

Задание 5

Статические электрические и магнитные поля

Задание состоит из трех задач: 5.1 — электрическое поле, неизменное во времени, 5.2 — магнитное поле, неизменное во времени, 5.3 — расчет электрического поля путем составления интегрального уравнения и приближенного решения его.

Номера задач, которые должны быть решены студентом, указаны в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Вариант	Номера задач			Вариант	Номера задач			Вариант	Номера задач			Вариант	Номера задач		
	5.1	5.2	5.3		5.1	5.2	5.3		5.1	5.2	5.3		3.1	5.2	5.3
1	1а	3б	39а	26	11б	8в	44в	51	24в	33г	39е	76	30г	28д	44з
2	2а	29б	40а	27	12б	22в	45в	52	18в	20г	40е	77	35г	36д	45з
3	4а	31б	41а	28	17б	21в	46в	53	26в	14г	41е	78	37г	32д	46з
4	13а	6б	42а	29	5б	23в	47в	54	27в	38г	42е	79	7г	9д	47з
5	19а	9б	43а	30	10б	25в	48в	55	16в	34г	43е	80	15г	29д	48з
6	11а	8б	44а	31	24б	33в	39г	56	30в	28г	44е	81	1д	3а	39и
7	12а	22б	45а	32	18б	20в	40г	57	35в	36г	45е	82	2д	29а	40и
8	17а	21б	46а	33	26б	14в	41г	58	37в	32г	46е	83	4д	31а	41и
9	5а	23б	47а	34	27б	38в	42г	59	7в	9г	47е	84	13д	6а	42и
10	10а	25б	48а	35	16б	34в	43г	60	15в	29г	48е	85	19д	9а	43и
11	24а	33б	39б	36	30б	28в	44г	61	1в	3д	39ж	86	11д	8а	44и
12	18а	20б	40б	37	35б	36в	45г	62	2г	29д	40ж	87	12д	22а	45и
13	26а	14б	41б	38	37б	32в	46г	63	4г	31д	41ж	88	17д	21а	46и
14	27а	38б	42б	39	7б	9в	47г	64	13г	6д	42ж	89	5д	23а	47и
15	16а	34б	43б	40	15б	29в	48г	65	19г	9д	43ж	90	10д	25а	48и
16	30а	28б	44б	41	1в	3г	39д	66	11г	8д	44ж	91	24д	33а	39к
17	35а	36б	45б	42	2в	29г	40д	67	12г	22д	45ж	92	18д	20а	40к
18	37а	32б	46б	43	4в	31г	41д	68	17г	21д	46ж	93	26д	14а	41к
19	7а	9б	47б	44	13в	6г	42д	69	5г	23д	47ж	94	27д	38а	42к
20	15а	29б	48б	45	19в	9г	43д	70	10г	25д	48ж	95	16д	34а	43к
21	1б	3в	39в	46	11в	8г	44д	71	24г	33д	39з	96	30д	28а	44к
22	2б	29в	40в	47	12в	22г	45д	72	18г	20д	40з	97	35д	36а	45к
23	4б	31в	41в	48	17в	21г	46д	73	26г	14д	41з	98	37д	32а	46к
24	13б	6в	42в	49	5в	23г	47д	74	27г	38д	42з	99	7д	9а	47к
25	19б	9в	43в	50	10в	25г	48д	75	16г	34д	43з	100	15д	29а	48к

Различные варианты задачи 5.3 представлены в виде двух групп задач. Первая группа — на расчет электрического поля в диэлектрике (задачи 39—43), вторая — на расчет электрического поля в проводящей среде (задачи 44—47). К каждой из этих групп задач приведен алгоритм решения и поясняющие примеры на с. 131, 136.

1. Параллельно бесконечно протяженному плоскому листу из проводящего материала на расстоянии $r = 4$ см от его поверхности расположен прямой бесконечно длинный провод круглого сечения диаметром $d = 2$ мм. Между листом и проводом с помощью источника постоянной ЭДС, присоединенного положительным полюсом к листу, а отрицательным к проводу, поддерживается разность потенциалов 400 В. Среда, окружающая провод, — воздух. Расположение проводящего листа, провода и осей координат для этой задачи показано на рис. 5.1. Требуется:

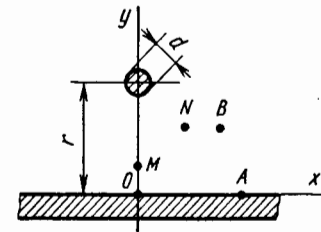


Рис. 5.1

1) качественно начертить картину электрического поля в плоскости, перпендикулярной оси провода;

2) рассчитать емкость между плоскостью и проводом на единицу длины провода;

