соединяющий заряды и направленный от q_1 к q_2 ; $r_{12} = |\vec{r}_{12}|$ – расстояние между зарядами; ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

Напряжённость электростатического поля – физическая величина, определяемая силой, действующей на единичный положительный заряд q_0 , помещённый в данную точку поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}. \quad (1.4)$$

Единица измерения напряжённости электростатического поля – ньютон/кулон (Н/Кл) или вольт/метр (В/м). 1 Н/Кл = 1 В/м. Напряжённость является силовой характеристикой электростатического поля.

Силовые линии (линии напряжённости) – линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора напряжённости в этой точке.

Напряжённость электростатического поля, создаваемого точечным зарядом q , равна

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\epsilon r_{12}^2} \frac{\vec{r}}{r_{12}}, \quad (1.5)$$

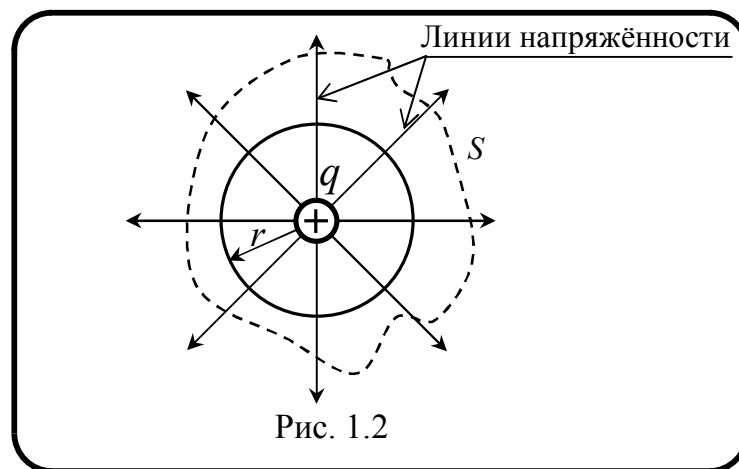
где \vec{r} – радиус-вектор, проведенный из точки, где находится заряд q , в точку наблюдения.

Принцип суперпозиции электростатических полей: напряжённость электрического поля \vec{E} , создаваемого N точечными зарядами в точке пространства радиусами-векторами \vec{r}_i равна геометрической сумме напряжённостей электрических полей \vec{E}_i всех точечных зарядов:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i(\vec{r}_i). \quad (1.6)$$

Теорема Гаусса: поток вектора напряжённости электрического поля в вакууме через замкнутую поверхность S произвольной формы (рис. 1.2) численно равен алгебраической сумме электрических зарядов, заключённых внутри этой поверхности, делённой на ϵ_0 :

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n Q_i. \quad (1.7)$$



Этот результат справедлив для замкнутой поверхности любой формы. Если заряд в пространстве распределён с *объёмной плотностью* $\rho = \frac{dq}{dV}$, то теорема Гаусса для электрического поля в вакууме будет иметь следующий вид:

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} d\vec{S} = \oint_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV. \quad (1.8)$$

Применяя теорему Гаусса можно рассчитать напряжённость поля в случае некоторых типов распределения заряда:

- *Точечный заряд*

$$\vec{E}(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}. \quad (1.9)$$

Напряжённость убывает обратно пропорционально квадрату расстояния r .

- *Заряженная полая сфера*

$$E(r) = \begin{cases} 0 & (0 \leq r < R); \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} & (r \geq R), \end{cases} \quad (1.10)$$

где q – заряд сферы.

Электрическое поле внутри однородно заряженной полой сферы радиусом R равно нулю. Напряжённость электрического поля убывает обратно пропорционально квадрату расстояния r .

- *Однородно заряженный шар*

$$E(r) = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{r}{R^3} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} & (0 \leq r \leq R); \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} & (r \geq R), \end{cases} \quad (1.11)$$

где q – заряд шара.

Электрическое поле внутри шара линейно возрастает с ростом расстояния от центра шара. Напряжённость электрического поля E вне шара убывает обратно пропорционально квадрату расстояния r .

- *Бесконечно длинная заряженная нить*

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2\tau}{r}, \quad (1.12)$$

где τ – линейная плотность заряда (заряд единицы длины нити).

Напряжённость поля вне нити убывает обратно пропорциональна расстоянию r .

- Однородно заряженная бесконечная пластина

$$\vec{E} = \pm \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \vec{e}_x, \quad (1.13)$$

где σ – поверхностная плотность заряда (заряд единицы поверхности $\sigma = dq/dS$, где S – площадь пластины); \vec{e}_x – единичный вектор, направленный вдоль оси x ортогонально пластине. Верхний и нижний знаки в формуле (1.13) используются для $x > 0$ ($x < 0$).

На небольшом расстоянии от пластины, которая расположена в плоскости $x = 0$, поле однородно: напряжённость пропорциональна поверхностной плотности заряда.

- Однородно заряженные параллельные бесконечные пластины:

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \vec{e}_x; \quad -\frac{l}{2} < x < \frac{l}{2}, \quad (1.14)$$

где l – расстояние между пластинами.

Вектор электрического смещения (электрическая индукция) \vec{D} в бесконечном однородном диэлектрике определяется соотношением $\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E}$.

Потенциальная энергия U заряда q_0 , находящегося в поле заряда q на расстоянии r от него, будет

$$U(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{qq_0}{r}. \quad (1.15)$$

Потенциальная энергия U заряда q_0 , находящегося в поле системы n точечных зарядов, равна сумме его потенциальных энергий U_i , создаваемых каждым из зарядов в отдельности:

$$U = \sum_{i=1}^n U_i = q_0 \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0 r_i}. \quad (1.16)$$

Потенциал в какой-либо точке электростатического поля – физическая величина, определяемая потенциальной энергией единичного положительного заряда q_0 , помещённого в данную точку поля:

$$\varphi = \frac{U}{q_0}. \quad (1.17)$$

Потенциал является энергетической скалярной характеристикой электростатического поля. Единица измерения потенциала – вольт. $1 \text{ В} = 1 \text{ Дж/Кл}$. 1 В (вольт) – потенциал такой точки поля, в которой заряд 1 Кл обладает потенциальной энергией 1 Дж .

Эквипотенциальные поверхности – поверхности, во всех точках которых потенциал φ имеет одно и то же значение.

Потенциал поля в случае некоторых типов распределения заряда:

- *Точечный заряд*

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (1.18)$$

Потенциал φ точечного заряда в трёхмерном пространстве обратно пропорционален расстоянию r от заряда до точки наблюдения.

- *Заряженная полая сфера*

$$\varphi = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} & (0 \leq r \leq R); \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} & (r \geq R), \end{cases} \quad (1.19)$$

где q – заряд сферы; R – радиус сферы.

Электрический потенциал внутри однородной заряженной сферы является постоянной величиной. Потенциал φ снаружи сферы ($r > R$) обратно пропорционален расстоянию r от его центра.

- *Однородно заряженный шар*

$$\varphi = \begin{cases} \frac{q}{8\pi\epsilon_0} \left(\frac{3}{R} - \frac{r^2}{R^3} \right) & (0 \leq r \leq R); \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} & (r \geq R), \end{cases} \quad (1.20)$$

где q – заряд сферы; R – радиус шара.

Потенциал внутри шара растёт пропорционально квадрату расстояния r , вне шара – убывает обратно пропорционально расстоянию r .

Работа сил электростатического поля при перемещении точечного заряда q из точки с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом

φ_2 не зависит от формы пути и определяется лишь начальным и конечным положением заряда

$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (1.21)$$

Потенциал – физическая величина, определяемая работой сил электростатического поля по перемещению единичного положительного заряда q при удалении его из данной точки поля в бесконечность:

$$\varphi = \frac{A_\infty}{q}. \quad (1.22)$$

Принцип суперпозиции: потенциал φ поля, создаваемого системой зарядов q_1, q_2, \dots, q_n , равен сумме потенциалов φ_i полей, создаваемых каждым из этих зарядов в отдельности:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i. \quad (1.23)$$

Энергия системы точечных зарядов q_1, q_2, \dots, q_i

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i, \quad (1.24)$$

где φ_i – потенциалы полей в точке нахождения заряда q_i , создаваемые всеми остальными зарядами, кроме q_i .

Связь между напряжённостью и потенциалом поля

$$E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}; \quad E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}. \quad (1.25)$$

Напряжённость поля как градиент потенциала

$$\vec{E} = -\vec{i} \frac{\partial \varphi}{\partial x} - \vec{j} \frac{\partial \varphi}{\partial y} - \vec{k} \frac{\partial \varphi}{\partial z} = -grad\varphi = -\vec{\nabla}\varphi. \quad (1.26)$$

Вектор напряжённости электростатического поля всегда направлен в сторону убывания потенциала, а силовые линии, являющиеся его графическим изображением, перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям.

Электрический диполь – это два точечных заряда $+q$ и $-q$, расстояние между которыми равно l . Положительный заряд находится

в точке с радиусом-вектором \vec{r}_+ , а отрицательный – в точке с радиусом-вектором \vec{r}_- (рис. 1.3).

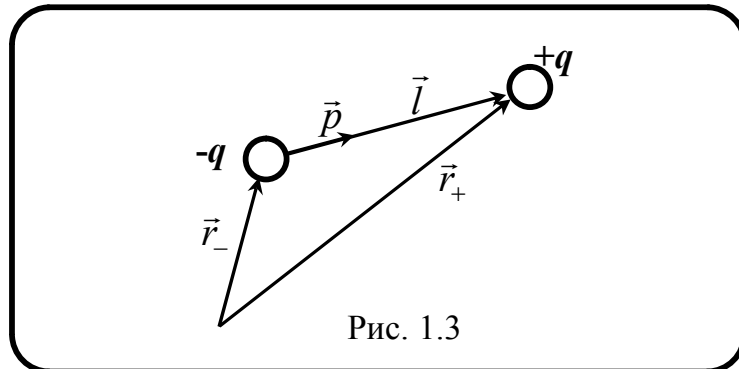


Рис. 1.3

Диполь характеризуется электрическим дипольным моментом $\vec{p} = |q| \cdot \vec{l}$, где \vec{l} – вектор, проведённый от отрицательного к положительному заряду. Дипольный момент является важной характеристикой электрического поля диполя на больших расстояниях от него.

Электрический дипольный момент системы зарядов

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n q_i \vec{r}_i. \quad (1.27)$$

где \vec{r}_i – радиус-вектор заряда q_i .

Вращающий момент \vec{M} , действующий на диполь (рис. 1.4) в однородном электрическом поле, находим по следующей формуле:

$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}. \quad (1.28)$$

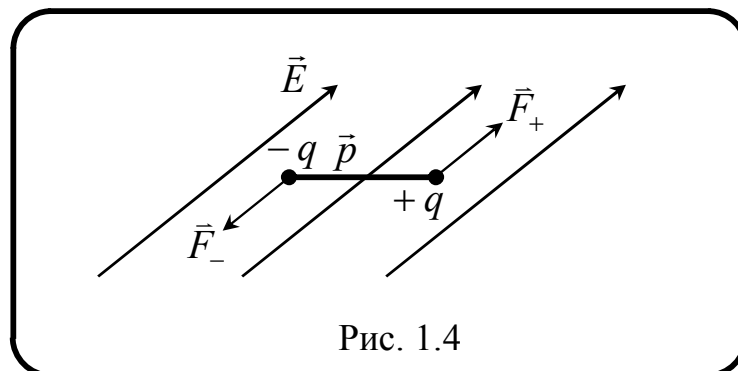


Рис. 1.4

Потенциальная энергия диполя в электрическом поле

$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E} = -pE \cos \alpha, \quad (1.29)$$

где α – угол между векторами \vec{r} и \vec{E} .

Уединённый проводник – проводник, удалённый от других проводников, тел, зарядов.

Электроёмкость уединённого проводника

$$C = \frac{q}{\varphi}, \quad (1.30)$$

где q – заряд, сообщенный проводнику, а φ – потенциал проводника, обусловленный этим зарядом.

Электроёмкость C системы из проводников является скалярной величиной, показывающей какое количество заряда может накапливаться в этой системе при заданном напряжении U .

$$C = \frac{q}{U}. \quad (1.31)$$

Конденсатор – система двух изолированных друг от друга проводников, которые имеют различный электрический потенциал. Фарад (Ф) является единицей измерения ёмкости в системе СИ. $[C]=\Phi=Кл/В$.

Ёмкости конденсаторов, включённых

а) *последовательно*

$$\frac{1}{C_{общ}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}; \quad (1.32)$$

б) *параллельно*

$$C_{общ} = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i. \quad (1.33)$$

Ёмкости простых систем проводников:

а) *ёмкость уединённой проводящей сферы* прямо пропорциональна её радиусу R :

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R; \quad (1.34)$$

б) *ёмкость плоского конденсатора* пропорциональна площади поверхности S пластин и обратно пропорциональна расстоянию d между пластинами (обкладками):

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}; \quad (1.35)$$

в) ёмкость цилиндрического конденсатора прямо пропорциональна его длине l и обратно пропорциональна логарифму отношения радиусов внешнего R и внутреннего r цилиндров:

$$C = 2\pi\varepsilon_0\varepsilon \frac{l}{\ln(R/r)}; \quad (1.36)$$

г) ёмкость сферического конденсатора (две концентрические полые сферы) пропорциональна произведению внутреннего и внешнего радиусов r , R и обратно пропорциональна разности между ними:

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon \frac{R \cdot r}{R - r}. \quad (1.37)$$

Плотность энергии электрического поля ω – энергия поля, приходящаяся на единицу объёма (отношение энергии электрического поля W к объёму V в случае однородного поля):

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon \cdot E^2 = \frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D} = \frac{1}{2} \frac{D^2}{\varepsilon_0 \varepsilon}. \quad (1.38)$$

Энергия заряженного плоского конденсатора пропорциональна квадрату напряжения между пластинами конденсатора:

$$W = \frac{1}{2} qU = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}, \quad (1.39)$$

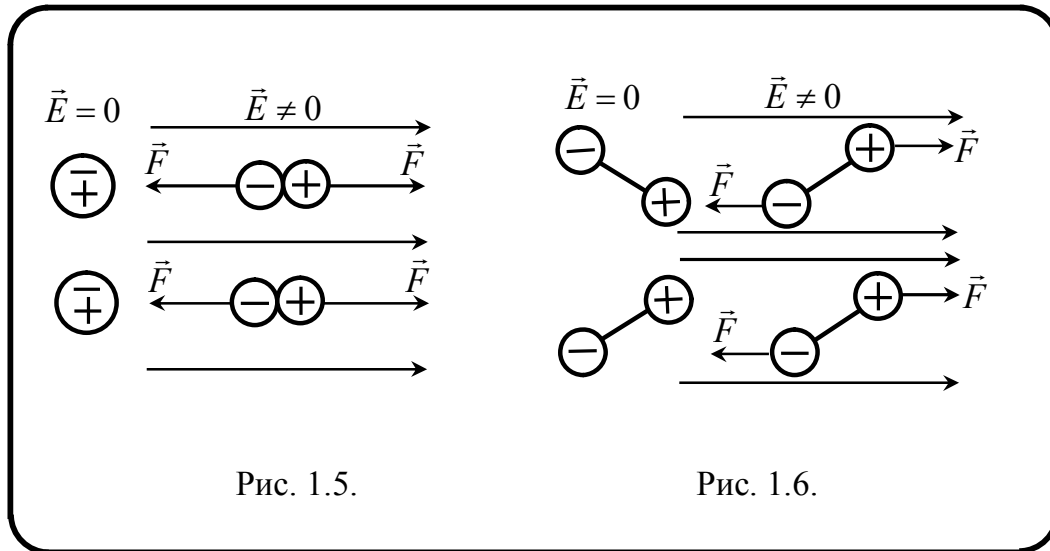
где U – разность потенциалов (напряжение) на его обкладках.

Диэлектрик (изолятор) – вещество, плохо проводящее электрический ток. Основное свойство диэлектрика состоит в способности поляризоваться во внешнем электрическом поле.

Механизмы поляризации диэлектрика зависят от реакции молекул вещества на электрическое поле. Различают следующие виды поляризации:

- *поляризация смещения* (характерна для неполярных диэлектриков, которые не имеют собственного электрического дипольного момента) – смещение электрических зарядов в молекулах относительно друг друга (рис. 1.5);

- *ориентационная поляризация* (характерна для полярных диэлектриков, имеющих собственный электрический дипольный момент) – изменение направления электрических дипольных моментов молекул вдоль электрического поля (рис 1.6).



Оба механизма поляризации приводят к электрической поляризации диэлектрика, в результате которой в каждом элементарном объёме ΔV диэлектрика сумма дипольных моментов

$$\sum_{\Delta V} \vec{p} \neq 0.$$

Вектор поляризации \vec{P} равен плотности электрических диполей на единицу объёма диэлектрика. Его направление совпадает с направлением связанного заряда, который направлен от отрицательного заряда к положительному. Модуль вектора поляризации \vec{P} равен плотности поверхностных связанных зарядов σ_p :

$$\vec{P} = \frac{d\vec{p}}{dV}; \quad |\vec{P}| = \sigma_p. \tag{1.40}$$

Вектор поляризации \vec{P} и вектор напряжённости электрического поля \vec{E} имеют одинаковое направление. В небольших электрических полях связь поляризации \vec{P} с напряжённостью \vec{E} электрического поля в диэлектрике линейная:

$$\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E}, \tag{1.41}$$

где χ – диэлектрическая восприимчивость, ϵ_0 – электрическая постоянная.

Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ – безразмерная величина, зависящая от материала. Она характеризует уменьшение напряжённости электрического поля при внесении материала (диэлектрика) в электрическое поле. Относительная диэлектрическая проницаемость вакуума $\epsilon = 1$.

Электрическая поляризация \vec{P} в диэлектрике выражается следующим образом:

$$\vec{P} = (\epsilon - 1)\epsilon_0\vec{E} = \chi\epsilon_0\vec{E}. \quad (1.42)$$

Диэлектрическая восприимчивость χ определяется относительной диэлектрической проницаемостью:

$$\chi = \epsilon - 1. \quad (1.43)$$

Вектор электрического смещения \vec{D} в диэлектриках выражается следующими уравнениями:

$$\vec{D} = \epsilon\epsilon_0\vec{E} = \epsilon\vec{E}, \quad \vec{D} = \epsilon_0\vec{E} + \vec{P}. \quad (1.44)$$

Особую группу диэлектрических веществ образуют **сегнетоэлектрики**: сегнетова соль, метатитанат бария и др.

Сегнетоэлектрики – диэлектрики, обладающие в определённом интервале температур спонтанной поляризованностью, т. е. поляризованностью в отсутствие внешнего электрического поля.

Сегнетоэлектрики обладают следующими особенностями:

1. Диэлектрическая проницаемость в определённом температурном интервале весьма велика – может достигать десятков тысяч (для обычных диэлектриков не превышает нескольких десятков).

2. Диэлектрическая восприимчивость и диэлектрическая проницаемость зависят от температуры и поляризующего поля.

3. Зависимость вектора поляризации от поляризующего поля не является линейной.

4. При изменении поляризующего поля вектор поляризации отстаёт от изменений поля. Это явление называется **диэлектрическим гистерезисом**.

5. Для каждого сегнетоэлектрика имеется температура, выше которой он утрачивает свои особые свойства и становится обычным диэлектриком. Эта температура называется **точкой Кюри**.

1.2. Тестовые задачи для контроля знаний [4, 5, 6, 7]

1. Точечный заряд $+q$ находится в центре сферической поверхности. Если добавить заряд $+q$ за пределами сферы, то поток вектора напряжённости электростатического поля \vec{E} через поверхность сферы...

Варианты ответа:

- а) не изменится; б) увеличится; в) уменьшится.

2. Для полярного диэлектрика справедливы утверждения:

Варианты ответа:

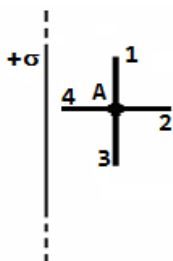
- а) образец диэлектрика в неоднородном внешнем электрическом поле втягивается в область более сильного поля;
б) дипольный момент молекул диэлектрика в отсутствие внешнего электрического поля равен нулю;
в) диэлектрическая восприимчивость обратно пропорциональна температуре.

3. Относительно статических электрических полей справедливы утверждения:

Варианты ответа:

- а) электростатическое поле совершает работу над электрическим зарядом;
б) силовые линии поля разомкнуты;
в) электростатическое поле является вихревым.

4. Поле создано бесконечной равномерно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда $+\sigma$. Укажите направление вектора градиента потенциала в точке А.



Варианты ответа:

- а) А – 4; б) А – 3; в) А – 1; г) А – 2.

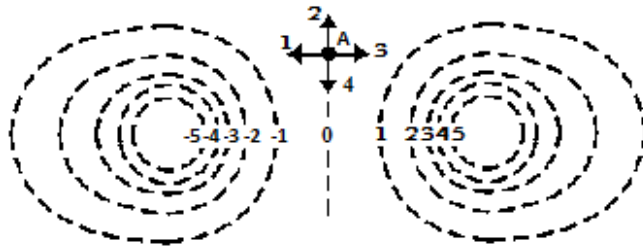
5. Точечный заряд $+q$ находится в центре сферической поверхности. Если увеличить радиус сферической поверхности, то поток вектора напряжённости электрического поля \vec{E} через поверхность сферы ...

Варианты ответа:

- а) уменьшится; б) не изменится; в) увеличится.

6. На рисунке показаны эквипотенциальные линии системы зарядов и значения потенциала на них.

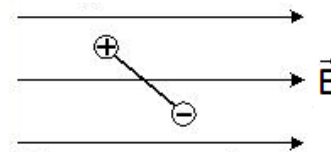
Вектор напряжённости электрического поля в точке A ориентирован в направлении ...



Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

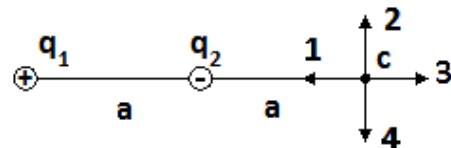
7. Жёсткий электрический диполь находится в однородном электростатическом поле. Момент сил, действующий на диполь, направлен ...



