ПРЕДИСЛОВИЕ

В соответствии с Законом «Об образовании» и Федеральным законом РФ «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» образовательные учреждения высшего профессионального образования регулярно проходят государственную аккредитацию. Процедура государственной аккредитации предусматривает обязательное тестирование, целью которого является оценка качества усвоения студентами программного материала в соответствии с требованиями государственных образовательных стандартов. Испытания проходят студенты, уже закончившие обучение тестируемым дисциплинам в вузе, проходящем проверку, на компьютерах в режиме онлайн. В связи с этим возникает необходимость в разработке материалов, предназначенных для подобного тестирования, а также пособий для подготовки студентов к тестированию. Данная книга направлена на решение этих задач применительно к дисциплине «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ).

Коллектив авторов книги представляет две ведущие научные школы теоретической электротехники России: кафедры ТОЭ МЭИ и СПбГПУ. Возглавляющие эти кафедры член-корреспондент РАН П. А. Бутырин (МЭИ) и профессор Н. В. Коровкин (СПбГПУ) выполнили редактирование данной книги. При подборе задач авторы руководствовались известным и неоднократно переиздававшимся учебником по теоретической электротехнике К. С. Демирчяна, Л. Р. Неймана, Н. В. Коровкина «Теоретические основы электротехники» и построили свою книгу таким образом, что каждому из 30 разделов настоящей книги соответствует глава этого учебника.

В первой части каждого раздела настоящей книги приведены краткие теоретические материалы, во второй — набор заданий с ответами и решениями. Как и в аттестационных тестах, на каждый поставленный вопрос предлагается ряд сформулированных ответов. Все тестовые задания не требуют громоздких вычислений — от испытуемого требуется выполнение лишь простейших расчетов, качественная оценка характера процесса или выбор вида характеризующей его зависимости. По мнению авторов, задания позволяют объективно оценить степень усвоения изученного материала.

Задания делятся на три типа, различающиеся значками, которые стоят перед вариантами ответа.

I. Знак ○ предполагает выбор одного из предложенных вариантов, отмеченного ⊙, например:

Задание 1-23.

Катушка с током i, выполненная из провода с немагнитными свойствами, расположена в воздухе. При увеличении тока катушки в 2 раза ее индуктивность L ...

○ увеличится в 2 раза
○ увеличится в 4 раза
○ уменьшится в 2 раза
○ уменьшится в 4 раза
⊙ не изменится

II. Знак ☐ (малый квадрат) указывает на то, что надо выбрать несколько правильных ответов (они отмечены знаком ☑) из предложенных вариантов, например:

Задание 3-4.

Среди перечисленных элементов электрических цепей могут быть нелинейными ...

☑ резистивный элемент
☐ катушка индуктивности без ферромагнитного сердечника
☑ катушка индуктивности с ферромагнитным сердечником
☐ воздушный конденсатор

III. Знак $\boxed{1}$ (большой квадрат) встречается в заданиях, где надо указать правильную последовательность или соответствие. При решении заданий на компьютере первое нажатие левой кнопки мыши приводит к появлению цифры 1 в соответствующем квадрате, второе нажатие — к появлению цифры 2 и т. д., например:

Задание 3-1.

На рисунке показаны системы, состоящие из обмоток, размещенных на ферромагнитных сердечниках. Расположите системы по признаку наименьшей погрешности, получаемой при замене реальной системы магнитной цепью.

$\boxed{4}$ 1
$\boxed{3}$ 2
$\boxed{1}$ 3
$\boxed{2}$ 4

Учитывая простоту тестовых заданий и наличие решений, можно рекомендовать данную книгу студентам для самостоятельного изучения.

1. ОБОБЩЕНИЕ ПОНЯТИЙ И ЗАКОНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Основной физической величиной, характеризующей электрическое поле, является вектор напряженности электрического поля $\boldsymbol{E}$, определяющий силовое воздействие

$$\boldsymbol{f} = q\boldsymbol{E} \tag{1.1}$$

электрического поля на электрический заряд q.

Размерность электрического заряда — Кл (кулон), напряженности электрического поля — В/м (вольт на метр).