3) для варианта а — найти плотность поверхностного заряда на листе в точке А с координатами $x_A = 4$ см, $y_A = 0$, полагая потенциал листа равным нулю, определить потенциал точки В с координатами $x_B = 3$ см, $y_B = 2$ см; для варианта б — найти вектор напряженности электрического поля в точке В с координатами $x_B = 3$ см, $y_B = 2$ см; определить, в какой точке плотность поверхностных зарядов на листе будет максимальной; найти плотность зарядов в этой точке; для варианта в — найти разность потенциалов точек М и N, координаты которых $x_M = 0$, $y_M = 1$ см, $x_N = 2$ см; $y_N = 2$ см; найти вектор напряженности электрического поля в точке М; для варианта г — определить зависимость поверхностной плотности зарядов на листе от координаты x и построить эту кривую; для варианта д — найти разность потенциалов точек М и В; определить вектор напряженности электрического поля в точке N ($x_N = 2$ см, $y_N = 2$ см).

Расчеты во всех вариантах вести, полагая, что электрическая ось провода совпадает с его геометрической осью.

2. Объемные заряды с неизменной плотностью $\rho = 10^{-8}$ Кл/см³ расположены в пространстве, ограниченном двумя коаксальными цилиндрическими поверхностями. Радиус внутренней цилиндрической поверхности $r_1 = 1$ см, внешний $r_2 = 4$ см. Диэлектрическая проницаемость вещества между двумя цилиндрическими поверхностями $\epsilon_1 = 4$, в остальной части пространства $\epsilon_2 = 1$. Требуется:

1) определить потенциал электрического поля во всем пространстве как функцию расстояния до оси цилиндра.

Указание. При составлении выражений для потенциала считать, что потенциал внешней цилиндрической поверхности равен нулю;

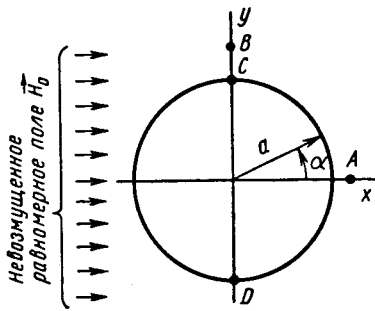


Рис. 5.2

2) для варианта а — найти напряженность электрического поля в тех точках, где она имеет максимальное значение; для варианта б — найти значение

$$\int_A^B \vec{E} d\vec{l};$$

координаты точек А и В: $R_A = = 2$ см. $\alpha_A = 45^\circ$, $R_B = 6$ см, $\alpha_B = 180^\circ$; для варианта в — найти плотность поверхностных связанных зарядов на границе

$r_2 = 4$ см; для варианта г — построить зависимость модуля вектора электрического смещения \vec{D} как функцию расстояния до оси цилиндра; для варианта д — найти разность потенциалов между цилиндрическими поверхностями, окружающими заряд.

3. Однородное магнитное поле с напряженностью $H_0 = 100$ А/м, существующее в воздухе и направленное вдоль оси x (рис. 5.2), возмущено введением длинного перпендикулярно плоскости рисунка. Вещество цилиндра расположено перпендикулярно плоскости рисунка. Вещество цилиндра имеет магнитную проницаемость $\mu_r = 100$. Радиус цилиндра $a = 10$ см. Требуется:

1) определить магнитный скалярный потенциал возмущенного поля во всех точках пространства, полагая, что потенциал плоскости $y = 0$;

2) для варианта а — определить вектор напряженности магнитного поля в точке А с координатами $x_A = 12$ см, $y_A = 0$; для варианта б — определить вектор магнитной индукции в точке В с координатами $x_B = = 0$, $y_B = 12$ см; для варианта в — найти магнитный поток через сечение цилиндра CD на единицу длины; для варианта г — построить эквипотенциальную линию, проходящую через точку А ($x_A = 12$ см, $y_A = 0$); для варианта д — построить круговую зависимость скалярного магнитного потенциала от координаты α на поверхности цилиндра.

4. Внутри полого круглого медного цилиндра размещен провод эллиптического сечения. Продольные оси цилиндра и провода параллельны. Взаимное расположение цилиндра и провода, а также все необходимые размеры указаны на рис. 5.3, где изображен разрез обоих тел плоскостью, перпендикулярной их осям. Среда, заполняющая пространство между проводом и цилиндром, имеет диэлектрическую проницаемость $\epsilon_r = 5$. Требуется:

1) графически построить картину электрического поля, возникающего в этой среде, и рассчитать по картине поля емкость между цилиндром и проводом на единицу их длины.