Варианты ответа:

- а) вдоль вектора напряжённости поля;
 б) к нам;
 в) от нас;
 г) против вектора напряжённости поля.

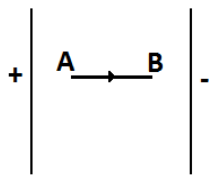
8. Электрическое поле создано одинаковыми по величине точечными зарядами q_1 и q_2 . Если $q_1=+q$, $q_2=-q$, а расстояние между зарядами и от заряда q_2 до точки C равно a , то вектор напряжённости поля в точке C ориентирован в направлении ...



Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

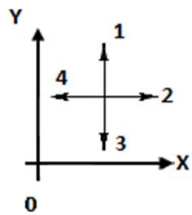
9. В электрическом поле плоского конденсатора перемещается заряд $+q$ в направлении, указанном стрелкой. Тогда работа сил поля на участке AB ...



Варианты ответа:

- а) положительна; б) равна нулю; в) отрицательна.

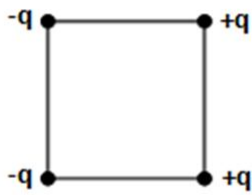
10. В некоторой области пространства создано электростатическое поле, потенциал которого описывается функцией $\varphi = 3x^2$. Вектор напряжённости электрического поля в точке пространства, показанной на рисунке, будет иметь направление ...



Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

11. Каждый из четырёх одинаковых по модулю точечных зарядов (см. рис.), расположенных в вершинах квадрата, создаёт в точке пересечения диагоналей электрическое поле, напряжённость которого равна \vec{E} . Градиент потенциала поля в этой точке равен ___ и направлен горизонтально ...



Варианты ответа:

- а) $4E$, вправо; б) $2\sqrt{2}E$, вправо; в) $2\sqrt{2}E$, влево; г) $4\sqrt{2}E$, влево.

12. Присоединённый к источнику тока плоский конденсатор имеет энергию W . Если между обкладок конденсатора поместить диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ε , то энергия электрического поля конденсатора станет равной ...

Варианты ответа:

- а) W ; б) $(\varepsilon - 1)W$; в) εW ; г) $\frac{W}{\varepsilon - 1}$; д) $\frac{W}{\varepsilon}$.

13. Отсоединённый от источника тока плоский конденсатор заряжен до разности потенциалов U . Если между обкладок конденсатора поместить диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ε , то

разность потенциалов между обкладками конденсатора станет равной ...

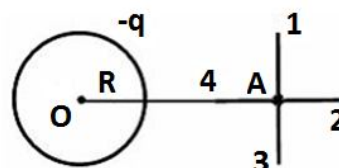
Варианты ответа:

а) $\frac{U}{\varepsilon - 1}$; б) $\frac{U}{\varepsilon}$; в) U ; г) εU ; д) $(\varepsilon - 1)U$.

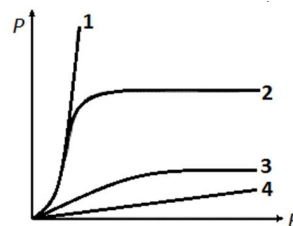
14. Поле создано равномерно заряженной сферической поверхностью с зарядом $-q$. Укажите направление вектора градиента потенциала в точке A .

Варианты ответа:

- 1) $A - 2$; 2) $A - 3$; 3) $A - 1$; 4) $A - 4$.



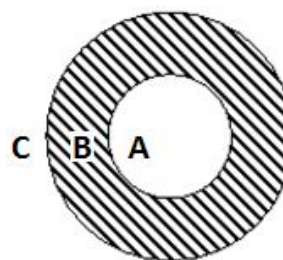
15. На рисунке представлены графики, отражающие характер зависимости модуля вектора поляризации \vec{P} диэлектрика от модуля вектора напряжённости электрического поля \vec{E} . Укажите зависимость, соответствующую *неполярным* диэлектрикам.



Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

16. На рисунке изображён проводящий полый шар. A – область полости, B – область проводника, C – область вне проводника. Шару сообщили отрицательный заряд. Напряжённость электрического поля, создаваемого шаром, равна нулю в областях пространства ...



Варианты ответа:

- а) B и C ;
 б) напряжённость отлична от нуля во всех точках пространства;
 в) A и C ;
 г) A и B .

17. Два точечных заряда q и $2q$ на расстоянии r друг от друга взаимодействуют с силой F . С какой силой будут взаимодействовать эти заряды на расстоянии $r/2$?

Варианты ответа:

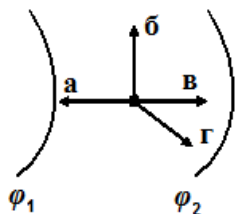
- а) $4F$; б) $2F$; в) $F/2$; г) $F/8$.

18. Укажите справедливые утверждения относительно электростатических полей.

Варианты ответа:

- а) циркуляция вектора напряжённости вдоль произвольного замкнутого контура равна нулю;
- б) электростатическое поле действует на заряженную частицу с силой, не зависящей от скорости движения частицы;
- в) силовые линии электростатического поля являются замкнутыми;
- г) электростатическое поле является вихревым;
- д) электростатическое поле совершает работу над электрическим зарядом.

19. Первоначально покоящийся протон под действием сил электростатического поля перемещается между двумя эквипотенциальными поверхностями. Если $\varphi_1 > \varphi_2$, то протон будет двигаться в направлении ...



Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

20. Сила взаимодействия двух точечных зарядов, находящихся на расстоянии R друг от друга, равна F . Расстояние между зарядами уменьшили в два раза. Чтобы сила взаимодействия F не изменилась, нужно ...

Варианты ответа:

- а) каждый заряд увеличить по модулю в 2 раза;
- б) каждый заряд уменьшить по модулю в 2 раза;
- в) один из зарядов уменьшить по модулю в 2 раза;
- г) один из зарядов увеличить по модулю в 2 раза.

21. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами $q_1=30$ нКл и $q_2=-20$ нКл. Расстояние между зарядами равно 5 см. Определить напряжённость электрического поля в точке, отстоящей от первого заряда на расстоянии 4 см и от второго заряда на расстоянии 4 см. Относительная диэлектрическая проницаемость среды равна 2.

Вариант ответа:

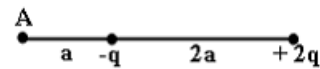
22. Два точечных заряда 25 нКл и -9 нКл находятся на расстоянии 6 см друг от друга. Определить положение точки, в которой напряжённость электрического поля равна нулю.

Вариант ответа:

23. Заряд $Q=20$ нКл равномерно распределен на тонкой нити длиной 1,0 м. Определить напряжённость поля в точке, находящейся на расстоянии 10 см от нити и равноудалённой от её концов.

Вариант ответа:

24. Электростатическое поле создано двумя точечными зарядами: $-q$ и $+2q$. Отношение потенциала поля, созданного первым зарядом в точке A , к потенциалу результирующего поля в этой точке равно ...



Вариант ответа:

25. На рисунках представлены графики зависимости напряжённости поля для различных распределений заряда:

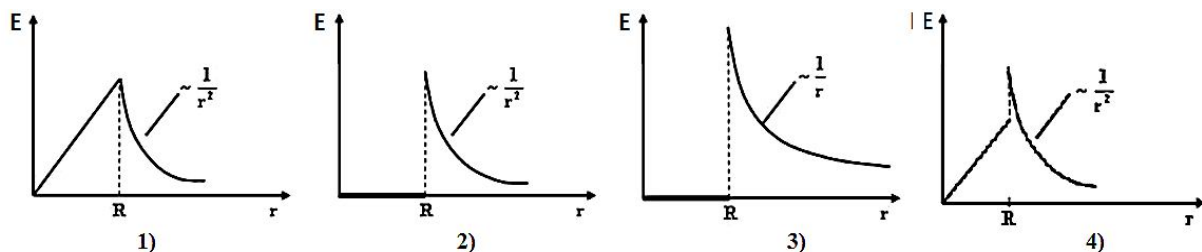
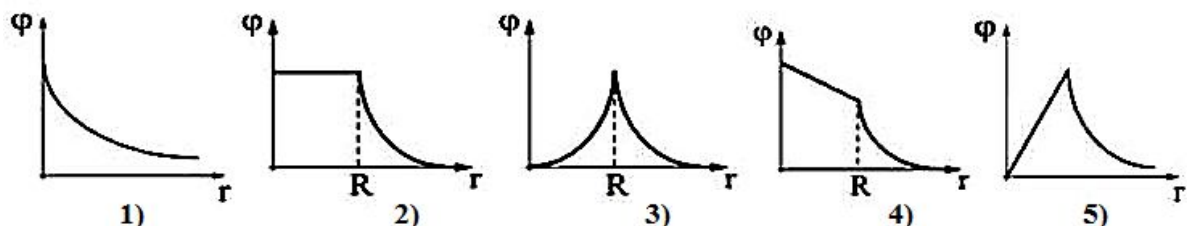


График зависимости для шара радиуса R , равномерно заряженного по объёму, показан на рисунке ...

Варианты ответа:

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

26. Электростатическое поле создано положительно заряженной сферой.



Правильно отражает зависимость потенциала от расстояния рисунок ...

Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5.

27. Точечный заряд $+q$ находится в центре сферической поверхности. Если заряд сместить из центра сферы, оставляя его внутри неё, то поток вектора напряжённости электростатического поля \vec{E} через поверхность сферы ...

Варианты ответа:

- а) увеличится; б) уменьшится; в) не изменится.

28. Протон находится на расстоянии r от положительно заряженной большой плоскости и на него действует сила F . При расстоянии $2r$ сила, действующая на протон, будет равна ...

Варианты ответа:

- а) $0,25F$; б) $0,5F$; в) F ; г) $2F$; д) $4F$.

29. При помещении диэлектрика в электрическое поле напряжённость электрического поля внутри бесконечного однородного изотропного диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ϵ ...

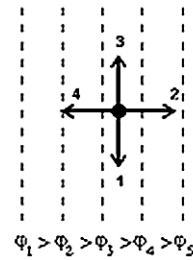
Варианты ответа:

- а) остаётся неизменной; б) увеличивается в ϵ раз;
в) остаётся равной нулю; г) уменьшается в ϵ раз.

30. Два проводника заряжены до потенциалов 30 В и -20 В. Заряд 100 нКл переносят с первого проводника на второй. При этом силы поля совершают работу (в мкДж), равную ...

Вариант ответа:

31. На рисунке показаны эквипотенциальные поверхности электростатического поля. Вектор напряжённости поля имеет направление ...



Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

32. Протон находится на расстоянии r от положительно заряженной нити, и на него действует сила F . Сила, действующая на альфа-частицу, находящуюся на этом же расстоянии от нити будет равна ...

Варианты ответа:

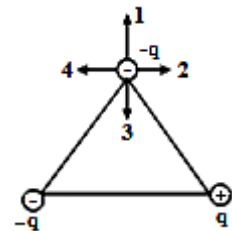
- а) $2F$; б) $4F$; в) $0,5F$; г) $0,25F$; д) F .

33. У присоединённого к источнику тока плоского конденсатора заряд на обкладках равен Q . Если между обкладок конденсатора поместить диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ϵ , то заряд станет равным ...

Варианты ответа:

- а) $\frac{Q}{\epsilon}$; б) $\frac{Q}{\epsilon-1}$; в) ϵQ ; г) Q ; д) $(\epsilon-1)Q$.

34. В вершинах равностороннего треугольника находятся одинаковые по модулю заряды. Направление силы, действующей на верхний заряд, и направление напряжённости поля в месте нахождения этого заряда обозначены векторами: ...



Варианты ответа:

- а) сила – вектор 4, напряжённость – вектор 2;
 б) сила – вектор 4, напряжённость – вектор 4;
 в) сила – вектор 3, напряжённость – вектор 1;
 г) сила – вектор 1, напряжённость – вектор 1;
 д) сила – вектор 2, напряжённость – вектор 4.

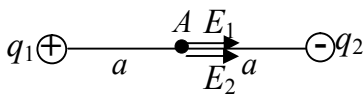
1.3. Примеры решения тестовых задач [3, 7]

1. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами: $q_1 = +q$, $q_2 = -q$. Напряжённость и потенциал в точке A равны ...



Решение

Согласно принципу суперпозиции $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$, $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ (алгебраическая сумма). Векторы \vec{E}_1 и \vec{E}_2 показаны на рисунке.



Учитывая, что \vec{E}_1 и \vec{E}_2 направлены в одну сторону, то

$$E = E_1 + E_2 = 2k \frac{|q|}{a^2},$$

$$\varphi = k \frac{q_1}{a} + k \frac{q_2}{a} = k \frac{q}{a} + k \frac{(-q)}{a} = 0.$$

Ответ: $E = 2k \frac{q}{a^2}$, $\varphi = 0$.

2. Работа сил электрического поля при перемещении заряда -2 мкКл из точки поля с потенциалом 20 В в точку с потенциалом 40 В равна ...

Решение

Работа сил поля по перемещению заряда q в электрическом поле вычисляется по формуле $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$, где φ_1 и φ_2 – потенциалы начальной и конечной точек поля. Тогда

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = (-2 \cdot 10^{-6}) \cdot (20 - 40) = 40 \cdot 10^{-6} \text{ Дж.}$$

Ответ: $40 \cdot 10^{-6}$ Дж.

3. Протон и электрон ускоряются электростатическим полем, пройдя одинаковую разность потенциалов. При этом отношение скоростей $\frac{v_p}{v_e}$ будет равно ...

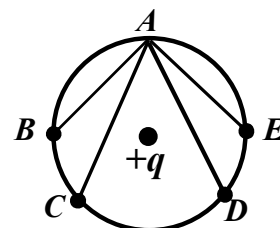
Решение

Работа сил электростатического поля приведет к увеличению кинетической энергии $qU = \frac{m\nu^2}{2}$. Отсюда скорость частицы будет

равна $\nu = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$. Следовательно, отношение скоростей протона и электрона $\frac{\nu_p}{\nu_e} = \sqrt{\frac{m_e}{m_p}}$.

Ответ: $\frac{\nu_p}{\nu_e} = \sqrt{\frac{m_e}{m_p}}$.

4. В электрическом поле точечного заряда q (см. рисунок) из точки A в точки B , C , D и E перемещают заряд q_0 . Для работы по перемещению заряда q_0 ($q_0 < 0$) в поле заряда q справедливо соотношение ...



Решение

Работа сил поля по перемещению заряда q_0 в поле заряда q вычисляется по формуле $A = q_0(\varphi_1 - \varphi_2)$, где φ_1 и φ_2 – потенциалы начальной и конечной точек поля. Учитывая, что потенциал поля точечного заряда q вычисляется по формуле $\varphi = k \frac{q}{r}$ и все точки лежат на окружности, т. е. $r = R$, получим, что $\varphi_1 = \varphi_2$. Тогда $A_{AB} = A_{AC} = A_{AD} = A_{AE} = 0$.

Ответ: $A_{AB} = A_{AC} = A_{AD} = A_{AE} = 0$.

5. Установите соответствие между источником электростатического поля (точечным зарядом, равномерно заряженной длинной нитью, равномерно заряженной бесконечной плоскостью) и формулой, позволяющей вычислить напряжённость поля в некоторой точке.

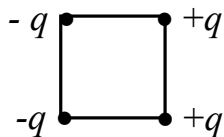
Решение

Напряжённость поля точечного заряда в некоторой точке обратно пропорциональна квадрату расстояния до заряда: $E = k \frac{q}{\epsilon r^2}$;

напряжённость поля равномерно заряженной длинной нити обратно пропорциональна расстоянию до нити: $E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon r}$; напряжённость поля равномерно заряженной бесконечной плоскости не зависит от расстояния до плоскости: $E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$.

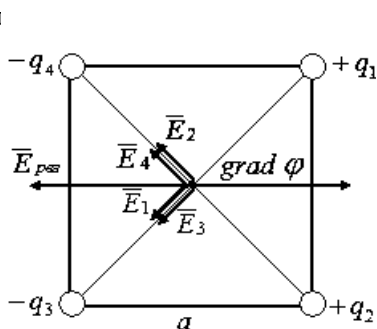
Ответ: 1) точечный заряд, $E = k \frac{q}{\epsilon r^2}$; 2) равномерно заряженная длинная нить, $E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon r}$; 3) равномерно заряженная бесконечная плоскость, $E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$.

6. Каждый из четырёх одинаковых по модулю точечных зарядов (см. рис.), расположенных в вершинах квадрата, создаёт в точке пересечения диагоналей электрическое поле, напряжённость которого равна E . Градиент потенциала поля в этой точке равен ___ и направлен горизонтально ...



Решение

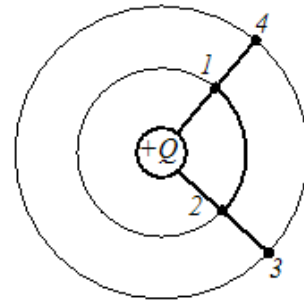
Величина напряжённости поля точечного заряда определяется по формуле $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^2}$, где ϵ_0 – электрическая постоянная, а r –



расстояние от заряда до точки. Поскольку все заряды одинаковы по величине и рассматриваемая точка одинаково удалена от каждого заряда, модули векторов $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3, \vec{E}_4$ равны, т. е. $E_1 = E_2 = E_3 = E_4$, а $\vec{E}_{рез}$ образует диагональ квадрата со стороной $2E$ (см. рисунок). Модуль напряженности результирующего поля в центре квадрата $\vec{E}_{рез.} = 2\sqrt{2}E$. Учитывая связь напряженности поля и потенциала, градиент потенциала в центре квадрата равен $2\sqrt{2}E$ и направлен вправо.

Ответ: $2\sqrt{2}E$, вправо.

7. Установите соответствие между величиной (знаком) работы сил электростатического поля, создаваемого зарядом $+Q$, по перемещению отрицательного заряда $-q$ и траекторией перемещения (указаны начальная и конечная точки).

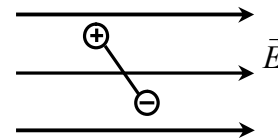


Решение

Работа сил электростатического поля по перемещению заряда q из точки 1 в точку 2 определяется по формуле: $A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$. Отсюда следует, что $A_{12}=0$, если $\varphi_1 = \varphi_2$. Точки, имеющие одинаковый потенциал лежат на одинаковом расстоянии от заряда, создающего поле $\left(\varphi = k \frac{Q}{r}\right)$, поэтому $A = 0$ для траектории 1–2. $A < 0$ для траектории 2–3, поскольку $\varphi_2 > \varphi_3$, а $q < 0$. $A > 0$ для траектории 4–1.

Ответ: 1) $A = 0$, траектория 1–2; 2) $A < 0$, траектория 2–3;
3) $A > 0$, траектория 4–1.

8. Жёсткий электрический диполь находится в однородном электростатическом поле. Момент сил, действующий на диполь, направлен ...

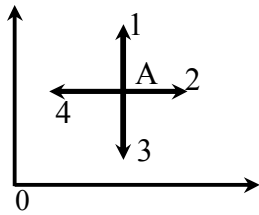


Решение

Во внешнем электрическом поле на электрический диполь действует момент сил $\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$ (\vec{p} – электрический дипольный момент, \vec{E} – вектор напряжённости внешнего электрического поля), который стремится повернуть его так, чтобы электрический дипольный момент развернулся по направлению вектора \vec{E} . Направление момента сил \vec{M} совпадает с направлением правого винта при его вращении от \vec{p} к \vec{E} , т. е. от нас.

Ответ: от нас.

9. В некоторой области пространства создано электростатическое поле, потенциал которого описывается функцией $\varphi = 5 + 2y^2$. Вектор напряжённости электрического поля в точка A будет иметь направление, показанное стрелкой ...



Решение

Напряжённость поля $\vec{E} = -\text{grad}\varphi$. Тогда $E = -\frac{d\varphi}{dy} = -4y$. Таким образом вектор \vec{E} направлен вниз, в направлении 3.

Ответ: 3.

10. Объёмная плотность энергии ω электростатического поля в вакууме точечного заряда q на расстоянии r от него пропорциональна ...

Решение

При удалении от точечного заряда q на расстояние r объёмная плотность энергии (энергия электростатического поля, заключённая в единице объёма) будет одинакова во всех точках, отстоящих на равных расстояниях от него, так как поле такого заряда обладает сферической симметрией. Объёмная плотность энергии ω в вакууме определяется по формуле $\omega = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2$, где E – величина напряжённости электрического поля точечного заряда. В нашем случае

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \text{ и, следовательно, } \omega = \frac{q^2}{32\pi^2 \varepsilon_0 r^4} \sim r^{-4}.$$

Ответ: $\omega \sim r^{-4}$.

11. Для электронной поляризации диэлектриков характерно ...

Решение

Молекулы некоторых диэлектриков имеют симметричное строение, т. е. центры распределения положительных и отрицательных зарядов в молекуле в отсутствие внешнего электрического поля совпадают, и дипольный момент молекулы равен нулю. Поэтому

молекулы таких диэлектриков называются неполярными. Под действием внешнего электрического поля заряды неполярных молекул смещаются в противоположные стороны (положительные по полю, отрицательные против поля), и молекула приобретает дипольный момент. Внесение диэлектрика в электрическое поле приводит к его поляризации. Такая поляризация называется электронной. Следовательно, электронная, или деформационная, поляризация диэлектрика с неполярными молекулами заключается в возникновении у молекул индуцированного дипольного момента за счёт деформации электронных орбит под влиянием внешнего электрического поля. Тепловое движение неполярных молекул никак не влияет на возникновение у них индуцированных электрических моментов, которые всегда совпадают по направлению с вектором напряжённости электрического поля (это связано с очень малой инертностью электронов).

Ответ: возникновение у молекул индуцированного дипольного момента при помещении диэлектрика во внешнее электрическое поле.

12. Если бесконечно длинный цилиндр радиуса R равномерно заряжен с объёмной плотностью заряда ρ , то его линейная плотность заряда τ равна ...