Выделяя в пространстве линию, в каждой точке которой вектор $\boldsymbol{E}$ направлен по касательной, получим так называемую *силовую линию* электрического поля.

Интенсивность электрического поля характеризует поток вектора напряженности электрического поля

$$\Psi_{\boldsymbol{E}} = \int_S \boldsymbol{E}d\boldsymbol{S}, \tag{1.2}$$

где $d\boldsymbol{S}$ — вектор, направленный по нормали к поверхности интегрирования S.

Теорема Гаусса для однородной изотропной среды устанавливает связь между потоком вектора напряженности электрического поля сквозь замкнутую поверхность S и свободным зарядом, заключенным внутри этой поверхности:

$$\oint_S \boldsymbol{E}d\boldsymbol{S} = \frac{q}{\varepsilon}, \tag{1.3}$$

где ε — абсолютная диэлектрическая проницаемость среды. Абсолютная диэлектрическая проницаемость воздуха (пустоты) $\varepsilon_0 \cong 8{,}85\cdot 10^{-12}$ Ф/м.

В диэлектрике с абсолютной диэлектрической проницаемостью ε для описания электрического поля, кроме вектора $\boldsymbol{E}$, используются вектор электрического смещения $\boldsymbol{D}$ и вектор поляризованности $\boldsymbol{P}$, связанные соотношениями

$$\boldsymbol{D} = \varepsilon_0\boldsymbol{E} + \boldsymbol{P} = \varepsilon\boldsymbol{E}, \tag{1.4}$$

$$\boldsymbol{D} = \varepsilon\boldsymbol{E}. \tag{1.5}$$

Постулат Максвелла

$$\oint_S \boldsymbol{D}d\boldsymbol{S} = q, \tag{1.6}$$

справедливый в любой среде, устанавливает связь между потоком вектора электрического смещения сквозь замкнутую поверхность S и свободным зарядом, заключенным внутри этой поверхности.

Электрический ток i, связанный с электрическим зарядом q соотношением

$$i = dq/dt, \tag{1.7}$$

подразделяется на ток проводимости $i_{\text{пр}}$, ток переноса $i_{\text{пер}}$ и ток смещения $i_{\text{см}}$. Плотность тока каждого вида может быть рассчитана согласно формулам:

$$\boldsymbol{J}_{\text{пр}} = \gamma \boldsymbol{E}, \tag{1.8}$$

где γ — удельная проводимость материала проводника;

$$\boldsymbol{J}_{\text{пер}} = \rho \boldsymbol{v}, \tag{1.9}$$

где $\boldsymbol{v}$ — скорость перемещения в пространстве зарядов с объемной плотностью ρ;

$$\boldsymbol{J}_{\text{см}} = \frac{d\boldsymbol{D}}{dt} = \frac{d\boldsymbol{D}_0}{dt} + \frac{d\boldsymbol{P}}{dt}. \tag{1.10}$$

Справедлив принцип непрерывности электрического тока, согласно которому полный ток сквозь любую замкнутую поверхность S равен нулю:

$$i = i_{\text{пр}} + i_{\text{пер}} + i_{\text{см}} = 0, \tag{1.11}$$

либо

$$\oint_S \boldsymbol{J}d\boldsymbol{S} = 0. \tag{1.12}$$

Электрическое напряжение между точками A и B определяется соотношением

$$u_{AB} = \int_A^B \boldsymbol{E}d\boldsymbol{\ell}, \tag{1.13}$$

где $d\boldsymbol{\ell}$ — вектор, направленный по касательной к произвольной кривой ℓ, соединяющей точки A и B.

В поле неподвижных зарядов (электростатическом поле) справедливо понятие потенциала. Например, в точке A потенциал равен

$$U_A = \int_A^P \boldsymbol{E}d\boldsymbol{\ell}, \tag{1.14}$$

причем в точке P потенциал принимается равным нулю: $U_p = 0$.