Указание. При решении задачи полагать, что длины провода и цилиндра достаточно велики и краевым эффектом можно пренебречь. При построении картины поля цилиндр и провод изобразить в натуральную величину;

2) для варианта а — найти максимальные значения напряженности поля E_{\max} , если между цилиндром и проводом поддерживается разность потенциалов 1000 В; для варианта б — найти напряжение между точками А и В, если напряжение между проводом и цилиндром 500 В; координаты точек А и В: $x_A = 80$ мм, $y_A = 0$; $x_B = 0$, $y_B = = 40$ мм; для варианта в — найти минимальную напряженность поля E_{\min} , если напряжение между проводом и цилиндром 1000 В; для варианта г — определить максимальную плотность распределенных свободных зарядов по поверхности внутреннего провода, если напряжение между цилиндром и проводом 1000 В; для варианта д — определить энергию электрического поля на единицу длины и максимальную объемную плотность энергии, если напряжение между цилиндром и проводом 1000 В.

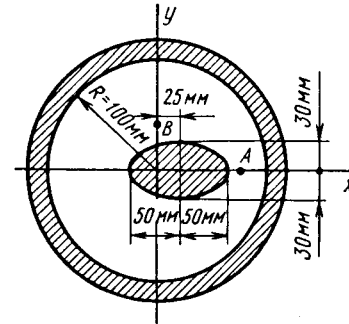


Рис. 5.3

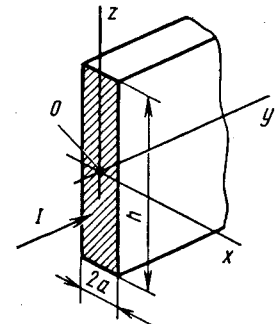


Рис. 5.4

5. В воздухе находится проводящий шар радиусом $a = 0,1$ м. На расстоянии $b = 0,15$ м от центра шара находится точечный заряд $q = = 10^{-12}$ Кл. Начало декартовой системы координат совмещено с центром шара, точечный заряд расположен на оси x . Определить напряженность электрического поля \vec{E} и потенциал ϕ в точке с заданными координатами x и y .

Для варианта а — предварительно незаряженный шар помещен в поле точечного заряда и заземлен (заряд шара определить самим); координаты точки: $x = 0,1$ м, $y = 0,1$ м; для варианта б — шар не заземлен и имеет суммарный заряд $Q = 10^{-12}$ Кл; координаты точки: $x = 0,1$ м, $y = 0,1$ м; для варианта в — шар не заземлен и имеет заряд $Q = -10^{-12}$ Кл; координаты точки: $x = -0,1$ м, $y = 0,1$ м; для варианта г — предварительно незаряженный шар помещен в поле точечного

заряда и заземлен (заряд шара определить самим); координаты точки: $x = -0,1$ м; $y = -0,1$ м; для варианта д — шар не заземлен, суммарный заряд шара $Q = 2 \cdot 10^{-12}$ Кл; координаты точки: $x = 0,1$ м, $y = -0,1$ м.

У к а з а н и е. Если шар не заземлен, то заряд шара состоит из двух зарядов: заряда-изображения q_1 и заряда в центре шара q_2 . При этом $q_1 + q_2 = Q$, где Q — заданный заряд шара.

6. По прямоугольной и весьма длинной стальной шине, изображенной на рис. 5.4, в направлении оси y проходит постоянный ток $I = 100$ А, $h = 5$ см, $2a = 0,4$ см. Учтывая, что ширина шины во много раз больше ее толщины $2a$, можно считать, что как внутри шины, так и вблизи ее магнитное поле зависит только от координаты x . Магнитная проницаемость стальной шины $\mu_r = 600$, магнитная проницаемость окружающей среды равна $\mu_r = 1$. Требуется:

1) на основе указанного допущения определить векторный потенциал как функцию координаты для трех областей: внутри шины, вне шины при $x > +a$ и вне шины при $x < -a$;

2) построить график зависимости модуля векторного потенциала от координаты x в пределах изменения от $x = -1$ см до $x = +1$ см.

У к а з а н и е. При определении векторного потенциала считать, что в точках плоскости $x = 0$ векторный потенциал равен нулю;

3) для варианта а — найти индукцию в функции координаты x во всех трех областях пространства, исходя из соотношения $\vec{B} = \text{rot} \vec{A}$; для варианта б — найти магнитный поток, пронизывающий прямоугольную площадку, находящуюся в плоскости xoy и образованную двумя парами параллельных прямых. Уравнения этих прямых таковы: $x = 0,1$ см, $x = 0,5$ см, $y = 0$, $y = 10$ см; для варианта в — найти энергию магнитного поля внутри шины на единицу его длины. Для определения энергии использовать выражение $W = \int_V \frac{HB}{2} dV$ (dV — элемент объема шины); для варианта г — определить зависимость модуля вектора Пойнтинга от расстояния x внутри шины, т. е. $P = f(x)$, если проводимость стали $\gamma = 1 \cdot 10^7$ 1/(Ом·м); для варианта д — найти магнитный поток внутри шины.