Решение

Объёмная плотность заряда цилиндра определяется по формуле $\rho = \frac{q}{V}$, где q – заряд цилиндра, V – его объём. Если учесть, что объём цилиндра $V = \pi R^2 l$, где l – длина цилиндра, то линейная плотность заряда $\tau = \frac{q}{l}$ выражается через объёмную плотность заряда $\rho = \frac{q}{V} = \frac{q}{\pi R^2 l} = \frac{\tau}{\pi R^2}$ следующим образом: $\tau = \pi R^2 \rho$.

Ответ: $\pi R^2 \rho$.

1.4. Тест по электростатике, рекомендуемый для решения на практических занятиях [4, 5, 6, 7]

1. Два одинаковых металлических шарика заряжены так, что заряд одного из них в 5 раз больше другого. Шарика привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние. Во сколько раз увеличилась сила взаимодействия, если шарика были заряжены одноименно?

Варианты ответа:

а) 1,5; б) 3; в) 1,8; г) 2,6.

2. На концах отрезка длиной 4,0 м расположены точечные заряды 6 и 3 мкКл. Найти силу, действующую на заряд 12 мкКл, помещённый в середине отрезка.

Варианты ответа:

а) 42 мкН; б) 81 мкН; в) 81 мН; г) 42 мН.

3. На расстоянии 3,0 см от заряда 4,0 нКл, находящего в жидком диэлектрике, напряжённость поля равна 20 кВ/м. Диэлектрическая проницаемость диэлектрика равна ...

Варианты ответа:

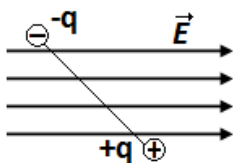
а) 4; б) 7; в) 2; г) 1.

4. Электрическое поле образовано наложением двух однородных полей с напряжённостями 300 В/м и 400 В/м. Силовые линии полей взаимно перпендикулярны. Напряжённость результирующего поля равна ...

Варианты ответа:

а) 500 В/м; б) 100 В/м; в) 800 В/м; г) 700 В/м.

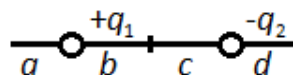
5. Жёсткий электрический диполь находится в однородном электростатическом поле. Момент сил, действующих на диполь направлен ...



Варианты ответа:

- а) от нас; б) вдоль силовых линий поля;
в) к нам; г) против силовых линий поля.

6. На рисунке представлена система двух точечных зарядов $+q_1$ и $-q_2$. В какой области напряжённость поля может равняться нулю, если модули зарядов равны $2q_1 = q_2$.



Варианты ответа:

- а) в области «a»; б) в области «b»;
в) в области «c»; г) в области «d».

7. Кольцо диаметром 10 см равномерно заряжено зарядом 5,0 мкКл. Напряжённость электрического поля в центре кольца равна ...

Варианты ответа:

- а) 10 В/м; б) 20 В/м; в) 100 В/м; г) 0.

8. Напряжённость поля в плоском воздушном конденсаторе имеет значение 5000 В/м, а заряд на пластинах равен 88 нКл. Какая сила действует на каждую из пластин?

Варианты ответа:

- 1) 220 мкН; 2) 440 мН; 3) 220 мН; 4) 440 мкН.

9. К шарiku, подвешенному на шёлковой нити, подносят отрицательно заряженную палочку, и шарик притягивается к ней. Заряжен ли шарик и каким зарядом?

Варианты ответа:

- а) заряжен положительным зарядом;
б) не заряжен;
в) шарик может быть не заряжен или иметь отрицательный заряд;
г) шарик может быть не заряжен или иметь положительный заряд.

10. При перемещении заряда в 2,0 Кл в электрическом поле силы, действующие со стороны этого поля, совершили работу в 20 Дж. Разность потенциалов между начальной и конечной точками равна ...

Варианты ответа:

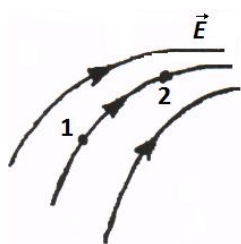
- а) 200 В; б) 10 В; в) 25 В; г) 400 В.

11. Какую работу надо совершить, чтобы два одноименных заряда 2 и 3 мкКл, находящиеся в воздухе на расстоянии 60 см друг от друга, сблизить до расстояния 30 см?

Варианты ответа:

- а) 180 мДж; б) -90 мДж; в) 180 мкДж; г) 90 мДж.

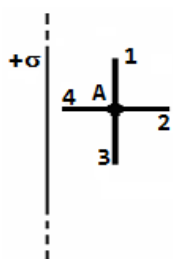
12. На рисунке приведена картина силовых линий \vec{E} электростатического поля. Какое соотношение для напряжённостей E и потенциалов φ в точках 1 и 2 верно?



Варианты ответа:

- а) $E_1 < E_2$, $\varphi_1 > \varphi_2$; б) $E_1 > E_2$, $\varphi_1 < \varphi_2$;
в) $E_1 > E_2$, $\varphi_1 > \varphi_2$; г) $E_1 < E_2$, $\varphi_1 < \varphi_2$.

13. Поле создано бесконечной равномерно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда $+\sigma$. Укажите направление вектора градиента потенциала в точке A .



Варианты ответа:

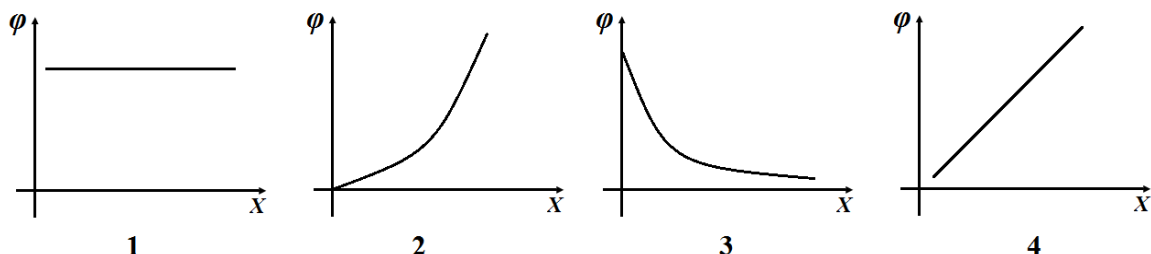
- а) $A \rightarrow 1$; б) $A \rightarrow 2$; в) $A \rightarrow 3$; г) $A \rightarrow 4$.

14. Точечный заряд $+q$ находится в центре сферической поверхности. Если добавить заряд $+2q$ за пределы сферы, то поток вектора напряжённости через поверхность сферы ...

Варианты ответа:

- а) увеличится в 2 раза; б) увеличится в 1,5 раза;
в) увеличится в 3 раза; г) не изменится.

15. Напряжённость точек электростатического поля в каждой точке с координатой x имеет значение $E = \frac{a}{x^2}$, где $a > 0$, тогда потенциал точек поля изменяется согласно ...



Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

16. Металлические шарики радиусами 0,20 см и 0,80 см, приведённые в соприкосновение, получили вместе заряд 50 мкКл, затем были удалены друг от друга на расстояние 10,0 см (между их центрами). Плотность заряда на втором шарике равна ...

Варианты ответа:

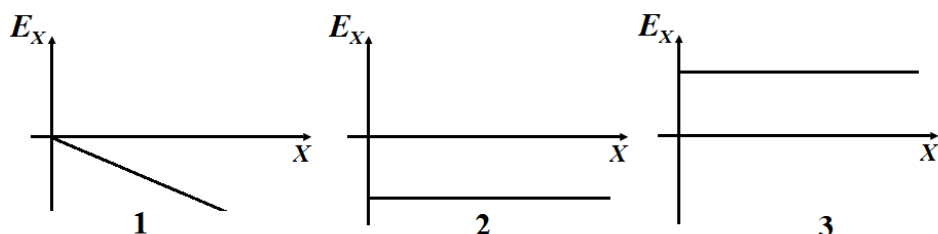
- а) 5,0 мкКл/м²; б) 15 мкКл/м²; в) 15 мКл/м²; г) 50 мКл/м².

17. Два конденсатора, ёмкости которых 3,0 мкФ и 1,0 мкФ, соединены последовательно и подключены к источнику постоянного напряжения 200 В. Заряд на обкладках второго конденсатора равен ...

Варианты ответа:

- а) 25 мкКл; б) 100 мкКл; в) 50 мкКл; г) 150 мкКл.

18. Потенциал точек поля изменяется по закону $\varphi = ax^2$ ($a > 0$).

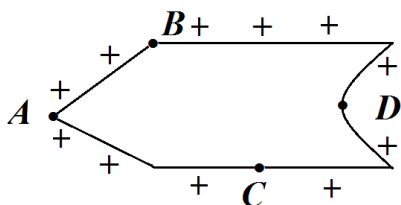


Закон изменения напряжённости точек поля представлен графиком $E_x = f(x)$...

Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3.

19. На рисунке представлен заряженный конус. Плотность электрического заряда минимальная в точке ...



Варианты ответа:

- а) везде одинаковая; б) A ;
в) B ; г) D .

20. Напряжённость точек поля заряженной бесконечно протяжённой плоскости рассчитывается по формуле ...

Варианты ответа:

- а) $E = \frac{q}{2\epsilon\epsilon_0}$; б) $E = \frac{q}{2\epsilon\epsilon_0 S}$; в) $E = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0}$; г) $E = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0 S}$.

Ответы к тесту по электростатике

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
в	в	в	а	в	а	г	а	г	б	б	а	г	г	в	г	г	а	г	б

1.5. Разноуровневые задачи [4, 5, 6]

1. Электрическое поле образовано положительно заряженной бесконечной нитью с линейной плотностью заряда $\tau=2 \cdot 10^{-9}$ Кл/см. Какую скорость получит электрон под действием поля, приблизившись к нити с расстояния в 1 см до расстояния 0,5 см к нити?

Ответ: $v=3,6 \cdot 10^7$ м/с.

2. Шарик, имеющий массу 4 г и заряд 4,9 нКл, подвешен на нити в поле плоского конденсатора, заряд которого 4,43 нКл и площадь пластин 50 см^2 . На какой угол от вертикали отклонится при этом нить с шариком?

Ответ: $\alpha \approx 7^\circ$.

3. Конденсатор ёмкостью $C_1=3$ мкФ заряжен до разности потенциалов $\Delta\varphi_1=300$ В, а конденсатор ёмкостью $C_2=2$ мкФ до $\Delta\varphi_2=200$ В. Оба конденсатора соединены после зарядки параллельно одноимёнными полюсами. Какая разность потенциалов установится на пластинах конденсаторов после их соединения?

Ответ: $\Delta\varphi=260$ В.

4. Сплошной парафиновый шар ($\epsilon=2$) радиуса $R=10$ см заряжен равномерно по объёму с объёмной плотностью заряда $\rho=10$ нКл/м³. Определить энергию W_1 электрического поля, сосредоточенную в шаре и энергию W_2 вне его.

Ответ: $W_1=7,9 \cdot 10^{-9}$ Дж; $W_2=79 \cdot 10^{-9}$ Дж.

5. Бесконечно длинная тонкая прямая нить несёт равномерно распределённый по длине нити заряд с линейной плотностью $\tau=0,01$ мкКл/м. Определить разность потенциалов двух точек поля, удалённых от нити на $r_1=2$ см и $r_2=4$ см.

Ответ: $\Delta\varphi=125$ В.

6. Длинная прямая тонкая проволока несёт равномерно распределённый заряд. Вычислить линейную плотность τ заряда, если напряжённость поля на расстоянии $r=0,5$ м от проволоки против её середины $E=2$ В/см.

Ответ: $\tau=5,55$ нКл/м.

7. Заряд равномерно распределён по бесконечной плоскости с поверхностной плотностью заряда $\sigma=10$ нКл/м². Определить разность потенциалов $\Delta\varphi$ двух точек поля, одна из которых находится на плоскости, а другая удалена от неё на $r=10$ см.

Ответ: $\Delta\varphi=56,6$ В.

8. В трёх вершинах квадрата со стороной 40 см находятся одинаковые положительные заряды по 5 нКл каждый. Найти напряжённость электрического поля в четвёртой вершине.

Ответ: $E=540$ В/м.

9. Тонкий стержень длиной $l=10$ см несёт равномерно распределённый заряд $q=1$ нКл. Определить потенциал электрического поля в точке, лежащей на оси стержня на расстоянии $a=20$ см от ближайшего его конца.

Ответ: $\varphi=36,5$ В.

10. Металлический шар имеет заряд $q_1=0,1$ мкКл. На расстоянии, равном радиусу шара от его поверхности, находится конец нити, вытянутой вдоль силовой линии. Нить несёт равномерно распределённый по длине заряд $q_2=10$ нКл. Длина нити равна радиусу шара. Определить силу, действующую на нить, если радиус шара $R=10$ см.

Ответ: $F=150$ мкН.

11. Тонкое кольцо радиуса $R=8$ см несёт заряд, равномерно распределённый с линейной плотностью $\tau=10$ нКл/см. Какова напряжённость электрического поля в точке, равноудалённой от всех точек кольца на расстояние $r=10$ см.

Ответ: $E = \frac{\tau R}{2\varepsilon_0 r^3} \sqrt{r^2 - R^2} = 2,7 \cdot 10^5$ В/м.

12. Электрон влетает в плоский воздушный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью $v_0=6 \cdot 10^7$ м/с. Расстояние между пластинами $d=1$ см, разность потенциалов $\Delta\varphi=600$ В. Найти отклонение h электрона, вызванное полем конденсатора, если длина его пластин $l=5$ см.

Ответ: $h = \frac{|e|\Delta\varphi l^2}{2m v_0^2 d} = 3,7$ мм.

13. Две концентрические металлические сферы радиусов $R_1=4$ см и $R_2=10$ см имеют соответственно заряды $q_1=-2$ нКл и $q_2=3$ нКл. Пространство между сферами заполнено эбонитом ($\varepsilon=3$). Определить потенциал φ электрического поля на расстояниях $r_1=2$ см, $r_2=6$ см и $r_3=20$ см от центра сфер.

Ответ:

$$E_1 = 0 \quad (r < R_1); \quad E_2 = k \frac{q_1}{\varepsilon r^2} \quad (R_1 < r < R_2);$$

$$E_3 = k \frac{q_1 + q_2}{r^2} \quad (r > R_2);$$

$$\varphi(r) = k \frac{q_1}{\varepsilon_0} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{\varepsilon - 1}{R_2} \right) + k \frac{q_2}{R_2} = 540 \text{ В} \quad (r \leq R_1);$$

$$\varphi(r) = k \frac{q_1}{\varepsilon} \left(\frac{1}{r} + \frac{\varepsilon - 1}{R_2} \right) + k \frac{q_2}{R_2} = 500 \text{ В} \quad (R_1 < r < R_2);$$

$$\varphi(r) = k \frac{q_1 + q_2}{r_3} = 225 \text{ В} \quad (r \geq R_2).$$

14. В поле, созданном заряженной сферой радиусом $R=10$ см, движется электрон по радиусу между точками, находящимися на расстояниях $r_1=12$ см и $r_2=15$ см от центра сферы. При этом скорость электрона изменяется от $v_1=2 \cdot 10^5$ до $v_2=2 \cdot 10^6$ м/с. Найти поверхностную плотность заряда сферы.

Ответ: $\sigma=6$ нКл/м².

15. Уединённый металлический шар радиусом $R=6$ см несёт некоторый заряд. Концентрическая этому шару поверхность делит пространство на две части (внутренняя конечная и внешняя бесконечная), так что энергии электрического поля обеих частей одинаковы. Определить радиус этой сферы.

Ответ: $r_x=12$ см.

2. Постоянный электрический ток

2.1. Основные понятия, законы и формулы [1, 2]

Электрический ток – направленное движение заряженных частиц в проводящих средах. Направление тока совпадает с направлением движения положительно заряженных частиц.

Условие возникновения и существования тока:

- 1) наличие свободных носителей тока;
- 2) наличие электрического поля, энергия которого расходуется на упорядоченное движение заряженных частиц.

Сила тока I – количество заряда, протекающего через поперечное сечение проводника за интервал времени:

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

Постоянный ток – это ток, величина I и направление которого постоянны во времени:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \text{const}. \quad (2.2)$$

Сила постоянного тока может быть рассчитана по формуле

$$I = |e| n \langle u \rangle S, \quad (2.3)$$

где n – концентрация носителей тока, $|e|$ – заряд электрона по модулю, $\langle u \rangle$ – средняя скорость упорядоченного движения заряженных частиц, S – площадь поперечного сечения проводника.

Ампер (A) – единица измерения электрического тока в системе СИ.

Плотность электрического тока – вектор, численно равный заряду, проходящему через элементарную площадку поперечного сечения проводника в единицу времени, и направленный в сторону протекания тока:

$$\vec{j} = \frac{dq}{dt dS_{\perp}} \vec{n} = \frac{dI}{dS_{\perp}} \vec{n}. \quad (2.4)$$

Плотность электрического тока позволяет описывать распределение электрического тока в проводнике. Ампер на

квадратный метр (А/м^2) – единица измерения плотности тока, принятая в системе СИ.

Сила тока определяется как интеграл произведения плотности тока и площади:

$$I = \int_S \vec{j} d\vec{S}. \quad (2.5)$$

Электрическое сопротивление проводника определяет величину силы тока при заданном напряжении на концах проводника. Сопротивление R равно отношению напряжения U к силе тока I :

$$R = \frac{U}{I}. \quad (2.6)$$

Ом – единица измерения электрического сопротивления, принятая в системе СИ.

Сопротивление провода R пропорционально длине провода и обратно пропорционально его поперечному сечению S :

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (2.7)$$

Коэффициентом пропорциональности является удельное сопротивление ρ , единицей которого является Ом·м. Удельное сопротивление зависит от материала и не зависит от геометрии проводника.

Удельная электрическая проводимость (электропроводность) σ – величина обратная значению удельного сопротивления:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}. \quad (2.8)$$

Электродвижущая сила (ЭДС) – величина, определяемая работой сторонних сил (сил неэлектрического происхождения), при перемещении единичного положительного заряда в цепи:

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{стор}}}{q}. \quad (2.9)$$

Напряжение – величина, определяемая суммарной работой сторонних кулоновских сил, по перемещению единичного положительного заряда из точки 1 поля в точку 2:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon. \quad (2.10)$$

Закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}. \quad (2.11)$$

Закон Ома для однородного участка цепи в интегральной форме – в омическом проводнике напряжение U пропорционально силе тока I :

$$U = I \cdot R. \quad (2.12)$$

В этом уравнении коэффициентом пропорциональности является омическое сопротивление R .

Закон Ома для неоднородного участка цепи (участка, содержащего электродвижущую силу):

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon}{R + r}, \quad (2.13)$$

где $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – разность потенциалов на концах участка; R – сопротивление однородного участка цепи, r – внутреннее сопротивление источника тока.

Закон Ома для однородного участка цепи (участка, не содержащего источника тока):

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}. \quad (2.14)$$

Закон Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \quad (2.15)$$

Правила Кирхгофа для разветвлённых цепей:

а) алгебраическая сумма всех токов, сходящихся в любом узле, равна нулю:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0; \quad (2.16)$$

б) для любого замкнутого контура алгебраическая сумма произведений токов на сопротивления соответствующих участков равна алгебраической сумме всех ЭДС, действующих в контуре:

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{j=1}^m \varepsilon_j. \quad (2.17)$$

Включение сопротивлений:

а) последовательное включение n сопротивлений

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i; \quad (2.18)$$

б) параллельное включение n сопротивлений

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}. \quad (2.19)$$

Закон Джоуля-Ленца (закон теплового действия тока):

$$Q = I^2 R t, \quad (2.20)$$

где Q – количество теплоты, выделенное на участке цепи сопротивлением R в течение времени t .

Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме:

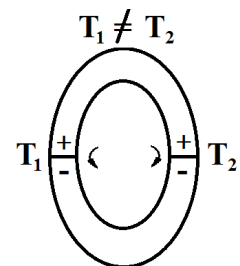
$$\omega = \gamma E^2, \quad (2.21)$$

где ω – мощность выделения тепла в единице объёма, γ – удельная электрическая проводимость, E – напряжённость электрического поля.

Работа электрического тока:

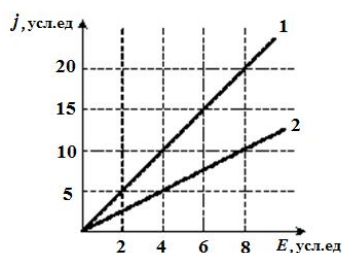
$$A = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t = I U t. \quad (2.22)$$

Явление Зеебека заключается в том, что в электрической цепи, составленной из последовательно соединённых разнородных металлов, возникает электродвижущая сила (термоЭДС), если контакты (спаи) металлов поддерживаются при различных температурах. В простейшем случае, когда цепь состоит только из двух проводников, она называется термоэлементом, или термопарой (см. рис.).



2.2. Тестовые задачи для контроля знаний [4, 5, 6, 7]

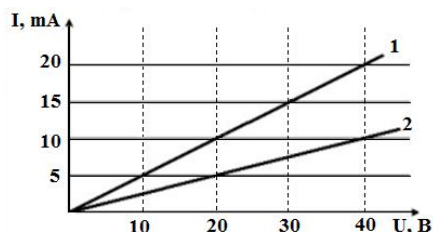
1. На рисунке представлена зависимость плотности тока j , протекающего в проводниках 1 и 2, от напряжённости электрического поля E . Отношение удельных проводимостей этих элементов σ_1/σ_2 равно ...



Варианты ответа:

- а) 1/4; б) 2; в) 1/2; г) 4.

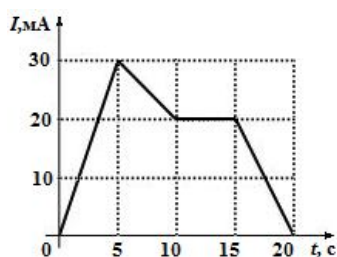
2. Вольт-амперная характеристика активных элементов цепи 1 и 2 представлена на рисунке. При напряжении 20 В отношение мощностей P_1/P_2 равно ...



Варианты ответа:

- а) 1/2; б) 1; в) 2; г) 4.