В электростатическом поле понятие напряжения u_{AB} совпадает с понятием разности потенциалов

$$U_A - U_B = \int_A^B \boldsymbol{E}d\boldsymbol{\ell}. \tag{1.15}$$

В электростатическом поле вводится понятие емкости уединенного проводящего тела

$$C = \frac{q}{U}, \tag{1.16}$$

где q и U — его заряд и потенциал соответственно; $U = 0$ в бесконечности.

Электростатическая емкость между двумя проводящими телами *1* и *2* с зарядами $q_1 = q_2$, $q_2 = -q_1$ равна

$$C = \frac{q_1}{U_1 - U_2} = \frac{q_2}{U_2 - U_1}, \tag{1.17}$$

где U_1, U_2 — потенциалы этих тел. Емкость тела (тел) всегда положительная величина.

Основной физической величиной, характеризующей магнитное поле, является вектор магнитной индукции $\boldsymbol{B}$, определяющий силовое воздействие магнитного поля на движущийся со скоростью $\boldsymbol{v}$ заряд q:

$$\boldsymbol{f}_{\text{м}} = q[\boldsymbol{vB}]. \tag{1.18}$$

Величина B имеет размерность Вб/м^2, или Тл.

Индукция магнитного поля $\boldsymbol{B}$ в пустоте связана с создающим его электрическим током i соотношением

$$\oint_{\ell} \boldsymbol{B} d\ell = \mu_0 i. \tag{1.19}$$

Магнитная постоянная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м определяет абсолютную магнитную проницаемость пустоты.

Выделяя в пространстве линию, в каждой точке которой вектор $\boldsymbol{B}$ направлен по касательной, получим так называемую силовую линию магнитного поля.

Интенсивность магнитного поля характеризует магнитный поток сквозь поверхность S

$$\Phi = \int_S \boldsymbol{B} d\boldsymbol{S}, \tag{1.20}$$

где $d\boldsymbol{S}$ — вектор, направленный по нормали к поверхности интегрирования.

Согласно принципу непрерывности магнитного потока

$$\oint_S \boldsymbol{B} d\boldsymbol{S} = 0 \tag{1.21}$$

магнитный поток сквозь замкнутую поверхность равен нулю. Последнее равенство означает, что магнитные заряды, аналогичные электрическому заряду, не существуют.

Факт пересечения магнитными силовыми линиями поверхности, ограниченной контуром, состоящим из w витков, учитывается с помощью понятия потокосцепления Ψ. Если все линии магнитной индукции, составляющие магнитный поток, сцепляются с w витками, то потокосцепление определяется формулой

$$\Psi = w\Phi. \tag{1.22}$$

При пересечении изменяющимся во времени магнитным потоком поверхности, ограниченной произвольным контуром ℓ, в последнем возникает (индуктируется) электродвижущая сила (ЭДС или э. д. с.). Величину этой ЭДС определяет закон электромагнитной индукции в формулировке Максвелла:

$$e = \oint_{\ell} \boldsymbol{E} d\ell = -\frac{d\Phi}{dt}. \tag{1.23}$$

При пересечении линий магнитной индукции отрезком контура в нем индуктируется ЭДС, определяемая законом электромагнитной индукции в формулировке Фарадея:

$$e = -\frac{dN}{dt}, \tag{1.24}$$

где dN — число линий магнитной индукции, пересекающих за время dt отрезок длиной $d\ell$.

В случае движения проводника длиной ℓ с постоянной скоростью v в однородном магнитном поле с индукцией B в нем индуктируется ЭДС

$$e = vB\ell, \tag{1.25}$$

если направления величин ℓ, v и B взаимно перпендикулярны.