7. Два тонких параллельных провода расположены над проводящей поверхностью. Провода несут заряды, линейные плотности которых равны: $\tau_1 = +10^{-8}$ Кл/м и $\tau_2 = -0,6 \cdot 10^{-8}$ Кл/м. Взаимное расположение проводов и необходимые размеры указаны на рис. 5.5. Провода одинакового сечения, их диаметр $D = 10$ мм. Среда, окружающая провода — воздух. Требуется:

1) построить график распределения плотности поверхностных зарядов от координаты x в интервале от $x = -40$ см до $x = +60$ см;

2) для варианта а — найти частичную емкость между проводами; для варианта б — найти потенциал в точке А с координатами $x_A = 40$ см., $y_A = 10$ см, полагая, что потенциал проводящей поверхности

равен нулю; для варианта в — найти силу, действующую на единицу длины второго провода; для варианта г — определить разность потенциалов между проводами; для варианта д — найти энергию электрического поля, образованного проводами, на единицу их длины.

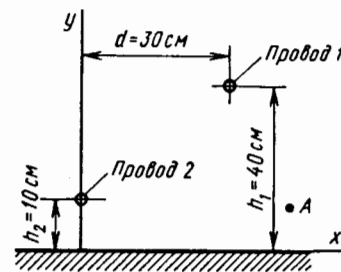


Рис. 5.5

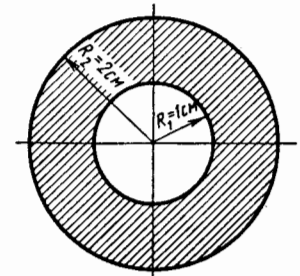


Рис. 5.6

8. По длинной уединенной медной трубе, сечение которой с указанными размерами дано на рис. 5.6, течет постоянный ток $I = 1000$ А. Магнитная проницаемость среды как внутри трубы, так и вне ее $\mu_r = 1$. Удельная проводимость меди $\gamma = 5,7 \cdot 10^7$ 1/(Ом·м). Требуется:

1) определить векторный потенциал как функцию расстояния от оси трубы для трех областей: $r \leq R_1$, $R_1 \leq r \leq R_2$, $r \geq R_2$.

У к а з а н и е. Принять, что векторный потенциал в точках, лежащих на внешней стороне трубы, равен нулю;

2) для варианта а — рассчитать магнитный поток, замыкающийся внутри стенки трубы, на единицу ее длины; для варианта б — определить значение магнитной индукции во всех трех областях и построить график зависимости индукции от расстояния до оси трубы; для варианта в — найти значение напряженности магнитного поля во всех трех областях и построить график зависимости напряженности магнитного поля от расстояния до оси трубы; для варианта г — вычислить вектор Пойнтинга в точке, соответствующей $r_3 = 1,5$ см; для варианта д — определить энергию магнитного поля, сосредоточенную в стенках трубы, на единицу длины.

9. По длинному стальному уединенному цилиндру в направлении оси z (рис. 5.7) протекает постоянный ток $I = 220$ А. Радиус цилиндра $r_0 = 1$ см. Относительная магнитная проницаемость стали, из которой изготовлен цилиндр, $\mu_r = 800$, а окружающей среды $\mu_r = 1$. Требуется:

1) определить векторный потенциал внутри и вне цилиндра как функцию расстояния r от его оси;

У к а з а н и е. При решении задачи принять, что векторный потенциал точек на оси z равен нулю;

2) для варианта а — найти магнитный поток, пронизывающий прямоугольную площадку $abcd$, лежащую в плоскости xoy (располо-

жение площадки и ее размеры даны на рис. 5.7); для варианта б — вычислить магнитный поток на единицу длины, линии которого замыкаются внутри цилиндра; для варианта в — определить энергию магнитного поля внутри цилиндра на единицу его длины. Для определения энергии следует использовать выражение $W = \int_V \frac{HB}{2} dV$ (здесь dV — элемент объема); для варианта г — рассчитать взаимную индуктивность между цилиндром и рамкой $cdef$, лежащей в плоскости $zoу$. Сторона ef рамки находится у самой поверхности цилиндра, но изолирована от него; число витков рамки $w = 1$; для варианта д — определить $B(r)$ вне и внутри провода, используя для этой цели выражение для $A(r)$.

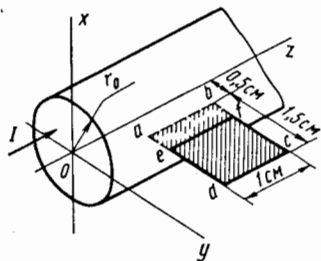


Рис. 5.7

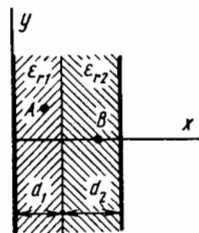


Рис. 5.8

10. К плоскому конденсатору с двухслойной изоляцией (рис. 5.8) приложено напряжение $U = 1000$ В. Диэлектрические проницаемости и толщины слоев изоляции: $\epsilon_{r1} = 2$, $d_1 = 0,2$ см, $\epsilon_{r2} = 5$, $d_2 = 0,3$ см, площадь пластин $S = 25$ см². Требуется:

- 1) определить емкость конденсатора;
- 2) для варианта а — построить графики зависимостей $E(x)$, $D(x)$, $\varphi(x)$, приняв $\varphi = 0$ при $x = 0$; для варианта б — определить поверхностную плотность связанных зарядов на границе раздела диэлектриков; для варианта в — построить график зависимости $P(x)$; для варианта г — построить совокупность силовых и эквипотенциальных линий в каждом слое, вычислить разность потенциалов между точками $A(x_A = 0,1$ см, $y_A = 1$ см) и $B(x_B = 0,35$ см, $y_B = 0)$; для варианта д — построить график изменения объемной плотности энергии $w(x)$ и определить энергию электрического поля конденсатора.

11. Над безграничной плоской проводящей поверхностью расположены три длинных тонких прямых провода. Все три провода параллельны этой поверхности. Взаимное расположение плоскости и проводов (в разрезе) с указанием необходимых размеров дано на рис. 5.9. Среда над проводящей поверхностью имеет относительную диэлектрическую проницаемость: $\epsilon_r = 1$. Провода несут электрические заряды, линейная плотность которых: $\tau_1 = 10^{-11}$ Кл/м, $\tau_2 = -10^{-11}$ Кл/м, $\tau_3 =$

$= 0,5 \cdot 10^{-11}$ Кл/м (индексы 1, 2, 3 означают номера проводов). Радиусы всех трех проводов одинаковы: $R = 5$ мм. Требуется:

- 1) написать выражение для потенциала поля, полагая, что потенциал проводящей поверхности равен нулю;
- 2) для варианта а — определить вектор напряженности электрического поля в точке A с координатами $x_A = 4$ м, $y_A = 2$ м; для варианта б — найти частичную емкость C_{12} ; для варианта в — рассчитать плотность поверхностных зарядов в точке B с координатами $x_B = 1$ м, $y_B = 0$; для варианта г — определить емкость между первым и вторым проводами при условии, что третий провод изолирован и его заряд $q_3 = 0$; для варианта д — найти разность потенциалов между проводами.

12. Две безграничные проводящие полуплоскости образуют прямой двугранный угол. Параллельно обоим полуплоскостям расположен круглый прямой провод радиусом 5 мм. Взаимное расположение полуплоскостей и провода с указанием размеров дано в разрезе на рис. 5.10. Потенциал провода $\varphi_n = -100$ В, а потенциал про-

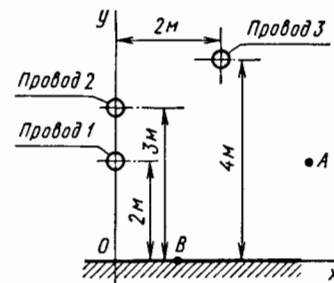


Рис. 5.9

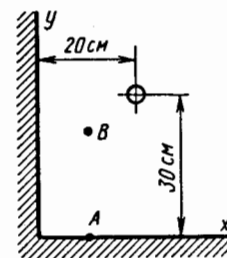


Рис. 5.10



Рис. 5.11

водящих граней угла равен нулю. Среда, окружающая провод, имеет диэлектрическую проницаемость $\epsilon_r = 3$. Требуется:

- 1) определить линейную плотность электрического заряда на проводке;
- 2) для варианта а — найти емкость между проводящими гранями и проводом; для варианта б — найти поверхностную плотность заряда, индуцированного на горизонтальной полуплоскости, в точке A ($x_A = 10$ см; $y_A = 0$); для варианта в — найти силу, действующую на еди-

ницу длины провода; для варианта г — определить потенциал точки B ($x_B = 10$ см, $y_B = 20$ см); для варианта д — определить энергию поля, образованного зарядом провода, на единицу его длины.

13. Равномерное электрическое поле, существующее в среде с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 4$ (направление поля показано на рис. 5.11), возмущено внесенным в поле проводящим шаром, несущим на себе заряд $Q = 5,56 \cdot 10^{-10}$ Кл. Напряженность невозмущенного электрического поля $E_0 = 10^3$ В/м. Радиус шара $a = 4$ см. Требуется:

1) построить полярную диаграмму плотности заряда на поверхности шара в плоскости рисунка;

2) для варианта а — определить напряженность электрического поля в точке A ($x_A = 7,35$ см, $z_A = 3,2$ см) и в точке B ($x_B = 0$, $z_B = 5$ см); для варианта б — по 5–6 точкам построить след эквипотенциальной поверхности, проходящей через точку A ($x_A = 6,4$ см, $z_A = 3,2$ см); для варианта в — по 5–6 точкам построить след эквипотенциальной поверхности, проходящей через точку B ($x_B = 0$, $z_B = 5$ см); для варианта г — построить график изменения потенциала $\varphi(z)$ по 5–6 точкам, лежащим на оси z в интервале $0 \leq z \leq 180^\circ$; для варианта д — построить график изменения напряженности электрического поля $E(z)$ по 5–6 точкам, лежащим на оси z в интервале $0 \leq \theta \leq 180^\circ$.