3. На рисунке показана зависимость силы тока в электрической цепи от времени. Заряд, прошедший по проводнику в интервале времени от 5 до 15 с (в мКл) равен ...



Варианты ответа:

- а) 450; б) 225; в) 250; г) 200.

4. Сила тока за 10 с равномерно возрастает от 1 А до 3 А. За это время через поперечное сечение проводника переносится заряд, равный ...

Варианты ответа:

- а) 10 Кл; б) 30 Кл; в) 40 Кл; г) 20 Кл.

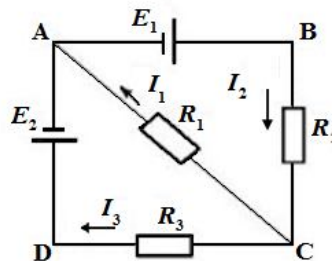
5. Два проводника, изготовленные из одного материала, равной длины, но разного сечения ($S_1 > S_2$), включены последовательно в цепь. Напряжённость электрического поля ...

Варианты ответа:

- а) одинакова в обоих проводниках;
б) в проводнике с сечением S_2 может быть как больше, так и меньше;

- в) больше в проводнике с сечением S_2 ;
 г) больше в проводнике с сечением S_1 .

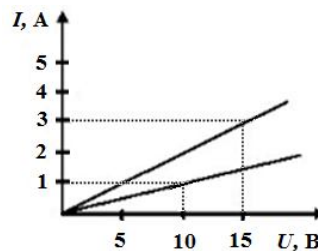
6. На рисунке представлена схема электрической цепи, включающая два идеальных источника тока с ε_1 и ε_2 и три резистора сопротивлениями R_1 , R_2 , и R_3 . Направления токов в ветвях показаны стрелками. Направление обхода контуров – по часовой стрелке. Для контура $ABCA$ уравнение по второму правилу Кирхгофа имеет вид ...



Варианты ответа:

- а) $\varepsilon_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2$; б) $-\varepsilon_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2$;
 в) $-\varepsilon_1 = I_1 R_1 - I_2 R_2$; г) $\varepsilon_1 = -I_1 R_1 - I_2 R_2$.

7. Вольт-амперные характеристики двух нагревательных спиралей изображены на рисунке. Из графиков следует, что сопротивление одной спирали больше сопротивления другой на ...



Варианты ответа:

- а) 10; б) 0,1; в) 5; г) 25.

8. Если уменьшить в два раза напряжённость электрического поля в проводнике, то плотность тока ...

Варианты ответа:

- а) увеличится в четыре раза; б) уменьшится в четыре раза;
 в) увеличится в два раза; г) уменьшится в два раза;
 д) не изменится.

9. Сила тока в проводнике в течение интервала времени t равномерно увеличивается от 0 до I , затем в течение такого же промежутка времени остаётся постоянной, а затем за тот же интервал времени равномерно уменьшается до нуля. За всё время через проводник прошёл заряд q , равный ...

Варианты ответа:

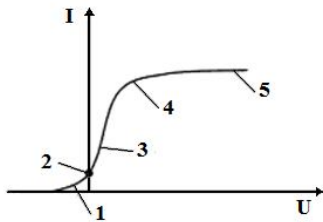
- а) 0; б) $q = 4It$; в) $q = It$; г) $q = 2It$.

10. Если увеличить в два раза напряжение между концами проводника, а площадь его сечения уменьшить в два раза, то сила тока, протекающего через проводник, ...

Варианты ответа:

- а) увеличится в два раза; б) увеличится в четыре раза;
 в) не изменится; г) уменьшится в четыре раза.

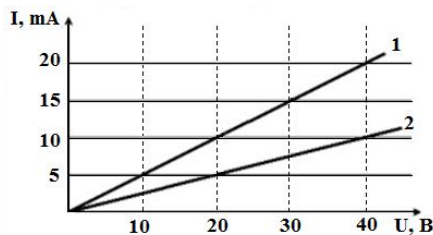
11. Какой области вольт-амперной характеристики вакуумного диода соответствует утверждение: все электроны, вылетающие из катода в результате термоэлектронной эмиссии, достигают анода?



Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5.

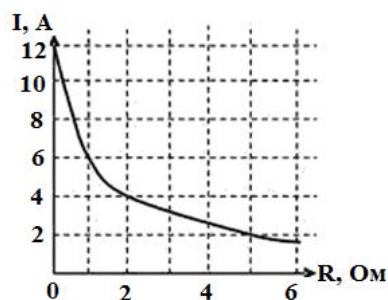
12. Вольт-амперная характеристика активных элементов 1 и 2 цепи представлена на рисунке. Отношение сопротивлений R_2 / R_1 этих элементов равно ...



Варианты ответа:

- а) 1/2; б) 2; в) 4; г) 1/4.

13. К источнику с внутренним сопротивлением 1,0 Ом подключили реостат. На рисунке показан график зависимости силы тока в реостате от его сопротивления. ЭДС этого источника равна ...



Варианты ответа:

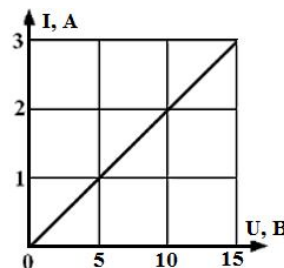
- а) 1,5 В; б) 2 В; в) 4 В; г) 6 В; д) 12 В.

14. Если увеличить в два раза напряжённость электрического поля в проводнике, то удельная тепловая мощность тока ...

Варианты ответа:

- а) увеличится в четыре раза; б) уменьшится в четыре раза;
в) увеличится в два раза; г) уменьшится в два раза;
д) не изменится.

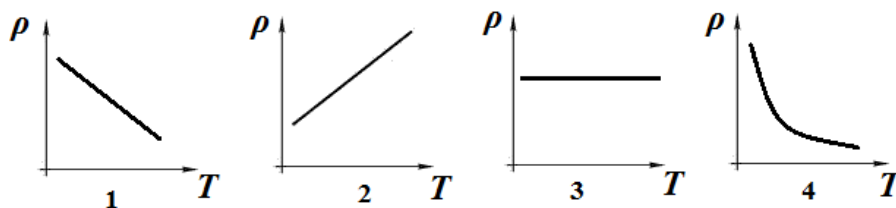
15. На рисунке представлена вольт-амперная характеристика резистора, подключённого к источнику тока с $\varepsilon=16$ В. Через резистор протекает ток 2,5 А. Внутреннее сопротивление источника тока равно ...



Варианты ответа:

- а) 1,2 Ом; б) 1 Ом; в) 1,4 Ом; г) 1,3 Ом.

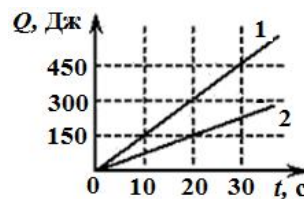
16. Зависимость удельного сопротивления металлического проводника от температуры соответствует графику ...



Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

17. На рисунке представлен график зависимости количества теплоты, выделяющейся в двух последовательно соединённых проводниках, от времени. Отношение сопротивлений проводников R_1 / R_2 равно ...



Варианты ответа:

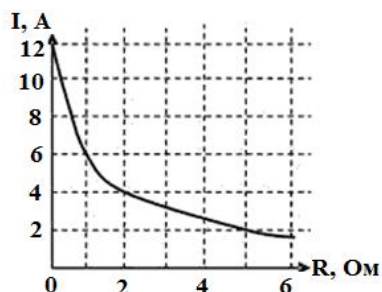
- а) 0,25; б) 0,5; в) 2; г) 4.

18. Два одинаковых источника тока соединены последовательно. Если источники соединить параллельно, то сила тока короткого замыкания ...

Варианты ответа:

- а) увеличится в четыре раза; б) уменьшится в два раза;
в) увеличится в два раза; г) не изменится.

19. К источнику тока с $\varepsilon=12\text{ В}$ подключили реостат. На рисунке показан график зависимости силы тока в реостате от его сопротивления. Внутреннее сопротивление этого источника равно ...



Варианты ответа:

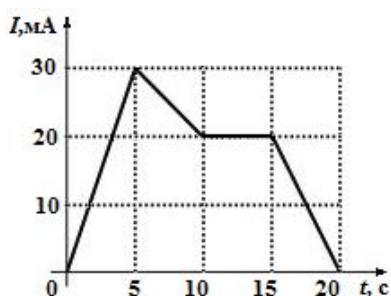
- а) 0; б) 0,5 Ом; в) 1 Ом; г) 2 Ом; д) 6 Ом.

20. Электропроводка должна выполняться из достаточно толстого провода, чтобы он сильно не нагревался и не создавал угрозы пожара. Если проводка рассчитана на максимальную силу тока 16 А и на погонном метре провода должно выделяться не более 2 Вт тепла, то диаметр медного провода (с учетом того, что удельное сопротивление меди равно 17 нОм·м) равен ...

Варианты ответа:

- а) 1,7 мм; б) 0,83 мм; в) 1,5 мм; г) 0,97 мм.

21. На рисунке показана зависимость силы тока в электрической цепи от времени. Наименьший заряд протечёт через поперечное сечение проводника в промежутке времени _____ с.



Варианты ответа:

- а) 0 – 5; б) 5 – 10; в) 10 – 15; г) 15 – 20.

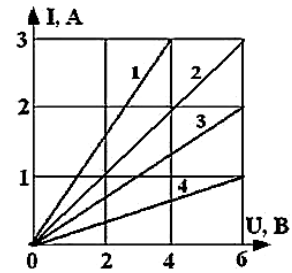
22. Определите ток короткого замыкания источника ЭДС, если при внешнем сопротивлении $R_1=50\text{ Ом}$ ток в цепи $I_1=0,2\text{ А}$, а при $R_2=110\text{ Ом}$ ток $I_2=0,1\text{ А}$.

Вариант ответа:

23. Когда сопротивление внешней части источника тока уменьшили на 30%, ток увеличился на 30%. На сколько процентов увеличится ток, если сопротивление внешней части цепи уменьшится на 50%?

Вариант ответа:

24. Через лампу, подключённую к источнику тока с ЭДС 8 В и внутренним сопротивлением 1 Ом протекает ток 2 А. Зависимость тока от приложенного к лампе напряжения показана на графике ...



Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

25. Лампочки мощностью $P_1=25$ Вт и $P_2=100$ Вт, рассчитанные на одно и то же напряжение $U=220$ В, соединены параллельно и включены в сеть с таким же напряжением. При этом отношение количества теплоты, выделившийся на первой и второй лампочках за одно и то же время, равно ...

Варианты ответа:

- а) 1/4; б) 1; в) 16; г) 4.

26. Напряжение на концах медного провода диаметром d и длиной l равно U . Если взять медный провод диаметром $2d$ той же длины l и увеличить напряжение в 4 раза, то средняя скорость направленного движения электронов вдоль проводника ...

Варианты ответа:

- а) уменьшится в 4 раза; б) увеличится в 2 раза;
в) увеличится в 4 раза; г) не изменится.

2.3. Примеры решения тестовых задач [3, 7]

1. Лампочки мощностью 25 Вт и 100 Вт, рассчитанные на одно и то же напряжение, соединены последовательно и включены в сеть. При этом отношение количества теплоты, выделившейся на первой и второй лампочках за одно и то же время, равно ...

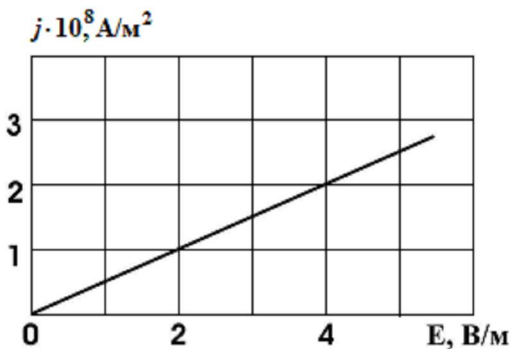
Решение

Поскольку лампочки соединены последовательно, то для расчёта количества теплоты следует воспользоваться формулой $Q = I^2 R t$, так как в этом случае ток через лампочки одинаков. Сопротивление каждой лампочки можно найти, зная мощность:

$$P = \frac{U^2}{R}; R = \frac{U^2}{P}. \text{ Тогда } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{100}{25} = 4.$$

Ответ: 4.

2. На графике представлена зависимость плотности тока в проводнике от напряжённости электрического поля. Удельное сопротивление проводника в единицах Ом·м равно ...



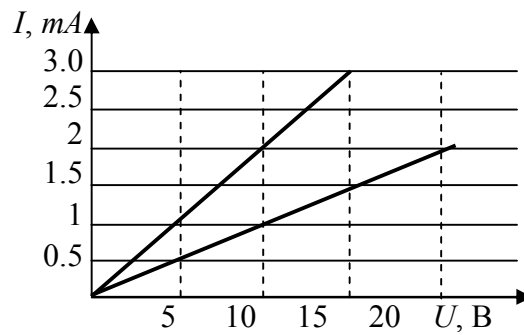
Решение

Согласно закону Ома в дифференциальной форме, плотность тока в проводнике равна $j = \frac{1}{\rho} E$, где ρ – удельное сопротивление материала, E – напряженность электрического поля в проводнике. Взяв любое значение напряженности поля и соответствующее ему значение плотности тока из графика, можно определить удельное сопротивление материала:

$$\rho = \frac{E}{j} = \frac{2}{10^8} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Ответ: $2 \cdot 10^{-8}$.

3. Вольт-амперные характеристики двух нагревательных спиралей изображены на рисунке. Из графиков следует, что сопротивление одной спирали больше сопротивления другой на ...



Решение

Согласно закону Ома $R = \frac{U}{I}$.

По верхнему графику определяем сопротивление первой спирали $R_1 = \frac{15 \text{ В}}{3 \text{ А}} = 5 \text{ Ом}$. По нижнему графику определяем сопротивление второй спирали $R_2 = \frac{20 \text{ В}}{2 \text{ А}} = 10 \text{ Ом}$. Тогда сопротивление второй спирали будет больше сопротивления первой спирали на 5 Ом.

Ответ: 5 Ом.

4. Если увеличить длину проводника и площадь его поперечного сечения вдвое, не изменяя приложенного напряжения, то плотность тока в проводнике ...

Решение

Плотность тока находится как отношение силы тока к площади поперечного сечения проводника: $j = \frac{I}{S}$. Согласно закону Ома для

участка цепи $I = \frac{U}{R}$. С учётом того, что $R = \rho \frac{l}{S}$, получаем

$$j = \frac{I}{S} = \frac{U}{RS} = \frac{US}{\rho l S} = \frac{U}{\rho l}.$$

Здесь U – разность потенциалов, R – сопротивление, l – длина проводника, ρ – удельное сопротивление материала. Следовательно, плотность тока обратно пропорциональна длине проводника. Тогда плотность тока в проводнике уменьшится в 2 раза.

Ответ: уменьшится в 2 раза.

5. Четыре сопротивления величиной R каждое соединили сначала последовательно, а затем параллельно. При этом общее сопротивление ...

Решение

Сопротивления при последовательном и параллельном соединении одинаковых проводников равны соответственно $R_{общ.1} = 4R$; $R_{общ.2} = \frac{R}{4}$. $\frac{R_{общ.2}}{R_{общ.1}} = \frac{1}{16}$. Таким образом, общее сопротивление уменьшится в 16 раз.

Ответ: уменьшится в 16 раз.

6. Круглосуточно горящая в течение года лампочка мощностью 40 Вт в подъезде вашего дома при тарифе 3 руб. за 1 кВт·час обходится в ___ рубля. Ответ округлите до целых.

Решение

Работа электрического тока связана с потребляемой мощностью и временем соотношением

$$A = p \cdot t = 40 \cdot 365 \cdot 24 = 350,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Учитывая тариф, получаем ответ 1051,2 руб. \approx 1051 руб.

Ответ: 1051 руб.

7. Сила тока за 10 с равномерно возрастает от 1 А до 3 А. За это время через поперечное сечение проводника перенесётся заряд, равный ...

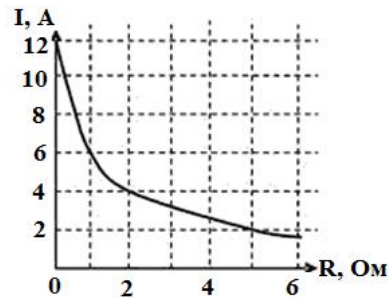
Решение

Сила тока равна скорости переноса заряда через поперечное сечение проводника: $I = \frac{dq}{dt}$. Зависимость силы тока от времени описывается выражением $I = I_0 + kt$, где $I_0 = 1 \text{ А}$, $k = 0,2 \text{ А/с}$. Поэтому

$$Q = \int_0^{10} (I_0 + kt) dt = \left(I_0 t + \frac{kt^2}{2} \right) \Big|_0^{10} = 10 + 10 = 20 \text{ Кл.}$$

Ответ: 20 Кл.

8. К источнику тока с внутренним сопротивлением 1,0 Ом подключили реостат. На рисунке показан график зависимости силы тока в реостате от его сопротивления. Максимальная мощность, которая выделится в реостате, равна ...



Решение

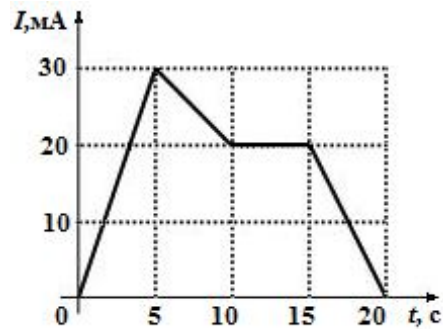
Согласно закону Ома для замкнутой цепи, сила тока, который протекает по проводнику, рассчитывается по формуле $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$, где ε – ЭДС источника тока, R – сопротивление проводника (в данном случае реостата), r – внутреннее сопротивление источника тока.

Мощность, выделяемая в реостате, равна: $P = I^2 R = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}$. Можно

доказать, исследовав функцию $P(R)$ на экстремум, что максимальная мощность выделяется, если $R=r$, следовательно, $R=1$ Ом, соответствующее значение силы тока найдём из графика $I = 6$ А. Тогда $P_{max} = I^2 R = 36$ Вт.

Ответ: 36 Вт.

9. На рисунке показана зависимость силы тока в электрической цепи от времени. Заряд, прошедший по проводнику на интервале времени от 5 до 15 с (в мКл) равен ...



Решение

По определению сила тока в цепи равна

$I = \frac{dq}{dt}$, следовательно, $dq = Idt$, где dq –

заряд, прошедший по проводнику за бесконечно малый промежуток времени dt . Заряд, прошедший в заданном интервале времени,

можно определить по формуле $q = \int_{t_1}^{t_2} Idt$. Геометрический смысл

определенного интеграла – площадь под графиком функции. На рисунке представлен график зависимости силы тока от времени.

Вычислив площадь под графиком функции, в указанном интервале можно найти заряд, прошедший по проводнику: $S = 225 \text{ мА}\cdot\text{с}$, следовательно, $q = 225 \text{ мКл}$.

Ответ: 225 мКл.

2.4. Тест по постоянному электрическому току, рекомендуемый для решения на практических занятиях [4, 5, 6, 7]

1. Условиями существования тока являются следующие утверждения:

Варианты ответа:

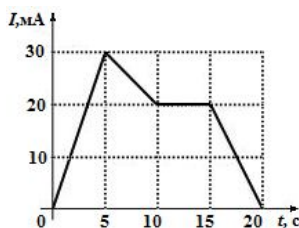
- а) проводник представляет эквипотенциальную поверхность;
- б) наличие свободных заряженных частиц;
- в) наличие электрического поля в проводнике;
- г) наличие ионов в узлах кристаллической решётки.

2. Плотность тока в проводящей среде зависит от ...

Варианты ответа:

- а) заряда проводника;
- б) сечения проводника;
- в) напряжённости электрического поля;
- г) удельного сопротивления среды.

3. На рисунке представлен график изменения тока, протекающего по проводнику, от времени. Какой заряд пройдёт через сечение проводника в интервале времени от 15 до 20 с ?



Варианты ответа:

- а) 10 мКл; б) 20 мКл; в) 100 мКл; г) 50 мКл.

4

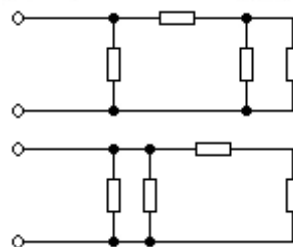
3. Согласно выводам классической электронной теории металлов удельное сопротивление металла зависит от ...

Варианты ответа:

- а) концентрации электронного газа;

- б) скорости теплового движения электронов;
- в) постоянной кристаллической решетки металла;
- г) массы и заряда ионов металла.

5. На рисунке представлены две цепи соединения резисторов. Сопротивление каждого резистора 3,0 Ом. Отношение эквивалентного сопротивления первой цепи ко второй равно ...



Варианты ответа:

- а) 1;
- б) 1,5;
- в) 2;
- г) 0,75.

6. Источник тока замыкается сначала сопротивлением 2 Ом, а затем сопротивлением 8 Ом. В обоих случаях на внешнем сопротивлении выделяется одинаковая мощность. Найти внутреннее сопротивление источника.

Варианты ответа:

- а) 4 Ом;
- б) 2 Ом;
- в) 3 Ом;
- г) 6 Ом.

7. Нагреватель номинальной мощностью 4,4 кВт при 220 В включён в сеть 220 В проводом, сопротивление которого 9 Ом. Какой окажется мощность нагревателя при таком включении?

Варианты ответа:

- а) 1,3 кВт;
- б) 4,0 кВт;
- в) 0,8 кВт;
- г) 2,4 кВт.

8. Цепь состоит из элемента и проводника с сопротивлением 2 Ом. Найти напряжение на зажимах элемента, если его электродвижущая сила равна 1,4 В, а внутреннее сопротивление – 0,8 Ом.