Индуктивность L контура определяется как отношение сцепленного с ним магнитного потока Ψ_L к току контура

$$L = \Psi_L / i. \tag{1.26}$$

Взаимная индуктивность контуров *1* и *2* определяется отношением сцепленного с контуром *2* потока Ψ_{2M}, созданным током контура *1*, к току i_1 первого контура:

$$M_{21} = \Psi_{2M} / i_1. \tag{1.27}$$

В контуре, обладающем индуктивностью $L(t)$, зависящей от времени, возникает ЭДС самоиндукции

$$e_L = -L\frac{di}{dt} - i\frac{dL}{dt}. \tag{1.28}$$

При наличии двух контуров во втором из них появится ЭДС взаимной индукции, обусловленная изменением тока контура *1* и изменением взаимной индуктивности M_{21}:

$$e_{2M} = -M_{21}\frac{di_1}{dt} - i_1\frac{dM_{21}}{dt}. \tag{1.29}$$

В среде с абсолютной магнитной проницаемостью μ вводится векторная характеристика магнитного поля, называемая намагниченностью $\boldsymbol{M}$ вещества. Кроме векторов $\boldsymbol{B}$ и $\boldsymbol{M}$, магнитное поле характеризуется напряженностью магнитного поля $\boldsymbol{H}$, определяемой соотношением

$$\boldsymbol{H} = \frac{\boldsymbol{B}}{\mu_0} - \boldsymbol{M} = \frac{1}{\mu}\boldsymbol{B}. \tag{1.30}$$

Векторы поля $\boldsymbol{B}$ и $\boldsymbol{H}$ связаны соотношением

$$\boldsymbol{B} = \mu\boldsymbol{H}. \tag{1.31}$$

Величины H и M имеют размерность А/м.

Линейный интеграл напряженности магнитного поля вдоль некоторого пути AB называют магнитодвижущей силой F_{AB} (МДС или м. д. с.), измеряемой в амперах:

$$F_{AB} = \int_A^B \boldsymbol{H}\, d\ell. \tag{1.32}$$

Напряженность магнитного поля $\boldsymbol{H}$ связана с создающим магнитное поле электрическим током i законом полного тока

$$\oint_{\ell} \boldsymbol{H} d\ell = i, \tag{1.33}$$

причем под током i в общем случае понимают сумму токов проводимости, переноса и смещения, пересекающих поверхность, ограниченную контуром интегрирования ℓ.

Основными уравнениями электромагнитного поля в интегральной форме являются уравнения, содержащие вектора поля $\boldsymbol{E}$, $\boldsymbol{D}$, $\boldsymbol{B}$ и $\boldsymbol{H}$:

- постулат Максвелла

$$\oint_{S} \boldsymbol{D} d\boldsymbol{S} = q; \tag{1.34}$$

- принцип непрерывности магнитного потока

$$\oint_{S} \boldsymbol{B} d\boldsymbol{S} = 0; \tag{1.35}$$

- закон электромагнитной индукции

$$\oint_{\ell} \boldsymbol{E} d\ell = -\frac{d\Phi}{dt}; \tag{1.36}$$

- закон полного тока

$$\oint_{\ell} \boldsymbol{H} d\ell = i; \quad i = i_{\text{пр}} + i_{\text{пер}} + i_{\text{см}}. \tag{1.37}$$

Уравнения связи:

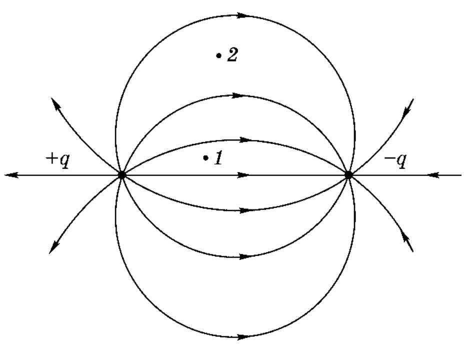
$$\boldsymbol{D} = \varepsilon \boldsymbol{E}, \quad \boldsymbol{B} = \mu \boldsymbol{H}.$$

ПРИМЕРЫ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ

Задание 1-1.

На рисунке изображены линии напряженности электрического поля двух разноименных зарядов.

Как соотносятся между собой величины напряженности E электрического поля в точках *1* и *2*?



○ $E_1 < E_2$
○ $E_1 = E_2$
⊙ $E_1 > E_2$

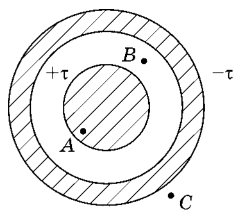
Решение.