Указание. В вариантах г и д точки рекомендуется взять так, чтобы одна была в центре шара, а остальные были расположены симметрично по отношению к оси x .

14. Две длинные коаксиальные стальные трубки служат прямым и обратным проводом линии постоянного тока. Ток в этой линии 100 А; по внешней трубке ток течет «от нас». Размеры трубок указаны на разрезе рис. 5.12. Магнитная проницаемость стали, из которой изготовлены трубки, $\mu_1 = 100$, а среды, заполняющей остальное пространство, $\mu_2 = 1$. Требуется:

1) найти зависимость модуля векторного магнитного потенциала $A = f(r)$ в тех областях, где определяется магнитный поток.

Указание. Считать, что векторный потенциал в точках на наружной поверхности внутренней трубки равен нулю;

2) определить:

для варианта а — магнитный поток, замыкающийся по внутреннему проводу; для варианта б — магнитный поток, замыкающийся в пространстве между проводами; для вариан-

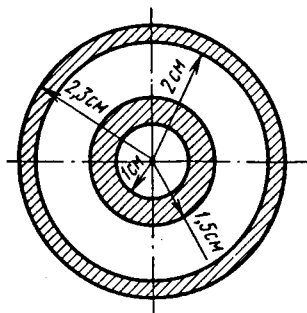


Рис. 5.12

та в — магнитный поток, замыкающийся по внешнему проводу; для варианта г — суммарный магнитный поток, замыкающийся в пространстве между проводами и по внутреннему проводу; для варианта д — суммарный магнитный поток, замыкающийся в пространстве между проводами и по внешнему проводу.

15. В воздухе между двумя цилиндрическими поверхностями, оси которых параллельны, равномерно распределен заряд с объемной плотностью $\rho = 10^{-5}$ Кл/м³. Взаимное расположение цилиндрических поверхностей с указанием размеров дано на рис. 5.13. Требуется:

1) определить вектор напряженности электрического поля внутри малого цилиндра;

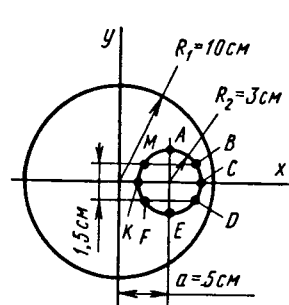


Рис. 5.13

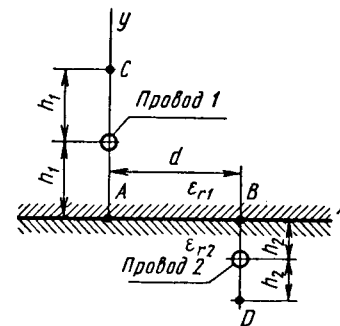


Рис. 5.14

2) определить разность потенциалов между точками, находящимися на поверхности малого цилиндра:

для варианта а — точки A и E ; для варианта б — точки C и K ; для варианта в — точки M и D ; для варианта г — точки M и B ; для варианта д — точки B и F .

16. Параллельно безграничной плоскости раздела двух диэлектриков и параллельно друг другу расположены два тонких длинных провода. Провод 1 с зарядом $\tau_1 = 10^{-11}$ Кл/м и провод 2 с зарядом $\tau_2 = 3 \cdot 10^{-12}$ Кл/м. Взаимное расположение проводов и плоскости раздела диэлектриков см. на рис. 5.14. Радиусы проводов одинаковы и равны $r_0 = 1$ мм, $h_1 = 50$ мм, $h_2 = 30$ мм, $d = 100$ мм, $\epsilon_{r1} = 7$, $\epsilon_{r2} = 2$. Определить:

для варианта а — разность потенциалов между проводом 1 и точкой A с координатами $x = 0$, $y = 0$, для варианта б — напряженность поля в точке C ; для варианта в — силу, действующую на единицу длины провода 1; для варианта г — разность потенциалов между точкой B ($x_B = 100$, $y_B = 0$) и проводом 2; для варианта д — напряженность поля в точке D .