Варианты ответа:

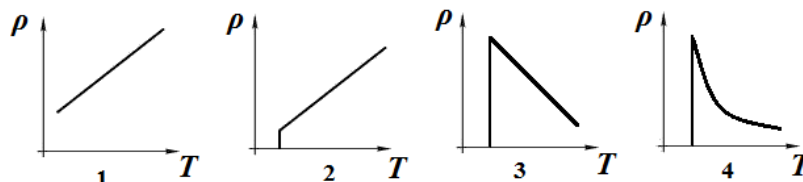
- а) 1,2 В;
- б) 1,0 В;
- в) 1,3 В;
- г) 1,1 В.

9. К аккумулятору с ЭДС 12,6 В подключено сопротивление, в котором протекает ток силой 5,0 А. Определить работу сторонних сил по разделению заряда в аккумуляторе за 1 мин.

Варианты ответа:

- а) 63 Дж; б) 0,38 кДж; в) 3,8 кДж; г) 6,3 Дж.

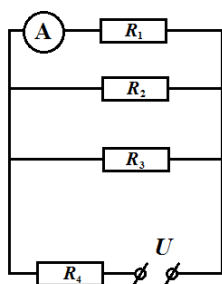
10. Зависимость удельного сопротивления от температуры в области сверхпроводящего перехода представлена графиком ...



Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

11. Электрическая цепь состоит из четырех резисторов и амперметра, подключённых к источнику постоянного напряжения U указанным на схеме способом. При этом сопротивления резисторов $R_1 = 6$ Ом, $R_2 = 3$ Ом, $R_3 = 3$ Ом, $R_4 = 2$ Ом, а показание амперметра равно 1,0 А. Напряжение U равно ...



Варианты ответа:

- а) 16 В; б) 7 В; в) 8 В; г) 9 В.

12. Через резистор с сопротивлением 6,0 Ом течёт ток силой 5,0 А. Количество теплоты 300 Дж выделится на этом резисторе за время ...

Варианты ответа:

- а) 0,8 с; б) 2 с; в) 4 с; г) 8 с.

13. Три проводника с сопротивлениями 12 Ом, 9 Ом и 3 Ом соединены последовательно. Напряжение на концах цепи 120 В. Найти напряжения на проводнике с сопротивлением 9,0 Ом.

Варианты ответа:

- а) 40 В; б) 15 В; в) 45 В; г) 60 В.

14. Работа по разделению зарядов, совершаемая в батарее за 2 мин, равна 2,4 кДж. Найти внутреннее сопротивление батареи, если она поддерживает напряжение 12 В на лампе мощностью 15 Вт.

Варианты ответа:

- а) 2,0 Ом; б) 2,6 Ом; в) 1,6 Ом; г) 3,2 Ом.

15. Нагреватель сопротивлением 50 Ом за 0,50 ч вскипятит 4,2 кг воды, взятой при 20 °С. Определить падение напряжения на спирали нагревателя, если его КПД равен 80%. Удельная теплоёмкость воды равна 4200 Дж/(кг · К).

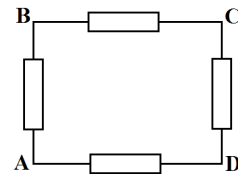
Варианты ответа:

- а) 110 В; б) 240 В; в) 220 В; г) 120 В.

16. Сопротивление каждого резистора равно 2,0 Ом. Эквивалентное сопротивление участка цепи AC равно ...

Варианты ответа:

- а) 2,0 Ом; б) 2,4 Ом; в) 2,6 Ом; г) 1,5 Ом.



17. Контактная разность потенциалов зависит от:

Варианты ответа:

- а) сечения приведённых в контакт металлов;
- б) природы контактируемых металлов;
- в) качества обработки контактов;
- г) температуры контакта.

18. Напряжение – это физическая величина, которая характеризует ...

Варианты ответа:

- а) работу сторонних сил;
- б) работу сил электрического поля;
- в) работу сторонних сил и работу сил электрического поля;
- г) силовую характеристику поля.

19. Электрический ток – это ...

Варианты ответа:

- а) движение заряженных частиц;
- б) направленное движение заряженных частиц;
- в) направленное движение электронов;
- г) направленное движение ионов.

20. Недостатками классической электронной теории являются ...

Варианты ответа:

- а) неполное объяснение закона Ома;
- б) неполное объяснение закона Джоуля-Ленца;
- в) неверная зависимость удельного сопротивления проводников от температуры;
- г) не совпадение теоретических выводов с экспериментальными данными относительно теплоёмкости металлов.

Ответы к тесту по постоянному электрическому току

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
б, в	в, г	г	а, б, в	б	а	а	б	в	б

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
а	б	в	г	в	а	б, г	в	б	в, г

2.5. Разноуровневые задачи [4, 5, 6]

1. Источник тока с ЭДС 1,6 В и внутренним сопротивлением $r=0,8$ Ом замыкается проводником. Определить силу тока и сопротивление проводника, если мощность тока во внешней цепи 0,6 Вт.

Ответ: 1) $I_1=0,5$ А; $R_1=2,4$ Ом; 2) $I_2=1,5$ А; $R_2=0,27$ Ом.

2. Сила тока в проводнике равномерно возрастает от $I_0=0$ до $I=3$ А в течение времени $t=10$ с. Определить заряд, прошедший в проводнике.

Ответ: $q=15$ Кл.

3. Ток в проводнике сопротивлением $R=15$ Ом равномерно возрастает от $I_0=0$ до некоторого максимума в течение времени $t=5$ с. За это время в проводнике выделилось количество теплоты $Q=10$ кДж. Найти среднее значение силы тока в проводнике за этот промежуток времени.

Ответ: $\langle I \rangle = 10$ А.

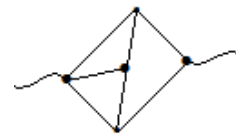
4. Зашунтированный амперметр измеряет токи силой до $I=10$ А. Какую наибольшую силу тока может измерить этот амперметр без шунта, если сопротивление амперметра $R_a=0,02$ Ом и сопротивление шунта $R_{ш}=5$ мОм?

Ответ: $I_{\max}=2$ А.

5. Определить плотность тока в железном проводнике длиной $l=10$ м, если провод находится под напряжением $U=6$ В. $\rho_{ж}=9,0 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

Ответ: $j=6,7 \cdot 10^6$ А/м².

6. Вычислить сопротивление цепи $R_{общ}$ (см. рис.), если сопротивление каждого проводника, заключённого между двумя узлами, $R=1$ Ом.



Ответ: $R_{общ} = \frac{7}{8}R = 0,875$ Ом.

7. Определить число электронов, проходящих в секунду через единицу площади поперечного сечения железной проволоки длиной $l=20$ м при разности потенциалов на её концах $\Delta\phi=16$ В.

Ответ: $\frac{N}{St} = \frac{\Delta\phi}{|e| \rho_{ж} l} = 5,6 \cdot 10^{25}$ м⁻²с⁻¹.

8. При силе тока $I_1=3$ А во внешней цепи батареи выделяется мощность $P_1=18$ Вт, при силе тока $I_2=1$ А выделяется мощность $P_2=10$ Вт. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление r батареи.

Ответ: $\varepsilon=12$ В, $r=2$ Ом.

9. Какой заряд пройдёт по проводнику, если в течение $t=10$ с сопротивление проводника равномерно возросло по линейному закону $R = R_0 + kt$ (k – коэффициент скорости увеличения сопротивления), а разность потенциалов на концах проводника поддерживалась постоянной ($\Delta\varphi = \text{const}$), ток уменьшился от $I_0=10$ А до $I=5$ А.

Ответ: $q = \frac{I_0 I t}{I_0 - I} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = 69 \text{ Кл.}$

10. Сила тока в проводнике сопротивлением $R=20$ Ом нарастает в течение времени $\Delta t=2$ с по линейному закону $I = I_0 + kt$ (k – коэффициент скорости увеличения силы тока) от $I_0=0$ до $I=6$ А. Определить теплоту Q_1 , выделившуюся в этом проводнике за первую секунду, Q_2 – за вторую секунду, а также найти отношение Q_2 / Q_1 .

Ответ: $Q_1=60$ Дж, $Q_2=420$ Дж, $Q_2 / Q_1=7$.

11. Обмотка электрического кипятильника имеет две секции. Если включена первая секция, то вода закипает через $t_1=10$ мин, если вторая, то через $t_2=20$ мин. Через сколько минут закипит вода, если обе секции включить: а) параллельно; б) последовательно?

Ответ: а) $t_{\parallel}=7$ мин, б) $t_{\text{послед}}=30$ мин.

12. Генератор с напряжением на зажимах $U=220$ В передаёт во внешнюю цепь мощность $P=11$ кВт. Какого минимального сечения должны быть медные провода линии передачи длиной $l=50$ м, чтобы потеря напряжения в них не превышала 2% ($\Delta U = 0,02U = IR$) от указанного напряжения?

Ответ: $S = \frac{2l\rho_M P}{0,02U^2} = 18 \text{ мм}^2$.

3. Магнитное поле

3.1. Основные понятия, законы и формулы [1, 2]

Магнитное поле – силовое поле в пространстве, окружающем токи и постоянные магниты. Для исследования магнитного поля используется замкнутый плоский контур с током (рамка с током).

Магнитный момент контура с током

$$\vec{p}_m = IS\vec{n}, \quad (3.1)$$

где I – ток, протекаемый через рамку; S – площадь поверхности контура (рамки); \vec{n} – единичный вектор нормали к поверхности контура.

Вращающий момент (механический момент) сил, действующий на контур с током, помещённый в однородное магнитное поле

$$\vec{M} = [\vec{p}_m, \vec{B}]; \quad M = p_m B \sin \alpha, \quad (3.2)$$

где \vec{p}_m – магнитный момент контура с током; \vec{B} – магнитная индукция; α – угол между нормалью к плоскости контура и вектором \vec{B} .

Магнитная индукция в данной точке однородного магнитного поля определяется максимальным вращающим моментом, действующим на контур с магнитным моментом, равным единице, когда нормаль к контуру перпендикулярна направлению поля:

$$B = \frac{M_{\max}}{p_m}. \quad (3.3)$$

Вектор магнитной индукции \vec{B} характеризует результирующее поле, создаваемое всеми макро- и микротоками. Магнитное поле макротоков описывается вектором напряженности \vec{H} . В случае однородной изотропной среды вектор магнитной индукции определяется как

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}, \quad (3.4)$$

где μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0=4\pi\cdot 10^{-7}$ Гн/м; μ – магнитная проницаемость среды.

Единица магнитной индукции \vec{B} – тесла (Тл). 1 Тл = 1 Н/(А·м). Единица напряжённости магнитного поля \vec{H} – ампер на метр (А/м).

Потенциальная энергия контура с током в магнитном поле

$$W = \vec{p}_m \cdot \vec{B} = -p_m B \cos \alpha, \quad (3.5)$$

где α – угол между векторами \vec{p}_m и \vec{B} . В устойчивом состоянии контур с током ориентирован так, чтобы его магнитный момент был параллелен магнитному полю.

Закон Био-Савара-Лапласа позволяет осуществлять расчёт индукции магнитного поля прямолинейного проводника любой геометрии. Согласно этого закона элемент проводника $d\vec{l}$ с током I создаёт в некоторой точке A индукцию поля

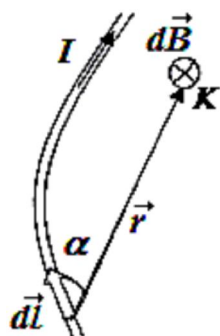


Рис. 3.1

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}, \quad dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \alpha}{r^2}, \quad (3.6)$$

где \vec{r} – радиус-вектор, проведенный от элемента $d\vec{l}$ проводника в точку наблюдения K (рис. 3.1); α –

угол между векторами \vec{r} и $d\vec{l}$.

Закон Био-Савара-Лапласа позволяет рассчитать магнитные поля некоторых простых систем распределения тока:

- *магнитное поле прямолинейного проводника с током* прямо пропорционально току проводника и обратно пропорционально расстоянию от него:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r}, \quad (3.7)$$

где r – расстояние от оси проводника. Направление магнитного поля задают concentric окружности вокруг проводника (правило правой руки, рис. 3.2);

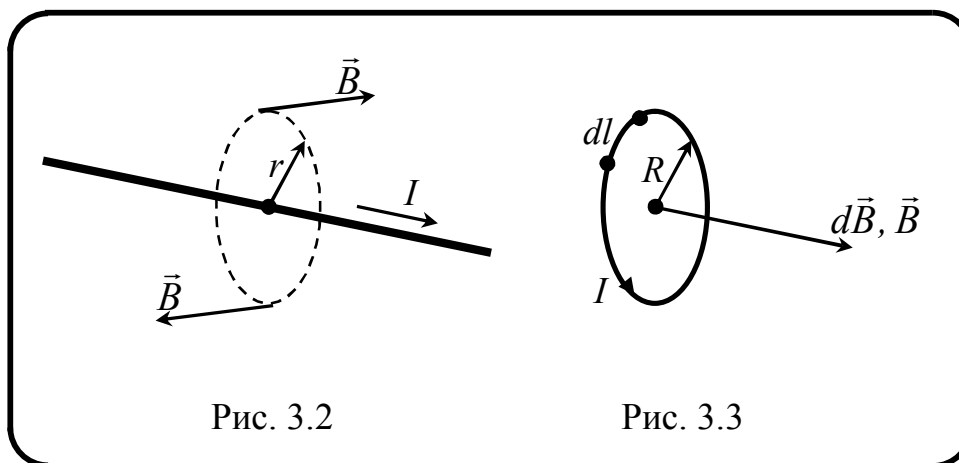


Рис. 3.2

Рис. 3.3

- магнитное поле в центре кругового тока радиусом R (рис. 3.3.) прямо пропорционально току проводника и обратно пропорционально его радиусу:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}; \quad (3.8)$$

- магнитное поле длинной цилиндрической катушки с током (соленоида) в средней его части

$$B = \mu\mu_0 nI, \quad (3.9)$$

где n – число витков на единицу длины соленоида, I – сила тока в его обмотке, μ – магнитная проницаемость вещества внутри соленоида.

Принцип суперпозиции магнитных полей:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i. \quad (3.10)$$

Магнитное поле точечного заряда q , свободно движущегося в вакууме с нерелятивистской скоростью \vec{v} ($\vec{v} = \text{const}$),

$$\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{q[\vec{v}, \vec{r}]}{r^3}, \quad B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{qv}{r^2} \sin \alpha, \quad (3.11)$$

где \vec{r} – радиус-вектор, проведенный от заряда q в точку наблюдения; α – угол между векторами \vec{v} и \vec{r} .

Сила Лоренца – сила, действующая на движущийся в магнитном поле заряд. Вектор силы Лоренца определяется как векторное произведение:

$$\vec{F} = q[\vec{v}, \vec{B}], \quad (3.12)$$

где \vec{B} – индукция магнитного поля, действующего на движущийся со скоростью \vec{v} заряд q .

Модуль силы F определяется скоростью носителей заряда v , величиной заряда q , магнитной индукцией B и углом между вектором скорости частиц \vec{v} и вектором магнитной индукции \vec{B} :

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha. \quad (3.13)$$

Сила Лоренца \vec{F} направлена

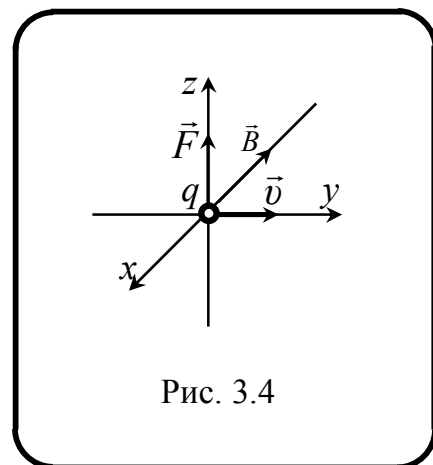


Рис. 3.4

перпендикулярно векторам \vec{B} и \vec{v} (рис. 3.4).

Закон Ампера определяет силу $d\vec{F}$, с которой магнитное поле действует на элемент проводника $d\vec{l}$ с током I :

$$d\vec{F} = I[d\vec{l}, \vec{B}], \quad dF = IBdl \sin \alpha, \quad (3.14)$$

где α – угол между векторами $d\vec{l}$ и \vec{B} . Направление силы Ампера определяется по правилу левой руки: если ладонь левой руки расположить так, чтобы в неё входил вектор \vec{B} , а четыре вытянутых пальца расположить по направлению тока в проводнике, то отогнутый большой палец покажет направление силы Ампера.

Сила взаимодействия двух прямых бесконечно длинных параллельных проводников с токами I_1 и I_2 , находящихся на расстоянии d друг от друга, рассчитанная на единицу длины l проводников, определяется выражением

$$F_{12} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1 I_2}{R} l. \quad (3.15)$$

Проводники с токами одинакового направления притягиваются, с токами разного направления – отталкиваются.

Теорема Гаусса: поток вектора магнитной индукции \vec{B} (магнитный поток) через произвольную замкнутую поверхность S равен нулю

$$\Phi_B = \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0. \quad (3.16)$$

Это связано с отсутствием в природе магнитных зарядов (магнитных монополей).

Закон полного тока (теорема о циркуляции): циркуляция вектора \vec{B} вдоль произвольного замкнутого контура, охватывающего токи I_i ($i = 1, \dots, n$), определяется соотношением

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu\mu_0 \sum_{i=1}^n I_i. \quad (3.17)$$

Данное соотношение является математической формулировкой того факта, что магнитное поле имеет вихревой характер: оно создается токами (движущимися электрическими зарядами) так, что силовые линии охватывают эти токи.

Магнитный поток Φ через замкнутый контур равен произведению магнитной индукции поля B на площадь поперечного сечения контура S и косинус угла α между вектором магнитной индукции и нормалью к поверхности контура:

$$\Phi = BS \cos \alpha. \quad (3.18)$$

Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле равна произведению силы тока на магнитный поток, пересеченный движущимся проводником:

$$dA = Id\Phi. \quad (3.19)$$

Работа по перемещению контура с током в магнитном поле равна произведению силы тока в контуре на изменение магнитного потока, сцепленного с контуром:

$$A = I(\Phi_2 - \Phi_1) = I\Delta\Phi. \quad (3.20)$$

Магнетики – вещества, способные под действием магнитного поля приобретать магнитный момент, т. е. намагничиваться. Всякое вещество является магнетиком. Магнетики, помещённые в магнитное поле напряжённостью \vec{H} , из-за взаимодействия магнитного поля с электронами вещества изменяют магнитную индукцию \vec{B} . Изменение магнитной индукции при внесении магнетика в поле зависит от свойств вещества.

Намагниченность – векторная физическая величина, определяемая магнитным моментом единицы объёма магнетика:

$$\vec{J} = \frac{\vec{P}}{V} = \frac{\sum \vec{p}_m}{V}, \quad (3.21)$$

где $\vec{P} = \sum \vec{p}_m$ – магнитный момент магнетика, равный векторной сумме магнитных моментов отдельных молекул.

Относительная магнитная проницаемость μ равна отношению магнитной индукции B в веществе к магнитной индукции в вакууме B_0 при одинаковых напряжённостях магнитных полей H :

$$\mu = \frac{B}{B_0}, \quad (3.22)$$

где μ – безразмерная величина, зависящая от материала вещества. Относительная магнитная проницаемость вакуума $\mu=1$.

Магнитная восприимчивость χ связана с относительной магнитной проницаемостью выражением

$$\chi = \mu - 1. \quad (3.23)$$

Вектор намагниченности (магнитной поляризации) \vec{J} и вектор напряжённости магнитного поля \vec{H} имеют одинаковое направление. В слабых магнитных полях связь намагниченности \vec{J} с напряжённостью \vec{H} магнитного поля в магнетике линейная:

$$\vec{J} = \chi \mu_0 \vec{H}, \quad (3.24)$$

где χ – магнитная восприимчивость, μ_0 – магнитная постоянная.

Магнетики делят на три вида:

- *парамагнетики* – вещества, молекулы которых обладают магнитными моментами, ориентированными беспорядочно, поэтому парамагнитные вещества магнитными свойствами не обладают. При внесении парамагнетика во внешнее магнитное поле магнитные моменты молекул ориентируются по направлению внешнего поля и усиливают его. Этот эффект называется парамагнитным. К парамагнетикам относятся редкоземельные элементы: Pt, Al, O₂, W, Sn и др. Относительная магнитная проницаемость парамагнетиков больше единицы, магнитная восприимчивость положительна ($\mu > 1$, $10^{-6} < \chi < 10^{-3}$).

- *диамагнетики* – вещества, молекулы которых не обладают магнитным моментом. При внесении диамагнетика во внешнее магнитное поле в нём индуцируются элементарные круговые токи, которые создают магнитное поле, противоположное внешнему. Это приводит к ослаблению поля в веществе. Этот эффект называется диамагнитным, а вещества, намагничивающиеся во внешнем магнитном поле против направления поля – диамагнетиками. К диамагнетикам относятся многие металлы (например, Bi, Ag, Au, Cu, H₂), большинство органических соединений, смолы, углерод. Относительная магнитная проницаемость диамагнитных веществ меньше единицы, магнитная восприимчивость отрицательна ($\mu < 1$, $-10^{-4} < \chi < -10^{-7}$).

- *ферромагнетики* – вещества, обладающие спонтанной (самопроизвольной) намагниченностью. Ферромагнетики намагничиваются даже в отсутствии внешнего магнитного поля.

К ним относятся: Fe, Co, Ni, их сплавы и т. д. Относительная магнитная проницаемость ферромагнетиков зависит от напряжённости магнитного поля и представляет собой величину много большую единицы, магнитная восприимчивость ферромагнетиков положительна ($\mu \gg 1$, $\chi > 0$).

Зависимости намагниченности J от напряжённости магнитного поля H для слабомагнитных веществ – диа- и парамагнетиков и сильномагнитных веществ – ферромагнетиков представлены на рис. 3.5. В отличие от слабомагнитных веществ, для которых зависимость J от H линейна, для ферромагнетиков эта зависимость сложная: сначала с возрастанием H намагниченность J растёт быстро, а затем медленнее, достигая магнитного насыщения $J_{нас}$.