Линии напряженности электрического поля изображают таким образом, чтобы поток $\Delta\Psi_E$ вектора напряженности $\boldsymbol{E}$ (1.2) каждой трубки был одинаковым. При этом по густоте линий напряженности в некоторой части пространства можно судить о величине напряженности электрического поля в этой области. Для рассматриваемого случая выполняется соотношение $E_1 > E_2$.

Правильным является ответ: $E_1 > E_2$.

Задание 1-2.

Обращается ли в нуль напряженность электрического поля в точках A, B и C, лежащих в плоскости сечения цилиндрического кабеля?



- ⦿ $E_A = 0,\ E_B \neq 0,\ E_C = 0$
- ○ $E_A = 0,\ E_B = 0,\ E_C \neq 0$
- ○ $E_A \neq 0,\ E_B = 0,\ E_C = 0$
- ○ $E_A \neq 0,\ E_B \neq 0,\ E_C \neq 0$

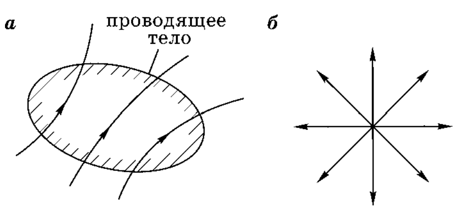
Решение.

В точке A напряженность электрического поля обращается в нуль, так как внутри проводника электрическое поле отсутствует. В соответствии с теоремой Гаусса (1.3) в точке B имеем $E_B \neq 0$, а в точке C справедливо равенство $E_C = 0$, так как жилы кабеля имеют одинаковые по величине и противоположные по знаку заряды.

Правильным является ответ: $E_A = 0,\ E_B \neq 0,\ E_C = 0$.

Задание 1-3.

Могут ли изображенные на рисунках линии быть линиями напряженности электрического поля, если свободные заряды отсутствуют в части пространства, где линии изображены?



- ○ *а*) могут; *б*) не могут
- ○ *а*) могут; *б*) могут
- ○ *а*) не могут; *б*) могут
- ⦿ *а*) не могут; *б*) не могут

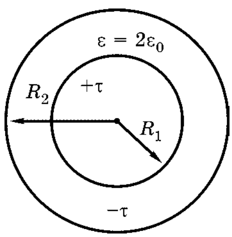
Решение.

Так как внутри проводника электрическое поле отсутствует, то линии напряженности внутри проводника отсутствуют, они могут только подходить к его поверхности или отходить от нее. В случае *б* показанные линии могут быть линиями напряженности, если только в точке имеется положительный точечный свободный заряд, что противоречит условию задания. Поэтому как в случае *а*, так и в случае *б* изображенные линии не могут быть линиями напряженности электрического поля.

Правильным является ответ: *а*) не могут; *б*) не могут.

Задание 1-4.

На рисунке показано сечение весьма длинного цилиндрического конденсатора, радиусы обкладок которого равны $R_1 = 1{,}5$ см и $R_2 = 2{,}5$ см. Заряд конденсатора на единицу длины $\tau = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл/м, абсолютная диэлектрическая проницаемость диэлектрика $\varepsilon = 2\varepsilon_0$. Предельное значение напряженности электрического поля, при котором диэлектрик еще сохраняет свои свойства, равно $E_{кр} =$ $= 20$ кВ/см.



Как соотносятся между собой максимальное значение напряженности электрического поля в конденсаторе E_{max} и предельное значение $E_{кр}$?

○ $E_{max} > E_{кр}$
○ $E_{max} = E_{кр}$
⊙ $E_{max} < E_{кр}$

Решение.

Определим напряженность электрического поля в произвольной точке между обкладками на основании теоремы Гаусса (1.3). Выбирая в качестве замкнутой поверхности интегрирования S цилиндр радиуса $R_1 \le r \le R_2$ и длиной ℓ, с учетом симметрии поля по угловой координате получим зависимость напряженности электрического поля от радиуса в виде $E(r) = \tau/2\pi\varepsilon r$. Максимальное значение напряженности электрического поля $E_{max} = 12$ кВ/см будет при $r = R_1$. Таким образом, максимальное значение напряженности E_{max} не превышает величину $E_{кр}$ и диэлектрик сохраняет свои свойства.