17. Равномерное электростатическое поле, существовавшее в воздухе и направленное на оси x (рис. 5.15), возмущено длинным медным цилиндром, ось которого перпендикулярна вектору напряженности невозмущенного поля \vec{E}_0 . Модуль вектора $E_0 = 50$ В/м. Радиус медного цилиндра $r_0 = 1$ см. Требуется:

1) по 5–6 точкам во втором квадранте построить след эквипотенциальной поверхности, проходящей через точку A ($R_A = 1,3$ см, $\alpha_A = 120^\circ$);

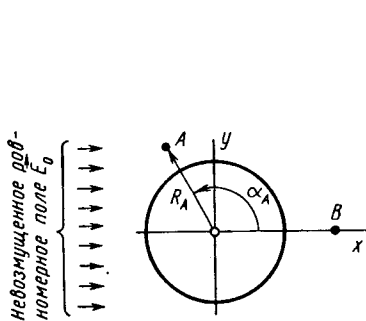


Рис. 5.15

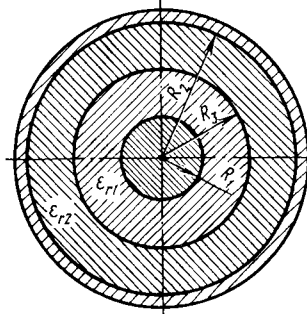


Рис. 5.16

2) для варианта а — построить график зависимости поверхностной плотности зарядов на цилиндре от угла α ; для варианта б — найти заряд, индуцированный на левой половине цилиндра, на единицу его длины; для варианта в — определить значение максимальной напряженности возмущенного электростатического поля и вычислить, во сколько раз оно больше напряженности невозмущенного поля; построить кривую $E_x(x)$ для точек на оси абсцисс; для варианта г — определить разность потенциалов между точками A ($R_A = 13$ см, $\alpha_A = 120^\circ$) и B ($R_B = 2$ см, $\alpha_B = 0^\circ$); для варианта д — построить зависимость $E_x(y)$ для точек по оси ординат.

18. Коаксиальный кабель с двухслойной изоляцией сконструирован так, что максимальная и минимальная напряженности электрического поля во внутреннем изоляционном слое равны соответственно максимальной и минимальной напряженностям электрического поля во внешнем изоляционном слое. Диэлектрическая проницаемость внутреннего слоя изоляции $\epsilon_1 = 5$, а внешнего $\epsilon_2 = 2$. Радиус внутренней жилы кабеля $R_1 = 5$ мм. Устройство коаксиального кабеля показано на рис. 5.16. Требуется:

1) учитывая указанную особенность электрического поля, определить внутренний радиус наружной жилы кабеля R_2 и толщины обоих слоев изоляции;

2) построить зависимость модулей напряженности электрического поля и вектора электрического смещения от расстояния r до оси кабеля, полагая, что к его жилам подведено напряжение 250 В; положительный полюс источника присоединен к внутренней жиле;

3) для варианта а — построить график зависимости модуля вектора поляризации от расстояния r ; для варианта б — найти плотность поверхностных связанных зарядов на границе раздела двух изоляционных слоев; для варианта в — определить потенциал точек на границе раздела изоляционных слоев, полагая, что потенциал наружной оболочки кабеля равен нулю; для варианта г — подсчитать емкость кабеля на единицу его длины; для варианта д — определить энергию электростатического поля кабеля на единицу его длины.

19. Сферический конденсатор имеет двухслойную изоляцию. Внешний радиус внутреннего электрода $R_1 = 10$ мм, а внутренний радиус внешнего электрода $R_2 = 20$ мм. Диэлектрическая проницаемость внутреннего слоя изоляции $\epsilon_1 = 5$. Устройство сферического конденсатора пояснено разрезом на рис. 5.16. Требуется:

1) определить радиус R_3 сферической поверхности раздела между двумя слоями изоляции и диэлектрическую проницаемость внешнего слоя изоляции, чтобы максимальная и минимальная напряженности электрического поля во внутреннем слое изоляции были бы соответственно равны максимальной и минимальной напряженностям электрического поля во внешнем слое изоляции;

2) построить график зависимости модулей напряженности электрического поля и электрического смещения в функции радиуса от центра конденсатора, полагая, что к его электродам подведено напряжение $U = 10^3$ В; положительный полюс источника присоединен к внутреннему электроду;

3) для варианта а — определить потенциал точек на поверхности раздела двух диэлектриков, полагая, что потенциал внутреннего электрода равен нулю; для варианта б — построить график зависимости модуля вектора поляризации в функции радиуса от центра конденсатора; для варианта в — найти поверхностную плотность связанных зарядов на границе раздела двух изоляционных слоев; для варианта г — вычислить емкость конденсатора; для варианта д — рассчитать энергию поля.

20. По прямоугольной рамке со сторонами $a = 4,63$ см, $b = 8$ см, расположенной в воздухе, протекает ток $I = 20$ А против часовой стрелки. Число витков в рамке $w = 10$. Рамка расположена в плоскости $хоу$. Ее центр находится в начале координат. Сторона b параллельна оси x .