Петля гистерезиса – это кривая намагничивания ферромагнитных веществ (рис. 3.6). Площадь петли гистерезиса равна энергии намагничивания, которая необходима для упорядочивания магнитных доменов. Магнитотвёрдое вещество имеет широкую, а магнитомягкое узкую петлю гистерезиса. Из магнитотвёрдых веществ изготавливают постоянные магниты, а магнитомягкие вещества используются для изготовления сердечников трансформаторов.

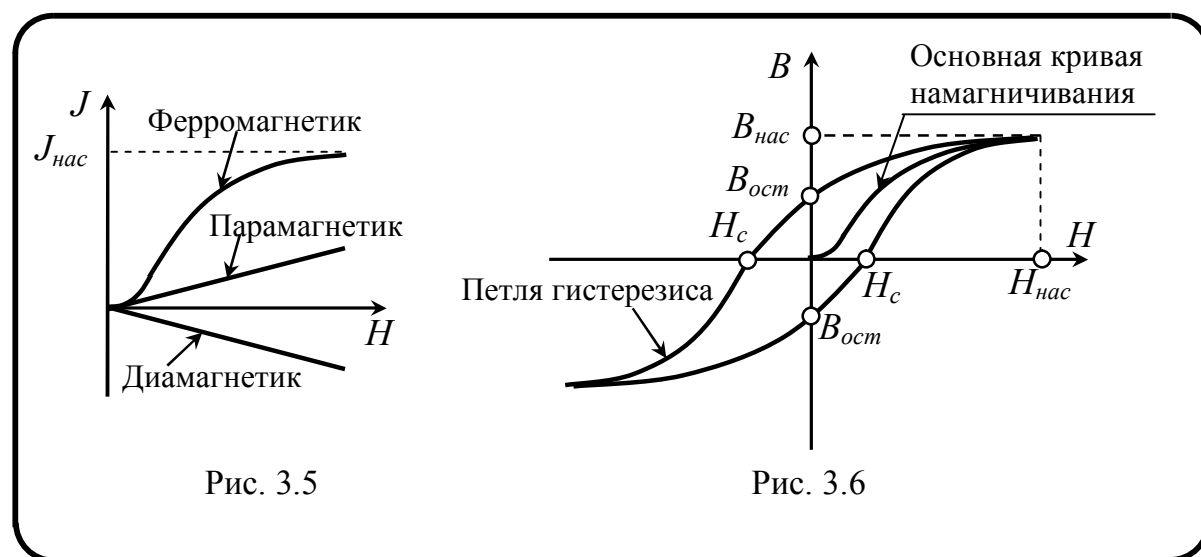


Рис. 3.5

Рис. 3.6

Основная кривая намагничивания – это кривая первоначального намагничивания. В случае отсутствия магнитного поля H магнитная индукция B равна нулю. При увеличении напряжённости магнитного поля B - H -диаграмма проходит значения основной кривой намагничивания (см. рис. 3.6).

Индукцией насыщения $B_{нас}$ (см. рис. 3.6) называется магнитная индукция, при которой все магнитные моменты ферромагнетика упорядочены. При увеличении магнитного поля через точку насыщения магнитная индукция изменяется пропорционально напряжённости поля.

Остаточной магнитной индукцией $B_{ост}$ (см. рис. 3.6) называется магнитная индукция при выключении внешнего магнитного поля.

Коэрцитивная сила H_c – величина противодействующего поля, которое нужно приложить к ферромагнетiku для его размагничивания. Для магнитомягких веществ коэрцитивная сила H_c лежит в пределах от 0,1 А/м до 10^3 А/м, для магнитотвёрдых веществ – от 10^3 А/м до 10^7 А/м.

Точка Кюри – это определённая температура, имеющаяся для каждого ферромагнетика, при которой он теряет свои магнитные свойства. При нагревании образца выше точки Кюри ферромагнетик превращается в обычный парамагнетик. Температура Кюри для некоторых ферромагнетиков: Fe – 1042 К, Co – 1400 К, Ni – 631 К.

Закон Фарадея (закон электромагнитной индукции) – ЭДС электромагнитной индукции в контуре численно равна и противоположна по знаку произведению скорости изменения потока магнитной индукции Φ во времени на число витков N контура:

$$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt}. \quad (3.25)$$

Потокосцепление Ψ – сумма всех магнитных потоков, сцеплённых с каждым витком контура (в случае, если витки контура разной площади), или произведение числа витков контура на магнитный проток через один виток:

$$\Psi = \sum_{i=1}^N \Phi_i = N\Phi_1. \quad (3.26)$$

где N – число витков в контуре, Φ_1 – магнитный поток через один виток контура.

Индукция в постоянном магнитном поле происходит за счет движения проводника в постоянном магнитном поле \vec{B} :

$$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N \frac{d\vec{S}}{dt} \cdot \vec{B}. \quad (3.27)$$

Индукция в переменном магнитном поле происходит за счет изменения магнитного потока, вызванного изменением магнитного поля $d\vec{B}$:

$$\varepsilon_i = -N \frac{d\vec{B}}{dt} \vec{S}, \quad (3.28)$$

где S – площадь проводника (контура).

Правило Ленца: индукционный ток в контуре имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле противодействует изменению магнитного потока, пронизывающего контур.

Вихревые токи (токи Фуко) – это токи, индуцированные в массивных сплошных проводниках, помещенных в переменное магнитное поле. Линии этого тока образуют замкнутые вихревые линии. Токи Фуко также подчиняются *правилу Ленца*.

Самоиндукция – изменение тока I в контуре из n витков, приводящее к изменению магнитного потока через контур:

$$\Phi = LI \quad (3.29)$$

и возникновению индуцированного в контуре напряжения (ЭДС самоиндукции):

$$\varepsilon_s = -\frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(LI)}{dt} = -L \cdot \frac{dI}{dt}, \quad (3.30)$$

где L – коэффициент пропорциональности или индуктивность контура. Формула (3.30) справедлива, если контур не меняет свою геометрическую конфигурацию и индуктивность не зависит от тока. Индуктивность контура в общем случае зависит только от геометрической формы контура, его размеров и магнитной проницаемости той среды, в которой он находится.

Включение элементов, обладающих индуктивностью:

- *последовательное*

$$L_{\text{общ}} = L_1 + L_2 + \dots + L_n = \sum_{i=1}^n L_i. \quad (3.31)$$

- *параллельное*

$$\frac{1}{L_{\text{общ}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i}. \quad (3.32)$$

Индуктивность соленоида:

$$L = \mu\mu_0 \frac{n^2 S}{l}, \quad (3.33)$$

где μ_0 – магнитная постоянная; μ – магнитная проницаемость сердечника; n – число витков соленоида; S – площадь сечения соленоида.

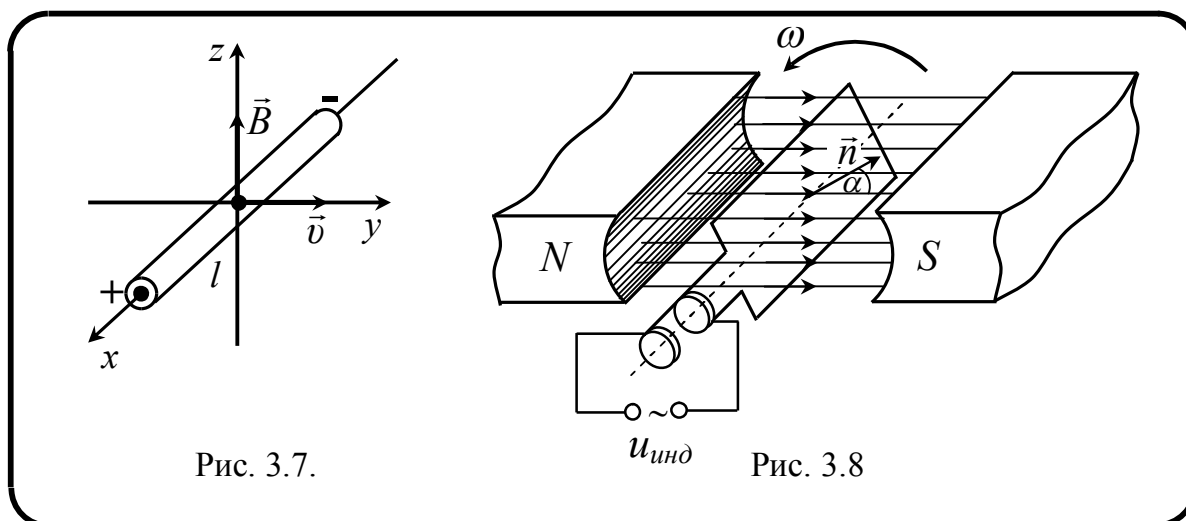
Движение проводников в магнитном поле:

- *линейное движение проводников* в магнитном поле (рис. 3.7):
при линейном движении проводника длиной l , движущегося со скоростью \vec{v} в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} на концах проводника возникает разность потенциалов $\Delta\phi$ (рис. 3.7):

$$\Delta\phi = Blv \cdot \sin \alpha, \quad (3.34)$$

где α – угол между \vec{B} и \vec{v} .

- *вращательное движение проводников* в магнитном поле (рис. 3.8):



при вращении рамки, содержащей n витков площадью S , с угловой скоростью ω в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} в контуре рамки возникает индуцированное напряжение $u_{\text{инд}}$ (ЭДС индукции):

$$u_{\text{инд}} = BnS\omega \cos \alpha = BnS \cos \omega t, \quad (3.35)$$

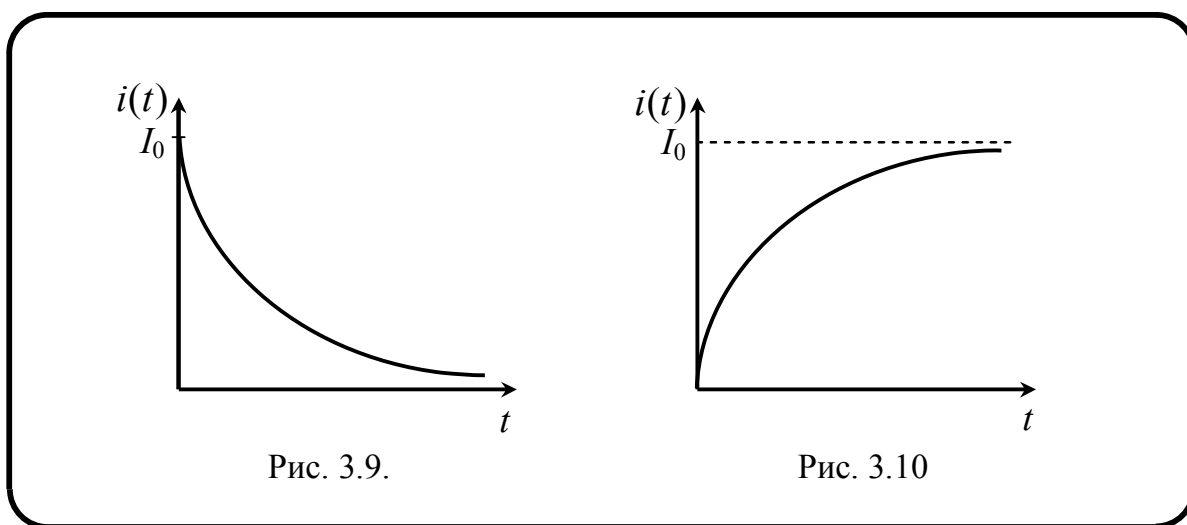
где $\alpha = \omega t$ – мгновенное значение угла между вектором \vec{B} и вектором нормали \vec{n} к плоскости рамки.

Заряд, протекающий в контуре при изменении потокосцепления (магнитного потока):

$$q = \frac{|\Delta\Psi|}{R}, \quad (3.36)$$

где R – сопротивление контура.

Токи при размыкании и замыкании цепи (экстратоки самоиндукции) – дополнительные токи за счет возникновения напряжения (ЭДС) ε_s самоиндукции при всяком изменении силы тока в цепи. Они направлены противоположно току, создаваемому источником:



- ток после размыкания цепи (рис. 3.9)

$$i(t) = I_0 e^{-t/\tau}, \quad (3.38)$$

где $I_0 = \varepsilon_s/R$ – значение тока в цепи при $t = 0$; $\tau = R/L$ – время релаксации, т. е. время за которое сила тока уменьшается в e раз;

- ток замыкания в цепи, обладающей активным сопротивлением R и индуктивностью L (рис. 3.10):

$$i(t) = I_0 (1 - e^{-t/\tau}), \quad (3.39)$$

где $I_0 = \varepsilon_s/R$ – установившийся ток в цепи при $t \rightarrow \infty$; $\tau = R/L$ – время релаксации, т. е. время за которое сила тока уменьшается в e раз.

Энергия W магнитного поля, создаваемого током I в замкнутом контуре с индуктивностью L пропорциональна квадрату силы тока в контуре:

$$W = \frac{1}{2} LI^2. \quad (3.40)$$

Энергия магнитного поля соленоида

$$W = \frac{B^2}{2\mu_0\mu} V = \frac{B \cdot H}{2} V, \quad (3.41)$$

где B и H – индукция и напряжённость магнитного поля соленоида; V – объём соленоида.

Плотность энергии магнитного поля (объёмная плотность) равна магнитной энергии ΔW поля, отнесённой к объёму ΔV :

$$w = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta V} = \frac{dW}{dV}. \quad (3.42)$$

Объёмная плотность энергии, заключённой в объёме соленоида,

$$w = \frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \frac{B \cdot H}{2}. \quad (3.43)$$

Первое уравнение Максвелла. Электрическое поле – это поле заряда, т. е. существуют источники поля. Электрический ток через замкнутую поверхность S равен заряду в занимаемом объёме:

$$q = \int_V \rho dV = \varepsilon\varepsilon_0 \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S}, \quad (3.44)$$

где ρ – объёмная плотность заряда; \vec{E} и \vec{D} – векторы напряжённости и диэлектрического смещения электрического поля.

Второе уравнение Максвелла. В природе магнитные заряды отсутствуют, т. е. магнитное поле не имеет источников. Общий магнитный поток через замкнутую поверхность S равен нулю:

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0. \quad (3.45)$$

Третье уравнение Максвелла. Из закона электромагнитной индукции следует, что при изменении магнитного потока через контур проводника на концах контура образуется напряжение. Если концы проводника замкнуть, то по нему потечёт ток. Закон электромагнитной индукции может быть записан в общей форме:

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}. \quad (3.46)$$

Изменение во времени магнитной индукции \vec{B} , проинтегрированное по поверхности \vec{S} , равно интегралу напряжённости электрического поля \vec{E} вдоль замкнутого контура L , в котором заключена эта поверхность.

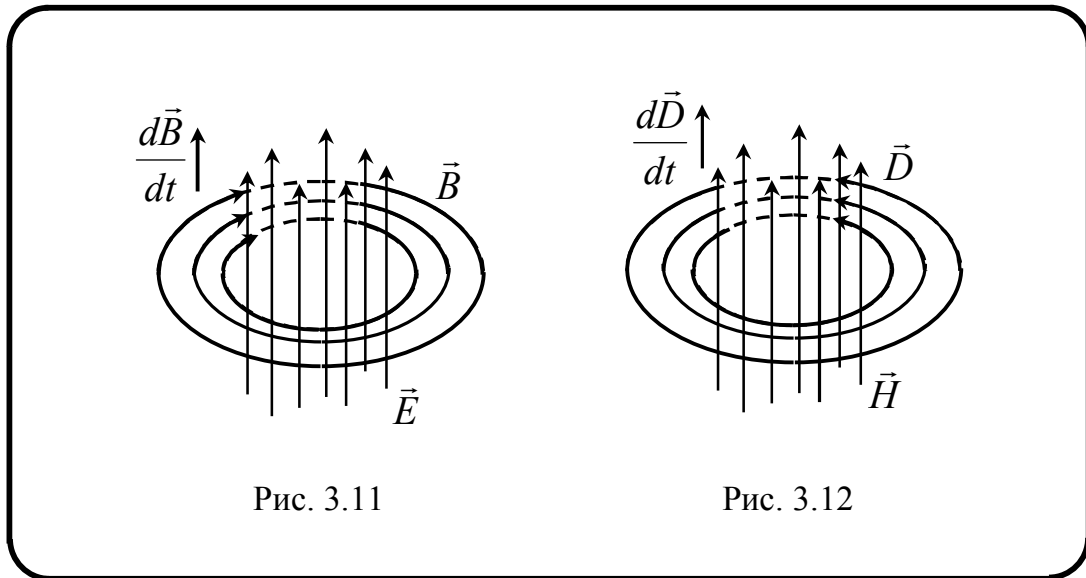


Рис. 3.11

Рис. 3.12

Следствие: любое переменное во времени магнитное поле порождает вихревое электрическое поле (рис. 3.11).

Четвёртое уравнение Максвелла получено введением тока смещения:

$$I + \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot d\vec{S} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S} = \oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l}. \quad (3.47)$$

Следствие: любое переменное во времени электрическое поле порождает магнитное поле (рис. 3.12).

Величины, входящие в уравнения Максвелла, не являются независимыми и связаны следующим образом:

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}, \quad \vec{j} = \sigma \vec{E}, \quad (3.48)$$

где σ – электропроводность.

В табл. 3.1 приведены уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах, а также их физический смысл.

Уравнения Максвелла в различной форме

Физический смысл	Интегральная форма	Дифференциальная форма
Отсутствие источников магнитного поля	$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$	$\operatorname{div} \vec{B} = 0$
Электрическое смещение через поверхность равно заключённому внутри поверхности заряду	$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = q$	$\operatorname{div} \vec{D} = \rho$
Закон Фарадея или закон электромагнитной индукции: переменное во времени магнитное поле порождает электрическое поле	$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$	$\operatorname{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
Закон Ампера, дополненный Максвеллом: переменное во времени электрическое поле порождает магнитное поле	$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = I + \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}$	$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

В 1880 г. Э. Холл (США) обнаружил явление, получившее название **эффекта Холла**. Суть эффекта состоит в следующем. Если металлическую пластину, по которой течёт ток, поместить в магнитное поле, перпендикулярное току, то в пластине возникнет поперечная току разность потенциалов:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = R \frac{I}{b} B, \quad (3.49)$$

где I – сила тока в пластине, B – модуль индукции магнитного поля, b – размер пластины в направлении магнитного поля, R – коэффициент Холла – константа, модуль которой равен модулю разности потенциалов, возникающей в пластине единичной ширины при единичном токе и единичной индукции магнитного поля.

Появление в пластине разности потенциалов означает появление в ней сторонних сил. В явлении Холла эту роль играет сила Лоренца.

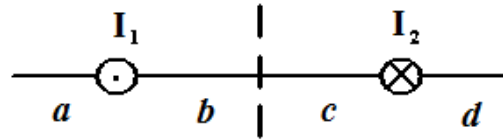
Коэффициент Холла равен

$$R = \frac{1}{nq}, \quad (3.50)$$

где n – концентрация носителей заряда, q – заряд носителя тока.

3.2. Тестовые задачи для контроля знаний [4, 5, 6, 7]

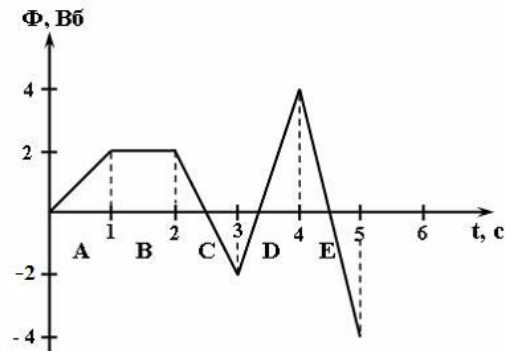
1. На рисунке изображены сечения двух параллельных прямолинейных длинных проводников с противоположно направленными токами, причем $I_1 = 2I_2$. Индукция \vec{B} магнитного поля равна нулю в некоторой точке участка ...



Варианты ответа:

- а) a ; б) b ; в) c ; г) d .

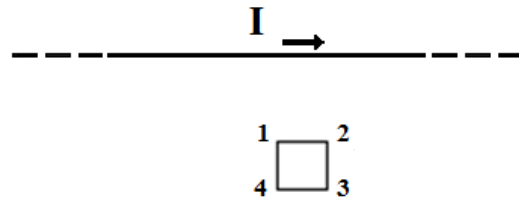
2. На рисунке представлена зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый замкнутый контур, от времени. ЭДС индукции в контуре не возникает на интервале...



Варианты ответа:

- а) B ; б) A ; в) C ; г) D ; д) E .

3. На рисунке показан длинный проводник с током, около которого находится небольшая проводящая рамка. При выключении в проводнике тока заданного направления, в рамке ...



Варианты ответа:

- а) индукционный ток не появляется;
 б) появится индукционный ток в направлении 4-3-2-1;
 в) появится индукционный ток в направлении 1-2-3-4.

4. В магнитном поле, изменяющемся по закону $B = 0,1 \cos 4\pi t$, помещена квадратная рамка со стороной $a = 10$ см. Нормаль к рамке

совпадает с направлением изменения поля. ЭДС индукции, возникающая в рамке, изменяется по закону ...

Варианты ответа:

- а) $\varepsilon_i = 0,001 \sin 4\pi t$; б) $\varepsilon_i = -0,001 \sin 4\pi t$;
в) $\varepsilon_i = -4\pi \cdot 10^{-3} \sin 4\pi t$; г) $\varepsilon_i = 4\pi \cdot 10^{-3} \sin 4\pi t$.

5. Уравнения Максвелла в интегральной форме имеют вид:

1) $\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$;

2) $\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$;

3) $\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV$;

4) $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$.

Первое уравнение Максвелла сформулировано на основе обобщения ...

Варианты ответа:

- а) закона полного тока в среде;
б) закона электромагнитной индукции;
в) теоремы для потока вектора электрического смещения через замкнутую поверхность в среде;
г) теоремы для потока вектора магнитной индукции через замкнутую поверхность.

6. Величина возникающей в контуре ЭДС самоиндукции зависит от ...