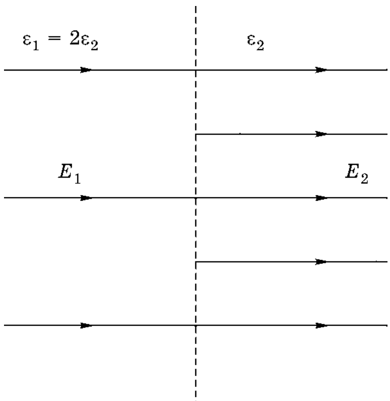
Правильным является ответ: $E_{max} < E_{кр}$.

Задание 1-5.

Линии напряженности однородного электрического поля направлены перпендикулярно к поверхности раздела двух сред с различными диэлектрическими проницаемостями ($\varepsilon_1 > \varepsilon_2$). Линии векторов $\boldsymbol{D}$ и $\boldsymbol{E}$ проведены так, что они образуют трубки с постоянными значениями потока $\Delta\Psi_D$ и $\Delta\Psi_E$. Как соотносятся между собой значения напряженности электрического поля E_1 и E_2 в областях с различными значениями диэлектрической проницаемости?

○ $E_1 > E_2$
○ $E_1 = E_2$
⊙ $E_1 < E_2$

Решение.

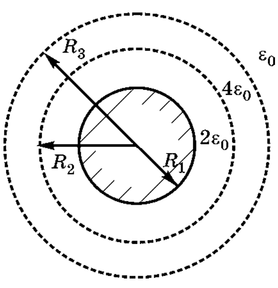


В соответствии с постулатом Максвелла (1.6) значения векторов электрического смещения в обеих средах одинаковы, поэтому в силу связи (1.5) $D = \varepsilon E$ в данном случае величина напряженности электрического поля больше в среде с меньшей диэлектрической проницаемостью. Таким образом, плотность линий напряженности выше в среде *2* и справедливо неравенство $E_1 < E_2$. Вид силовых линий для случая $\varepsilon_1 = 2\varepsilon_2$ приведен на рисунке. Скачок напряженности поля на границе раздела сред можно объяснить действием связанных электрических зарядов, возникающих за счет различной поляризации диэлектриков.

Правильным является ответ: $E_1 < E_2$.

Задание 1-6.

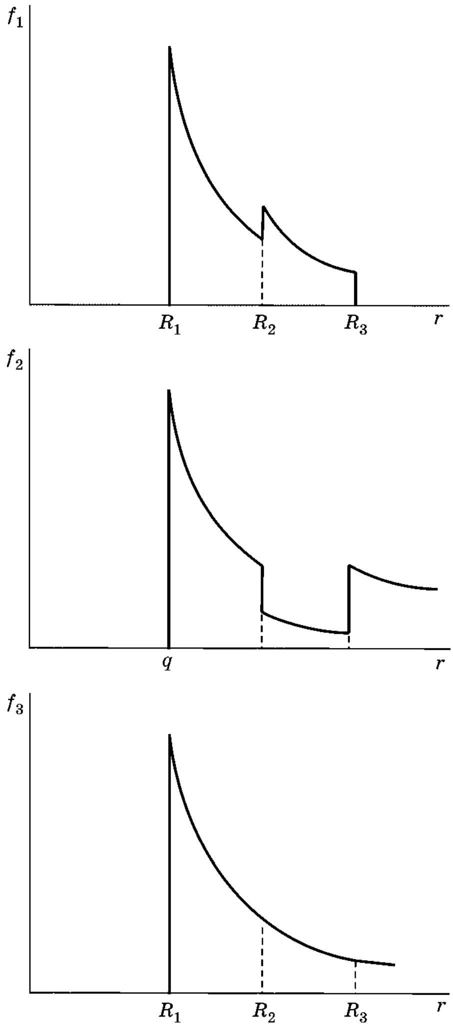
Заряженная сфера радиусом R_1 располагается в трехслойном диэлектрике. Радиусы границ раздела сред с диэлектрическими проницае-



$f_1(r)$, $f_2(r)$, $f_3(r)$
○ $D(r)$, $E(r)$, $P(r)$
○ $D(r)$, $P(r)$, $E(r)$
○ $E(r)$, $D(r)$, $P(r)$
○ $E(r)$, $P(r)$, $D(r)$
⊙ $P(r)$, $E(r)$, $D(r)$
○ $P(r)$, $D(r)$, $E(r)$

мостями $\varepsilon_1 = 2\varepsilon_0$ и $\varepsilon_2 = 4\varepsilon_0$, а также $\varepsilon_2 = 4\varepsilon_0$ и $\varepsilon_3 = \varepsilon_0$ равны соответственно R_2 и R_3.

Какие из изображенных на рисунке кривых $f_1(r)$, $f_2(r)$ и $f_3(r)$ соответствуют зависимости электрического смещения, напряженности электрического поля и поляризованности от радиальной координаты r?



Решение.

Вне заряженной проводящей сферы величина вектора электрического смещения $\boldsymbol{D}$ в соответствии с постулатом Максвелла (1.6) не зависит от диэлектрической проницаемости среды. Следовательно, кривая $f_3(r)$ соответствует зависимости $D(r)$. При этом с учетом (1.4) и (1.5) напряженность электрического поля $E = D/\varepsilon$ и поляризованность $P = D(1 - \varepsilon_0/\varepsilon)$ зависят от диэлектрической проницаемости среды. Поэтому каждый из векторов $\boldsymbol{E}$ и $\boldsymbol{P}$, нормальных к поверхности раздела сред с различными ε, в точках с координатами $r = R_2$ и $r = R_3$ изменяется скачком, величина которого определяется диэлектрическими проницаемостями сред. В рассматриваемом случае кривая $f_1(r)$ описывает поведение зависимости $P(r)$, а кривой $f_2(r)$ соответствует функция $E(r)$.

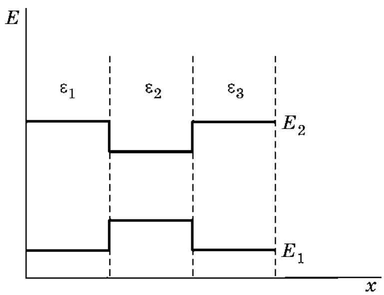
Правильным является ответ: $P(r)$, $E(r)$, $D(r)$.

Задание 1-7.

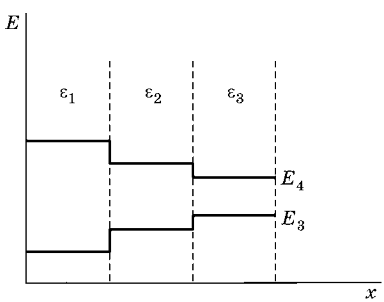
Закон изменения напряженности электрического поля в трехслойном плоском конденсаторе с диэлектрическими проницаемостями ε_1, ε_2 и ε_3 задают изображенные на рисунке функции $E_1(x)$, $E_2(x)$, $E_3(x)$, $E_4(x)$, $E_5(x)$ и $E_6(x)$.

Каждой из них соответствует одно из приведенных ниже соотношений диэлектрических проницаемостей слоев конденсатора:

а) $\varepsilon_1 < \varepsilon_2 = \varepsilon_3$,

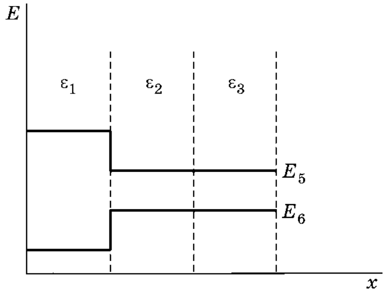


б) $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$,



- ○ *а*6, *б*4, *в*2
- ○ *а*1, *б*3, *в*5
- ⊙ *а*5, *б*3, *в*1
- ○ *а*5, *б*4, *в*1
- ○ *а*1, *б*4, *в*5
- ○ *а*6, *б*3, *в*1

в) $\varepsilon_1 = \varepsilon_3 > \varepsilon_2$.