Варианты ответа:

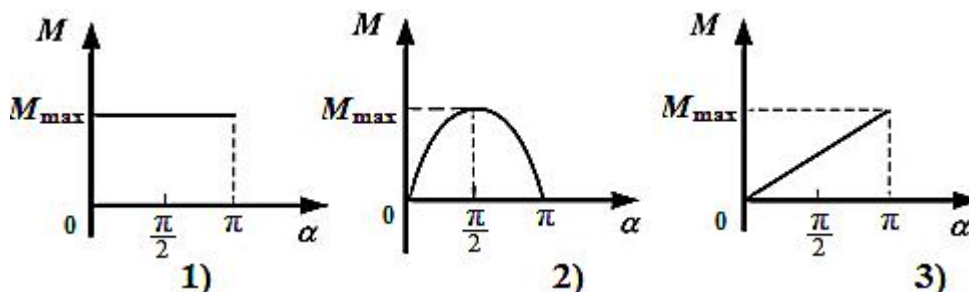
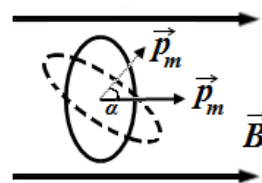
- а) сопротивления контура;
б) индуктивности контура;
в) силы тока в контуре;
г) скорости изменения тока в контуре.

7. При помещении диамагнетика в стационарное магнитное поле ...

Варианты ответа:

- а) у атомов индуцируются магнитные моменты, вектор намагниченности образца направлен против направления внешнего поля;
- б) происходит ориентирование имеющихся магнитных моментов атомов, вектор намагниченности образца направлен против направления внешнего поля;
- в) у атомов индуцируются магнитные моменты, вектор намагниченности образца направлен по направлению внешнего поля;
- г) происходит ориентирование имеющихся магнитных моментов атомов, вектор намагниченности образца направлен по направлению внешнего поля.

8. Рамка с током (сплошная линия), имеющая магнитный момент \vec{p}_m , ориентирована по отношению к внешнему однородному полю с индукцией \vec{B} , как показано на рисунке. График зависимости величины момента внешней механической силы, медленно поворачивающей рамку с постоянной угловой скоростью на угол 180° , от угла поворота α имеет вид, представленный на рисунке ...



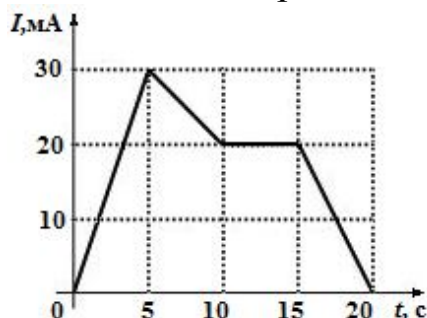
Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3.

9. На рисунке показана зависимость силы тока от времени в электрической цепи с индуктивностью 1 мГн. Модуль среднего значения ЭДС самоиндукции на интервале от 15 до 20 с равен ...

Варианты ответа:

- а) 4 мкВ; б) 20 мкВ; в) 10 мкВ; г) 0.



10. Уравнения Максвелла, являющиеся основными законами классической макроскопической электродинамики, в интегральной форме имеют вид:

$$1) \oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S};$$

$$2) \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S};$$

$$3) \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV;$$

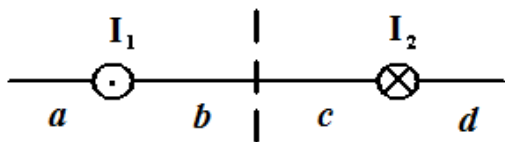
$$4) \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0.$$

Второе уравнение Максвелла сформулировано на основе обобщения ...

Варианты ответа:

- а) закона электромагнитной индукции;
- б) теоремы для потока вектора электрического смещения через замкнутую поверхность в среде;
- в) закона полного тока в среде;
- г) теоремы для потока вектора магнитной индукции через замкнутую поверхность.

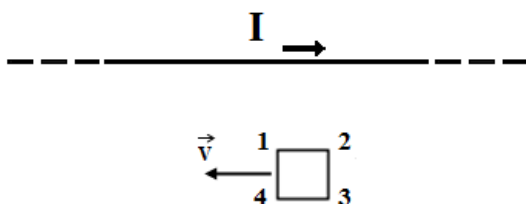
11. На рисунке изображены сечения двух параллельных прямолинейных длинных проводников с противоположно направленными токами, причём $I_2 = 2I_1$. Индукция \vec{B} результирующего магнитного поля равна нулю в некоторой точке интервала ...



Варианты ответа:

- а) a ;
- б) b ;
- в) c ;
- г) d .

12. На рисунке показан длинный проводник с током, около которого находится небольшая проводящая рамка. При движении рамки параллельно проводнику со скоростью \vec{v} , в рамке ...



Варианты ответа:

- а) индукционного тока не возникает;
- б) возникнет индукционный ток в направлении 4-3-2-1;
- в) возникнет индукционный ток в направлении 1-2-3-4.

13. Полная система уравнений Максвелла для электромагнитного поля имеет вид:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}; \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV; \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0.$$

Следующая система уравнений:

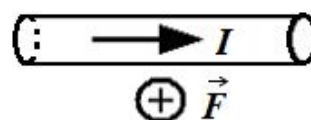
$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = 0; \quad \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \vec{j} d\vec{S}; \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV; \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

справедлива для ...

Варианты ответа:

- а) переменного электромагнитного поля при наличии заряженных тел и токов проводимости;
- б) стационарного электромагнитного поля в отсутствие токов проводимости;
- в) стационарного электромагнитного поля в отсутствие заряженных тел;
- г) стационарных электрических и магнитных полей.

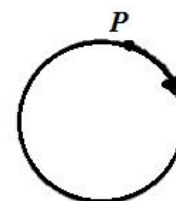
14. В однородном магнитном поле на горизонтальный проводник с током, направленным вправо, действует сила Ампера, направленная перпендикулярно плоскости рисунка от наблюдателя. При этом линии магнитной индукции поля направлены ...



Варианты ответа:

- а) влево;
- б) вверх;
- в) вправо;
- г) вниз.

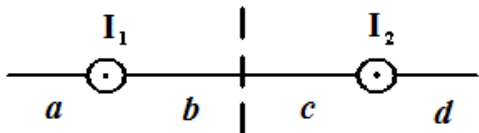
15. Траектория движения протона в однородном магнитном поле представляет собой окружность, расположенную в плоскости рисунка. Если протон вращается по часовой стрелке, то линии магнитной индукции поля направлены ...



Варианты ответа:

- а) к нам; б) вправо; в) влево; г) от нас.

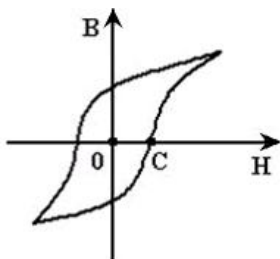
16. На рисунке изображены сечения двух параллельных прямолинейных длинных проводников с одинаково направленными токами, причём $I_1 < I_2$. Индукция \vec{B} результирующего магнитного поля равна нулю в некоторой точке интервала ...



Варианты ответа:

- а) a ; б) b ; в) c ; г) d .

17. На рисунке показана зависимость проекции вектора индукции магнитного поля B в ферромагнетике от напряжённости H внешнего магнитного поля. Участок OC соответствует ...



Варианты ответа:

- а) коэрцитивной силе ферромагнетика;
б) остаточной намагничённости ферромагнетика;
в) остаточной магнитной индукции ферромагнетика;
г) магнитной индукции насыщения ферромагнетика.

18. Утверждение «В любой точке пространства изменяющееся магнитное поле возбуждает вихревое электрическое поле» раскрывает физический смысл уравнений ...

$$1) \oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad 2) \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad 3) \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \sum_{i=1}^n I_i.$$

Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3.

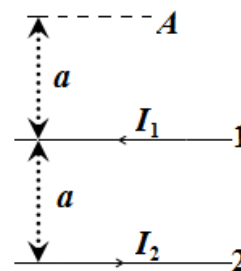
19. Сила тока, протекающего в катушке, изменяется по закону $I = 5 \sin 10\pi t$. Если индуктивность катушки $L = 0,2$ Гн, то мгновенное

значение магнитного потока, пронизывающего катушку в момент времени $t = 50$ мс, равно ...

Варианты ответа:

- а) 5 Вб; б) 0; в) 1 Вб; г) –1 Вб.

20. Два бесконечно длинных параллельных проводника с токами $I_1 = I$ и $I_2 = 2I$ расположены на расстоянии a друг от друга. Если индукция магнитного поля, созданного вторым проводником, в точке $A = 0,06$ Тл, то индукция результирующего поля в этой точке равна ...



Варианты ответа:

- а) 0,24 Тл; б) 0; в) 0,18 Тл; г) 0,12 Тл.

21. Вещество является однородным изотропным парамагнетиком, если ...

Варианты ответа:

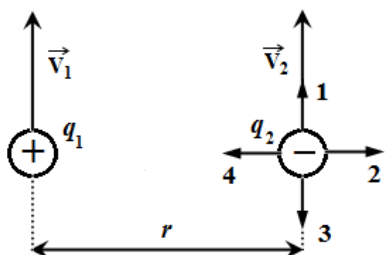
- а) магнитная восприимчивость мала, вектор намагниченности направлен в сторону, противоположную направлению вектора напряжённости магнитного поля;
- б) магнитная восприимчивость много больше единицы ($\sim 10^3$), вектор намагниченности направлен в сторону, противоположную направлению вектора напряжённости магнитного поля;
- в) магнитная восприимчивость мала, вектор намагниченности направлен в ту же сторону, что и вектор напряжённости магнитного поля;
- г) магнитная восприимчивость много больше единицы ($\sim 10^3$), вектор намагниченности направлен в ту же сторону, что и вектор напряжённости магнитного поля.

22. Физический смысл уравнения $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$ заключается в том, что оно описывает ...

Варианты ответа:

- а) отсутствие магнитных зарядов;
- б) явление электромагнитной индукции;
- в) отсутствие электрического поля;
- г) отсутствие тока смещения.

23. Два заряда q_1 и q_2 движутся параллельно друг другу на расстоянии r друг от друга. Вектор магнитной составляющей силы, действующей на второй заряд со стороны первого заряда, совпадает по направлению с вектором ...



Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

24. Контур площадью $S=10^{-2}$ м² расположен перпендикулярно к линиям магнитной индукции. Магнитная индукция изменяется по закону $B = (2 + 5t^2) \cdot 10^{-2}$. Модуль ЭДС индукции, возникающей в контуре, изменяется по закону ...

Варианты ответа:

- а) $\varepsilon_i = (2 + 5t^2) \cdot 10^{-4}$; б) $\varepsilon_i = 10^{-2} t$; в) $\varepsilon_i = 10^{-3} t$.

25. Явление гистерезиса, то есть запаздывания изменения вектора индукции магнитного поля в веществе от изменения напряжённости магнитного поля, имеет место в ...

Варианты ответа:

- а) парамагнетиках; б) любых магнетиках;
- в) диамагнетиках; г) ферромагнетиках.

26. Пять веществ имеют различные относительные магнитные проницаемости μ . Диамагнетиком среди этих веществ является вещество с магнитной проницаемостью ...

Варианты ответа:

- а) $\mu=1,00023$; б) $\mu=0,9998$; в) $\mu=1$; г) $\mu=100$.

27. Полная система уравнений Максвелла для электромагнитного поля имеет вид:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}; \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV; \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0.$$

Следующая система уравнений:

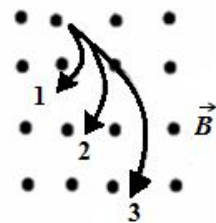
$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}; \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = 0; \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

справедлива для переменного электромагнитного поля ...

Варианты ответа:

- а) в отсутствие заряженных тел;
- б) в отсутствие токов проводимости;
- в) при наличии заряженных тел и токов проводимости;
- г) в отсутствие заряженных тел и токов проводимости.

28. Ионы, имеющие одинаковые удельные заряды, влетают в однородное магнитное поле. Их траектории приведены на рисунке. Наименьшую скорость имеет ион, движущийся по траектории ...



Варианты ответа:

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3.

29. За время $\Delta t=0,5$ с на концах катушки наводится ЭДС самоиндукции $\varepsilon_s=25$ В. Если при этом сила тока в цепи изменилась от $I_1=10$ А до $I_2=5$ А, то индуктивность катушки равна ...

Варианты ответа:

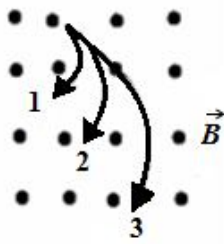
- а) 25 Гн;
- б) 0,25 Гн;
- в) 2,5 Гн;
- г) 0,025 Гн.

30. Уравнение Максвелла, описывающее отсутствие в природе магнитных зарядов, имеет вид ...

Варианты ответа:

- а) $\oint_L \vec{E} d\vec{l} = 0;$
- б) $\oint_S \vec{E} d\vec{S} = 0;$
- в) $\oint_L \vec{B} d\vec{l} = 0;$
- г) $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0.$

31. Ионы, имеющие одинаковые скорости, но разные удельные заряды, влетают в однородное магнитное поле. Их траектории приведены на рисунке. Величина наименьшего удельного заряда соответствует траектории ...



Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3.

32. Полная система уравнений Максвелла для электромагнитного поля имеет вид:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{\ell} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_L \vec{H} d\vec{\ell} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}; \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV; \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0.$$

Следующая система уравнений:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{\ell} = 0; \quad \oint_L \vec{H} d\vec{\ell} = 0; \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV; \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

справедлива для

Варианты ответа:

- а) переменного электромагнитного поля в отсутствие токов проводимости;
 б) стационарного электрического поля в отсутствие токов проводимости;
 в) стационарного электрического поля в отсутствие заряженных тел;
 г) стационарного электромагнитного поля в отсутствие токов проводимости.

33. В двух бесконечно длинных параллельных проводниках силы тока равны по 2,5 А. Токи имеют одинаковое направление. Вычислить магнитную индукцию поля в точке, которая расположена на расстоянии 40 см от одного проводника и 30 см от другого. Расстояние между ними 50 см.

Варианты ответа:

34. Электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов 500 В, попал в вакууме в однородное магнитное поле и движется по окружности радиусом 10 см. Определить модуль магнитной

индукции, если скорость электрона перпендикулярна силовым линиям поля.

Варианты ответа:

35. Два параллельных проводника с одинаковыми по силе токами находятся на расстоянии 8,7 см друг от друга и притягиваются с силой $2,5 \cdot 10^{-2}$ Н. Определить силу тока в проводниках, если длина каждого из них 320 см, а токи направлены в одну сторону.

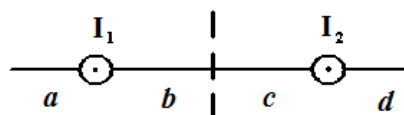
Варианты ответа:

36. Соленоид без сердечника с однослойной обмоткой из проволоки диаметром 0,4 м имеет длину 0,5 м и поперечное сечение 60 см^2 . За какое время при напряжении 10 В и силе тока 1,5 А в обмотке выделится количество теплоты, равное энергии поля внутри соленоида?

Варианты ответа:

3.3. Примеры решения тестовых задач [3, 7]

1. На рисунке изображены сечения двух параллельных прямолинейных длинных проводников с одинаково направленными токами, причем $I_1 > I_2$. Индукция \vec{B} результирующего магнитного поля равна нулю в некоторой точке интервала ...



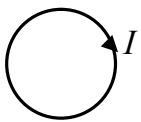
Решение

Линии магнитной индукции прямолинейных длинных проводников с токами I_1 и I_2 представляют собой концентрические окружности, плоскости которых перпендикулярны проводникам, а центры лежат на их осях. Направление этих линий определяют правилом правого винта: направление вращения винта даёт направление силовой линии магнитной индукции, если поступательное движение винта соответствует направлению тока в проводнике. Направление векторов магнитной индукции \vec{B}_1 и \vec{B}_2 в некоторых точках интервалов a , b , c , d совпадают с касательными

линий магнитной индукции в этих точках поля. Индукция \vec{B} результирующего поля определяется по принципу суперпозиции $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$ и равна нулю, если векторы \vec{B}_1 и \vec{B}_2 противоположно направлены и равны по модулю $\vec{B}_1 = -\vec{B}_2$. Это может быть только в интервалах b и c . Поскольку магнитная индукция прямолинейного длинного проводника с током вычисляется по формуле $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$, то модули векторов \vec{B}_1 и \vec{B}_2 равны $\frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_1} = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_2}$ при силе токов в проводниках $I_1 > I_2$, если расстояния от проводников до точки $r_1 < r_2$. Следовательно, индукция \vec{B} результирующего поля равна нулю в некоторой точке интервала c .

Ответ: c .

2. Сила тока в проводящем круговом контуре индуктивностью 100 мГн изменяется с течением времени по закону $I = (2 + 0,3t)$ (в единицах СИ). Абсолютная величина ЭДС самоиндукции равна ___; при этом индукционный ток направлен ...



Решение

ЭДС самоиндукции, возникающая в контуре при изменении в нём силы тока I , определяется по формуле: $\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$, где L – индуктивность контура. Знак минус в формуле находится в соответствии с правилом Ленца: индукционный ток направлен так, что противодействует изменению тока в цепи: замедляет его возрастание или убывание. Таким образом, ЭДС самоиндукции равна

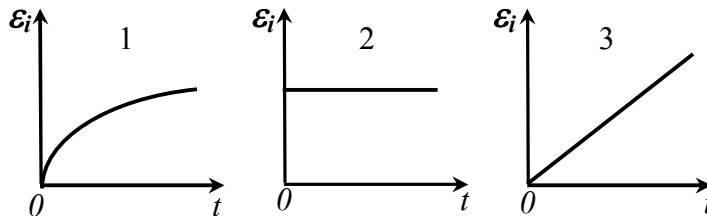
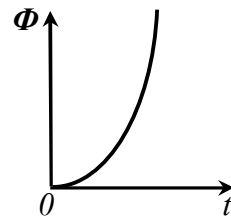
$$\varepsilon_{si} = -L \frac{dI}{dt} = -L \frac{d}{dt}(2 + 0,3t) = -0,1 \cdot 0,3 = -0,03 \text{ В.}$$

Абсолютная величина ЭДС самоиндукции равна 0,03 В. Индукционный ток направлен против часовой стрелки. При этом учтено направление тока в контуре и его возрастание со временем (что следует из заданного закона изменения силы тока).

Ответ: 0,03 В; против часовой стрелки.

3. На рисунке дана квадратичная зависимость от времени магнитного потока, пронизывающего проводящий контур.

При этом зависимости модуля ЭДС индукции, возникающей в контуре, от времени соответствует график ...



Решение

Согласно закону Фарадея для электромагнитной индукции $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$. Производная от квадратичной функции даст линейную зависимость. Поэтому верная зависимость модуля ЭДС индукции от времени имеет вид, представленный графиком 3.

Ответ: 3.

4. Два соленоида с одинаковым числом плотно намотанным витков отличаются геометрическими размерами их цилиндрических каркасов. Если для второго соленоида все геометрические размеры в два раза меньше, а магнитную проницаемость сердечника соленоидов принять равной единицы, то отношение индуктивностей L_1/L_2 первого и второго соленоидов равно ...

Решение

Индуктивность L_1 однослойной длинной катушки-соленоида длины l и диаметра d ($l \gg d$), имеющего N плотно намотанных витков, определяется выражением $L_1 = \mu\mu_0 \frac{N^2 S_1}{l_1} = \mu\mu_0 \frac{N^2 \pi d_1^2}{4l_1}$, где μ – магнитная проницаемость сердечника; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; $S = \pi d^2/4$ – площадь поперечного сечения соленоида. При уменьшении геометрических размеров (длина и диаметр) в два раза без изменения числа витков получим

$$L_2 = \mu\mu_0 \frac{N^2 S_2}{l_2} = \mu\mu_0 \frac{N^2 \pi \left(\frac{d_1}{2}\right)^2}{4 \left(\frac{l_1}{2}\right)} = \mu\mu_0 \frac{N^2 \pi d_1^2}{8l_1} = \frac{L_1}{2}.$$

Отношение $\frac{L_1}{L_2} = 2$.

Ответ: 2.

5. Вещество является однородным изотропным парамагнетиком, если магнитная восприимчивость ...

Решение

К парамагнетикам относятся вещества, атомы (молекулы) которых обладают собственным магнитным моментом. Однако вследствие теплового движения молекул их магнитные моменты ориентированы беспорядочно в отсутствие внешнего магнитного поля, и намагниченность вещества в этих условиях равна нулю. При внесении парамагнетика во внешнее магнитное поле устанавливается преимущественная ориентация магнитных моментов атомов (молекул) в направлении поля. Таким образом, парамагнетик намагничивается, создавая собственное магнитное поле, совпадающее по направлению с внешним полем и усиливающее его. Диамагнитный эффект наблюдается и в парамагнетике, но он значительно слабее парамагнитного, поэтому остаётся незаметным. Магнитная восприимчивость парамагнетиков положительна, значительно меньше единицы и составляет величину $10^{-3} - 10^{-6}$.

Ответ: мала, вектор намагниченности направлен в ту же сторону, что и вектор напряженности внешнего магнитного поля.

6. При помещении диамагнетика в стационарное магнитное поле ...

Решение

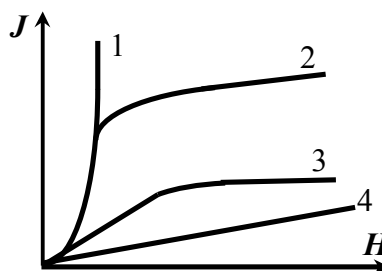
Диамагнетики – вещества, молекулы которых не обладают магнитным моментом. При внесении диамагнетика во внешнее магнитное поле в нём индуцируются элементарные круговые токи,

которые создают магнитное поле, противоположное внешнему. Это приводит к ослаблению поля в веществе.

Ответ: у атомов индуцируются магнитные моменты; вектор, намагниченности образца направлен против направления внешнего поля.

7. На рисунке представлены графики, отражающие характер зависимости намагниченности J (по модулю) от напряжённости магнитного поля H .

Укажите зависимость, соответствующую ферромагнетикам.

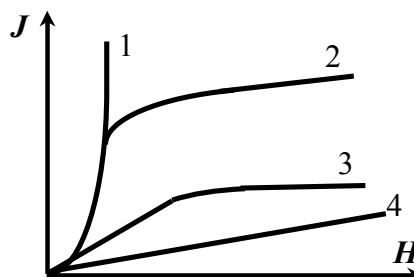


Решение

Для ферромагнетика, в отличие от других видов магнетиков, характерны значительно более высокие значения намагниченности J . С увеличением напряжённости внешнего магнитного поля H намагниченность возрастает, причем нелинейно, а затем достигается состояние насыщения. Особые свойства ферромагнетиков объясняются их доменной структурой. График под номером 2 отражает все перечисленные выше свойства.

Ответ: 2.

8. На рисунке представлены графики, отражающие характер зависимости величины намагниченности J вещества (по модулю) от напряжённости магнитного поля H . Укажите зависимость, соответствующую парамагнетикам.



Решение

У парамагнетиков вектор намагниченности \vec{J} и вектор напряжённости магнитного поля \vec{H} имеют одинаковое направление. В слабых магнитных полях связь намагниченности \vec{J} с напряжённостью \vec{H} магнитного поля в магнетике линейная:

$\vec{J} = \chi\mu_0\vec{H}$, где χ – магнитная восприимчивость, μ_0 – магнитная постоянная. Следовательно, правильный ответ 4.

Ответ: 4.

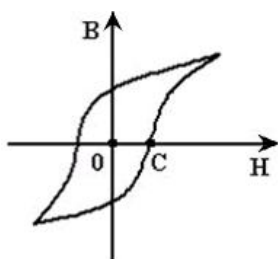
8. Температура Кюри для железа составляет 768 °С. При этой температуре железо является ...

Решение

При температуре Кюри ферромагнетик теряет все свои магнитные свойства и становится парамагнетиком. *Парамагнетики* – вещества, молекулы которых обладают магнитными моментами, ориентированными беспорядочно, поэтому парамагнитные вещества магнитными свойствами не обладают.

Ответ: парамагнетиком.

9. На рисунке показана зависимость проекции вектора индукции магнитного поля B в ферромагнетике от напряжённости H внешнего магнитного поля. Участок OC соответствует ...



Решение

На участке OC при напряжённости магнитного поля H магнитная индукция образца равно нулю, т. е. образец на этом участке размагничен. Следовательно, участок OC соответствует коэрцитивной силе H_c – величине противодействующего поля, которое нужно приложить к ферромагнетика для его размагничивания.

Ответ: коэрцитивной силе ферромагнетика.

10. Утверждение «В любой точке пространства изменяющееся магнитное поле возбуждает вихревое электрическое поле» раскрывает физический смысл уравнений ...

Решение

Утверждение «В любой точке пространства изменяющееся магнитное поле возбуждает вихревое электрическое поле» раскрывает

физический смысл первого уравнения Максвелла $\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$, характеризующего закон электромагнитной индукции Фарадея в интегральной форме. В дифференциальной форме этот закон имеет вид $\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$. Первое из этих уравнений может быть переписано в виде $\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} = -\frac{d\Phi}{dt}$, где Φ – магнитный поток, а интеграл $\oint_L \vec{E} d\vec{l} = \varepsilon_i$ есть не что иное как электродвижущая сила индукции.

Ответ: $\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$, $\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$, $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$.

11. Физический смысл уравнения $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$ заключается в том, что оно описывает ...

Решение

Уравнение Максвелла $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$ означает, что в природе нет магнитных зарядов, на которых начинались бы или заканчивались линии магнитной индукции.

Ответ: отсутствие магнитных зарядов.

12. Полная система уравнений Максвелла для электромагнитного поля имеет вид:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}; \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV; \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0.$$

Следующая система уравнений:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}; \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = 0; \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

справедлива для переменного электромагнитного поля ...

Решение

Сопоставляя представленную и полную систему уравнений Максвелла, видим, что в третьем уравнении поток вектора

электрического смещения \vec{D} равен нулю, что говорит об отсутствии электрических зарядов. Таким образом, приведённая система уравнений Максвелла справедлива в отсутствие заряженных тел.

Ответ: в отсутствие заряженных тел.

3.4. Тест по магнитному полю, рекомендуемый для решения на практических занятиях [4, 5, 6, 7]

1. Найти магнитную индукцию в центре тонкого кольца, по которому идет ток 10 А. Радиус кольца равен 5,0 см.

Варианты ответа:

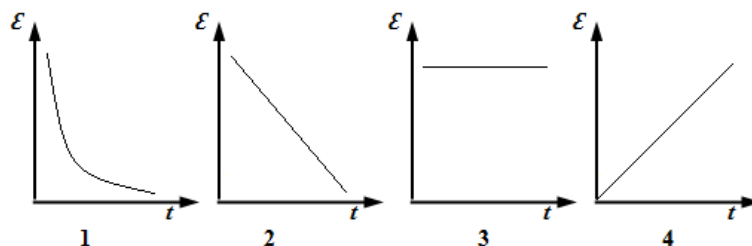
а) 0,26 мТл; б) 0,13 Тл; в) 0,18 мТл; г) 0,13 мТл.

2. По двум параллельным проводам длиной 1,0 м каждый текут одинаковые токи. Расстояние между проводами равно 4,0 см. Токи взаимодействуют с силой 2,0 мН. Найти силу тока в проводах.

Варианты ответа:

а) 10 А; б) 20 мА; в) 20 А; г) 5 А.

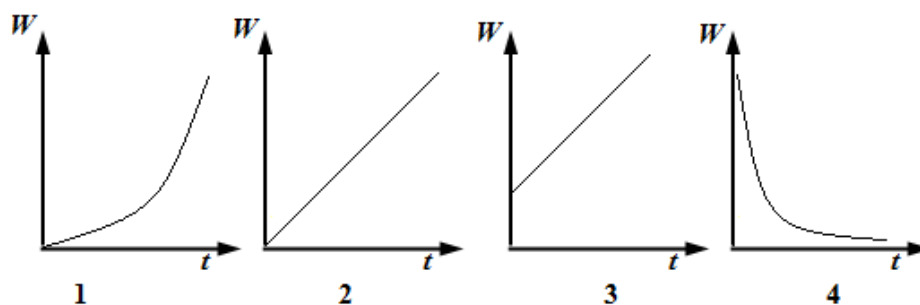
3. Магнитный поток, пронизывающий контур, изменяется с течением времени по закону $\Phi = at^2$, где $a < 0$. Изменение ЭДС индукции в контуре с течением времени представлено графически ...



Варианты ответа:

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

4. Ток в катушке индуктивности изменяется с течением времени по закону $I = at$. Изменение энергии магнитного поля катушки, по которой течёт этот ток, представлен графически ...



Варианты ответа:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

5. Заряженная частица движется в однородном магнитном поле по окружности радиуса R . Если заряд частицы увеличить в два раза, а скорость частицы уменьшить в два раза, то радиус окружности, по которой движется частица ...

Варианты ответа:

- а) увеличится в четыре раза; б) уменьшится в четыре раза;
в) увеличится в восемь раз; г) не изменится.

6. Прямолинейный проводник с током длиной 20 см перпендикулярен линиям индукции однородного магнитного поля. Чему равен модуль индукции магнитного поля, если при токе в 2 А на проводник действует сила, модуль которой равен 0,02 Н?

Варианты ответа:

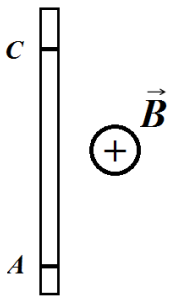
- а) 0,05 Тл; б) 0,01 Тл; в) 0,1 Тл; г) 1 Тл.

7. Проволочная рамка, имеющая форму равностороннего треугольника помещена в однородное магнитное поле с индукцией 0,24 Тл, направление линий которой составляет угол 30° с перпендикуляром к плоскости рамки. Если при равномерном уменьшении индукции магнитного поля до нуля за время 0,06 с в рамке индуцируется ЭДС 30 мВ, то длина стороны рамки равна ...

Варианты ответа:

- а) 0,1 м; б) 14 см; в) 5 см; г) 15 см.

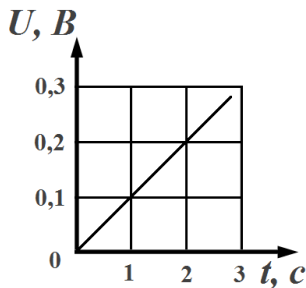
8. Прямой проводник с током помещён в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции B (см. рисунок). Как направлена сила Ампера, действующая на проводник, если потенциал точки C меньше потенциала точки A ?



Варианты ответа:

- а) вверх; б) вправо; в) вниз; г) влево.

9. Прямолинейный проводник длиной 10 см перемещают в однородном магнитном поле с индукцией 100 мТл. Проводник, вектор его скорости и вектор магнитной индукции поля взаимно перпендикулярны. С каким ускорением нужно перемещать проводник, чтобы разность потенциалов на его концах возрастала, как показано на рисунке.



Варианты ответа:

- а) 10 м/с^2 ; б) 15 м/с^2 ; в) 20 м/с^2 ; г) 25 м/с^2 .

10. Если заряженная частица, имеющая импульс p , движется в однородном магнитном поле с индукцией B по окружности, то заряд частицы равен ...

Варианты ответа:

- а) $2\pi \cdot pBR$; б) pBR ; в) p/BR ; г) $p/2\pi BR$.

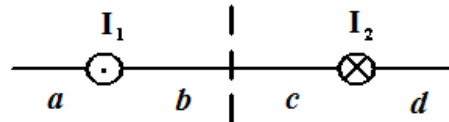
11. При помещении парамагнетика в стационарное магнитное поле

Варианты ответа:

- а) у атомов индуцируются магнитные моменты, вектор намагниченности образца направлен против направления внешнего магнитного поля;
 б) происходит ориентирование имеющихся магнитных моментов атомов, вектор намагниченности образца направлен против направления внешнего магнитного поля;

- в) у атомов индуцируются магнитные моменты, вектор намагниченности образца направлен по направлению внешнего магнитного поля;
- г) происходит ориентирование имеющихся магнитных моментов атомов, вектор намагниченности образца направлен по направлению внешнего магнитного поля.

12. На рисунке изображены сечения двух параллельных прямолинейных длинных проводников с противоположно направленными токами, причём I_2 больше I_1 (например, $I_2 = 2I_1$). Индукция \vec{B} результирующего магнитного поля равна нулю в некоторой точке интервала ...



Варианты ответа:

- а) a ; б) b ; в) c ; г) d .

13. По катушке индуктивностью 30 мкГн течёт ток 600 мА. При размыкании цепи сила тока изменяется до нуля за время 120 мкс. Средняя ЭДС самоиндукции, возникающая в контуре равна ...

Варианты ответа:

- а) 0,25 В; б) 0,30 В; в) 0,15 В; г) 1,5 В.

14. Индуктивность катушки (без сердечника) равна 0,1 мГн. При какой силе тока энергия магнитного поля равна 100 мкДж?

Варианты ответа:

- а) 1,0 А; б) 2,0 А; в) 1,4 А; г) 2,8 А.

15. Электрон движется в магнитном поле с индукцией 20 мТл по окружности радиусом 1,0 см. Кинетическая энергия электрона равна ...

Варианты ответа:

- а) 3,5 кэВ; б) 2,3 кэВ; в) 6,4 кэВ; г) 7,0 кэВ.

16. Два параллельных проводника с одинаковым по величине токами, находящиеся на расстоянии 1,0 см друг от друга, притягиваются с силой 25 мН. Длина каждого проводника равна 320 см. Сила тока в каждом проводнике равна ...

Варианты ответа:

- а) 5 А; б) 10 А; в) 15 А; г) 20 А.

17. Виток, радиус которого 2,0 см, находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,10 Тл. Плоскость витка перпендикулярна полю. Какую работу нужно совершить, чтобы повернуть виток вокруг его диаметра на 90° , если сила тока в витке 50 А?

Варианты ответа:

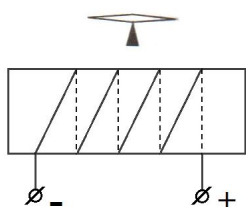
- а) 6,3 мкДж; б) 0; в) 6,3 мДж; г) 12 мкДж.

18. В магнитном поле напряжённостью 1,6 кА/м вращается рамка площадью 100 см^2 , имеющая 100 витков. Ось вращения рамки расположена перпендикулярно полю. Период вращения равен 0,10 с. Максимальное значение ЭДС индукции, возникающей в рамке равно ...

Варианты ответа:

- а) 0,13 В; б) 2,6 мВ; в) 1,3 мВ; г) 1,3 В.

19. На рисунке изображен электромагнит и наверху магнитная стрелка, способная вращаться в горизонтальной плоскости. Причём справа у электромагнита находится ... полюс, а магнитная стрелка развернута своим северным полюсом ...



Варианты ответа:

- а) северный, вправо; б) северный, влево;
в) южный, вправо; г) южный, влево.

20. Полная система уравнений Максвелла для электромагнитного поля:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{\ell} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_L \vec{H} d\vec{\ell} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}; \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV; \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0.$$

Следующая система уравнений Максвелла:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{\ell} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_L \vec{H} d\vec{\ell} = \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = 0; \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

справедлива для переменного электромагнитного поля ...

Варианты ответа:

- а) в отсутствие заряженных тел;
- б) в отсутствие токов проводимости;
- в) в отсутствие заряженных тел и токов проводимости;
- г) при наличии заряженных тел и токов проводимости.

Ответы к тесту по магнитному полю

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
г	в	г	а	б	а	б	г	а	в	г	а	в	в	а	г	в	а	б	в

3.5. Разноуровневые задачи [4, 5, 6]

1. Проволочное кольцо радиусом $R=10$ см лежит на столе. Какое количество электричества q протечёт по кольцу, если его повернуть с одной стороны на другую? Сопротивление кольца $r=1$ Ом. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли $B_{\text{в}}=5 \cdot 10^{-5}$ Тл.

Ответ: $q=3,14$ мкКл.

2. Два прямолинейных длинных параллельных проводника находятся на расстоянии 10 см друг от друга. По проводникам течёт ток в одном направлении $I_1=20$ А и $I_2=30$ А. Какую работу надо совершить (на единицу длины проводников), чтобы их раздвинуть на расстояние 20 см?

Ответ: $A/l=83$ мкДж/м.

3. При измерении эффекта Холла в натриевом проводнике напряжённость поперечного электрического поля оказалась $E=5,0$ мкВ/см при плотности тока $j=200$ А/см² и индукции магнитного поля $B=0,1$ Тл. Найти концентрацию электронов проводимости в этом проводнике.

Ответ: $n=2,5 \cdot 10^{28}$ м⁻³.

4. Тороид квадратного сечения содержит $N=10^3$ витков. Наружный диаметр тороида $D=40$ см, внутренний $d=20$ см. Найти магнитный поток в тороиде, если сила тока, протекающего по обмотке, равна $I=10$ А.

Ответ: $\Phi=0,13$ мВб.

5. Кольцо радиусом $R=10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,318$ Тл. Плоскость кольца составляет угол $\varphi=30^\circ$ с линиями индукции. Вычислить магнитный поток, пронизывающий кольцо.

Ответ: $\Phi=5$ мВб.

6. По витку радиусом $R=10$ см течёт ток $I=50$ А. Виток помещён в однородное магнитное поле с индукцией $B=0,2$ Тл. Определить вращающий (механический) момент M , действующий на виток, если плоскость витка составляет угол $\varphi=60^\circ$ с линиями индукции.

Ответ: $M=0,157$ Н·м.

7. В проволочное кольцо, присоединённое к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. По цепи протекло количество электричества $q=10^{-5}$ Кл. Определить магнитный поток Φ , пересечённый кольцом, если сопротивление цепи гальванометра $r=30$ Ом.

Ответ: $\Phi=0,3$ мВб.

8. Найти магнитный момент тонкого кругового витка с током, если радиус витка $R=100$ мм и индукция магнитного поля в его центре $B_0=6,0$ мкТл.

Ответ: $p_m = \frac{2\pi R^3 B_0}{\mu_0} = 30$ мА·м².

9. Квадратная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводником с током $I_0=5$ А. Сторона рамки $a=8$ см. Проходящая через середины противоположных сторон ось рамки параллельна проводу и отстоит от него на расстоянии, которое в $\eta=1,5$ раза больше стороны рамки. Найти поток вектора \vec{B} через поверхность рамки.

Ответ: $\Phi_0 = \frac{\mu_0 I_0 a}{2\pi} \ln \frac{2\eta+1}{2\eta-1} = 0,055$ мкВб.

10. Квадратная рамка с током $I=0,90$ А расположена в одной плоскости с длинным прямым проводником, по которому течёт ток $I_0=5$ А. Сторона рамки $a=8$ см. Проходящая через середины противоположных сторон ось рамки параллельна проводу и отстоит от него на расстоянии, которое в $\eta=1,5$ раза больше стороны рамки. Найти: а) силу Ампера, действующую на рамку; б) механическую работу, которую нужно совершить для поворота рамки вокруг её оси на 180° , если токи поддерживают неизменными.

Ответ: а) $F_A = \frac{2\mu_0 I I_0}{\pi(4\eta^2 - 1)} = 0,45$ мкН; б) $A=0,10$ мкДж.

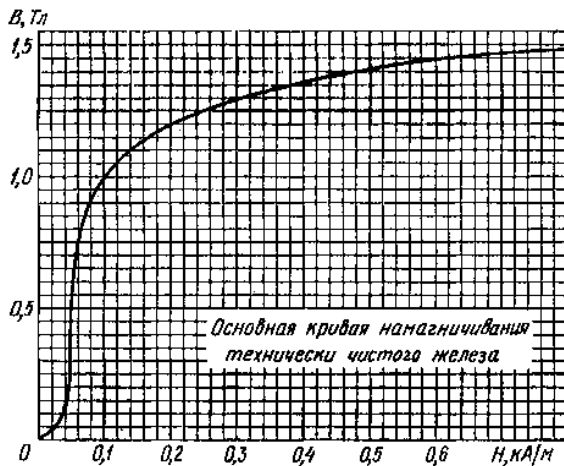
11. Вычислить взаимную индуктивность длинного прямого провода и прямоугольной рамки со сторонами a и b . Рамка и прямой провод лежат в одной плоскости, причём ближайшая к проводу сторона рамки длиной b параллельна проводу и отстоит от него на расстоянии l .

Ответ: $L = \frac{\mu_0 b}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{a}{l} \right)$.

12. Магнитный поток через неподвижный контур с сопротивлением R изменяется в течение времени τ по закону $\Phi = at(\tau - t)$. Найти количество тепла, выделенное в контуре за это время. Индуктивностью контура пренебречь.

Ответ: $Q = \frac{a^2 \tau^3}{3R}$.

13. При некоторой силе тока плотность энергии магнитного поля соленоида (без сердечника $\mu_1=1$) $\omega_1=0,2$ Дж/м³. Во сколько раз увеличится плотность энергии магнитного поля при той же силе тока, если соленоид будет иметь железный сердечник? Кривая намагничивания железа показана на рисунке.



Ответ: $\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\mu_2}{\mu_1} \approx 2000$ раз.

Библиографический список

1. Трофимова, Т. И. Курс физики: учеб. пособие / Т. И. Трофимова. – 21-е изд., стер. – М. : Академия, 2015. – 560 с.
2. Яворский, Б. М. Справочник по физике / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. – М. : Наука, 1990. – 624 с.
3. Трофимова, Т. И. Сборник задач по курсу физики с решениями: учебное пособие. / Т. И. Трофимова, З. Г. Павлова. – М. : Высш. шк., 1999. – 591 с.
4. Трофимова, Т. И. Сборник задач по курсу физики для втузов: учебное пособие / Т.И. Трофимова. – 3-е изд. – М. : ОНИКС 21 век: Мир и Образование, 2005. – 384 с.
5. Чертов, А. Г. Задачник по физике: учебное пособие / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. – 8-е изд., перераб. и доп. – М. : Физматлит, 2009. – 640 с.
6. Новиков, С. М. Сборник заданий по общей физике: учебное пособие [100 вариантов x 100 задач] / С. М. Новиков. – М. : ОНИКС, 2007. – 512 с.
7. Единый портал интернет-тестирования в сфере образования. URL: <http://i-exam.ru> (дата обращения: 20.12.2017).
8. Бирюков, С. В. Механика, молекулярная физика и термодинамика: учебное пособие по общей физике для самостоятельной подготовки студентов к интернет-тестированию по всем направлениям [Электронный ресурс] / С. В. Бирюков, В. А. Федорук, В. А. Федоров; ред. С. В. Бирюков. – Омск : СибАДИ, 2012. – Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/epd710.pdf> (дата обращения: 25.12.2017).
9. Свид. №2018613107 Российская Федерация. Программа-оболочка «TestingShell-v1.0» для создания гибкой системы тестирования в виде «exe» файлов: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / В. А. Федорук; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО СибАДИ (RU). – №2018610239; заявл. 10.01.18; опублик. 02.03.18, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

Оглавление

Введение	3
ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ	4
1. Электростатика	4
1.1. Основные понятия, законы и формулы	4
1.2. Тестовые задачи для контроля знаний	16
1.3. Примеры решения тестовых задач	24
1.4. Тест, рекомендуемый для решения на практических занятиях.....	30
Ответы к тесту	34
1.5. Разноуровневые задачи	34
2. Постоянный электрический ток	38
2.1. Основные понятия, законы и формулы	38
2.2. Тестовые задачи для контроля знаний	42
2.3. Примеры решения тестовых задач	48
2.4. Тест, рекомендуемый для решения на практических занятиях.....	52
Ответы к тесту	56
2.5. Разноуровневые задачи.....	56
3. Магнитное поле	59
3.1. Основные понятия, законы и формулы	59
3.2. Тестовые задачи для контроля знаний	73
3.3. Примеры решения тестовых задач	83
3.4. Тест, рекомендуемый для решения на практических занятиях.....	90
Ответы к тесту.....	95
3.5. Разноуровневые задачи.....	95
Библиографический список	98