Укажите правильные сочетания функций $E(x)$ для заданных соотношений, характеризующих свойства диэлектрика конденсатора.

Решение.

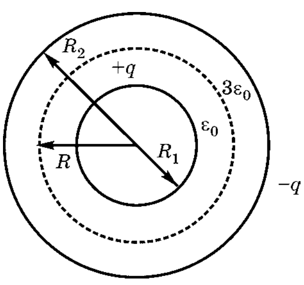
В плоском многослойном конденсаторе поле вектора $\boldsymbol{D}$ является однородным: $D = \text{const}$, а напряженность электрического поля E в силу связи (1.5) $E = D/\varepsilon$ изменяется скачком на границе раздела сред с различными значениями диэлектрической проницаемости. Анализ приведенных соотношений ε приводит к единственно возможным сочетаниям *а*5, *б*3 и *в*1.

Правильным является ответ: *а*5, *б*3, *в*1.

Задание 1-8.

Пространство между обкладками сферического конденсатора, радиусы которых R_1 и $R_2 = 2R_1$, заполнено веществом с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 3\varepsilon_0$.

Как изменится величина напряженности электрического поля на поверхности внутренней обкладки $E(R_1)$, если в области между этой обкладкой и сферической поверхностью радиуса $R = 1{,}5R_1$ диэлектрическая проницаемость уменьшилась до величины ε_0, а заряды обкладок сохранились теми же?



○ не изменится
⦿ увеличится в 3 раза
○ уменьшится в 3 раза
○ увеличится в 1,5 раза
○ уменьшится в 1,5 раза

Решение.

Напряженность электрического поля на внутренней обкладке конденсатора с однородным диэлектриком $\varepsilon = 3\varepsilon_0$ согласно теореме Гаусса (1.3) равна $E(R_1) = q/4\pi\varepsilon R_1^2$. Появление второго слоя диэлектрика ведет к изменению напряженности электрического поля на внутренней обкладке до величины $E_0(R_1) = q/4\pi\varepsilon_0 R_1^2$, т. е. ее увеличение в $\varepsilon_r = \varepsilon/\varepsilon_0$ раз.

Правильным является ответ: увеличится в 3 раза.

Задание 1-9.

К какому виду тока следует отнести явление:

а) движение заряженных частиц в неидеальном диэлектрике под действием не изменяющегося во времени электрического поля;

б) движение заряженных частиц в идеальном диэлектрике под действием изменяющегося во времени электрического поля;

в) движение электронов в пустоте между электродами электронной лампы?

а)
- ○ переноса
- ⊙ проводимости
- ○ проводимости
- ○ смещения
- ○ смещения

б)
- ○ смещения
- ⊙ смещения
- ○ переноса
- ○ проводимости
- ○ переноса

в)
- ○ проводимости
- ⊙ переноса
- ○ смещения
- ○ переноса
- ○ проводимости

Решение.

а) Это есть ток проводимости, называемый часто током утечки в диэлектрике.

б) Ток, протекающий в идеальном диэлектрике под действием изменяющегося во времени электрического поля, представляет собой ток электрического смещения.

в) Движение заряженных частиц в пустоте, жидкой или газообразной среде есть проявление тока переноса.

Правильным является ответ: проводимости, смещения, переноса.

Задание 1-10.

Неидеальный диэлектрик конденсатора характеризуется диэлектрической проницаемостью ε и удельной электрической проводимостью γ. При какой частоте $f_{\text{равн}}$ изменения синусоидального напряжения, приложенного к конденсатору, амплитуды токов смещения и проводимости утечки равны?

- ○ $f_{\text{равн}} = \gamma/\varepsilon$
- ⊙ $f_{\text{равн}} = \gamma/2\pi\varepsilon$
- ○ $f_{\text{равн}} = 2\gamma/\varepsilon$
- ○ $f_{\text{равн}} = \gamma/2\varepsilon$

Решение.

При изменении приложенного к конденсатору напряжения по закону $u = U_m\sin\omega t$ имеем для тока смещения (1.10) $J_{\text{см}} = dD/dt = \varepsilon dE/dt$ и для тока