Определить вектор магнитной индукции в заданной точке поля, координаты $(x; y)$ которой указаны в таблице:

Вариант	(x; y), см	Вариант	(x; y), см
а	(0; 0)	г	(-2; 1,16)
б	(2; 1,16)	д	(-2; -1,16)
в	(2; -1,16)		

21. По уединенной стальной шине в направлении оси y (см. рис. 5.4) проходит постоянный ток $I = 100$ А. Удельная проводимость шины $\gamma = 5 \cdot 10^6$ 1/(Ом·м). Магнитная проницаемость $\mu_r = 600$, $h = 5$ см, $2a = 0,4$ см. Требуется:

1) определить зависимость магнитной индукции $B = f(x)$ и построить ее график;

2) для варианта а — найти зависимость модуля векторного потенциала $A = f(x)$ для всех областей, приняв $A = 0$ при $x = 0$; для варианта б — найти магнитный поток внутри шины на единицу длины; для варианта в — найти энергию магнитного поля внутри шины на единицу длины; для варианта г — определить зависимость модуля вектора Пойнтинга $\Pi = f(x)$ для области внутри шины; для варианта д — исходя из уравнения Умова—Пойнтинга, определить величину сопротивления шины на единицу ее длины.

22. По прямому длинному медному цилиндрическому проводу диаметром 4 см (рис. 5.17) течет постоянный ток $I = 628$ А. Требуется:

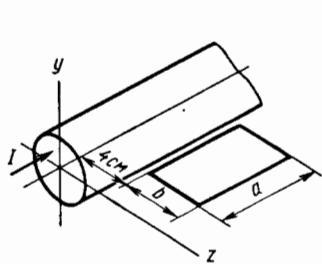


Рис. 5.17

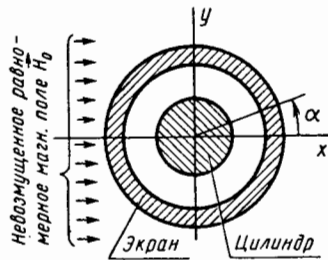


Рис. 5.18

1) определить зависимость векторного потенциала в функции радиуса r от оси цилиндра для точек внутри и вне провода, считая векторный потенциал на поверхности провода равным нулю;

2) для варианта а — определить магнитный поток, пронизывающий рамку с размерами $a = 10$ см, $b = 5$ см; для варианта б — определить магнитный поток через рамку с размерами $a = 10$ см, $b = 5$ см, считая, что рамка сдвинута в радиальной плоскости до соприкоснове-

ния стороны a с образующей провода; для варианта в — вычислить магнитный поток, замыкающийся в самом проводе на 1 м его длины; для варианта г — определить энергию, обусловленную взаимной индуктивностью провода и рамки ($a = 10$ см, $b = 5$ см); для варианта д — определить взаимную индуктивность M между проводом и рамкой ($a = 10$ см, $b = 5$ см), считая, что второй провод находится в бесконечности и его поле можно не учитывать (рамку с числом витков $w = 1$ расположить в соответствии с вариантом б).

23. В равномерное магнитное поле $H_0 = 100$ А/м, существующее в воздухе и направленное по оси x (рис. 5.18), помещен длинный медный провод круглого сечения диаметром 4 см, который окружен магнитным экраном. По проводу в направлении «от нас» проходит постоянный ток $I = 2,1$ А. Магнитный экран выполнен в виде концентрически расположенной относительно оси провода стальной трубы, имеющей стенку толщиной 1 см и внешний диаметр 10 см. Магнитная проницаемость стали $\mu_r = 100$. Требуется:

для варианта а — построить график зависимости напряженности магнитного поля $H(y)$ от расстояния до оси провода для точек, лежащих на оси y , в пределах изменения y от -4 см ($\alpha = 180^\circ$) до 4 см ($\alpha = 0^\circ$); для варианта б — найти в плоскости рис. 5.18 точки, в которых напряженность магнитного поля равна нулю; для варианта в — найти в плоскости рис. 5.18 точки, в которых напряженность магнитного поля равна нулю, если направление тока по проводу изменилось на противоположное; для варианта г — построить график зависимости векторного потенциала $A(y)$ от расстояния до оси провода для точек, лежащих на оси y в пределах изменения y от -4 см ($\alpha = 180^\circ$) до 4 см ($\alpha = 0^\circ$); значение векторного потенциала в начале координат принять равным нулю; для варианта д — определить магнитный поток на единицу длины между проводом и экраном в плоскости yoz .

Указание. При решении воспользоваться методом наложения.

24. Параллельно безграничной плоскости раздела двух диэлектриков и параллельно друг другу расположены два длинных провода круглого сечения. Радиусы проводов одинаковы и равны 1 мм. Взаимное расположение проводов и плоскости раздела диэлектриков с указанием необходимых размеров дано на рис. 5.19; $\epsilon_{r1} = 2$, $\epsilon_{r2} = 6$. Определить:

для варианта а — емкость между проводами на единицу их длины; для варианта б — заряды проводов на единицу длины, если линия включена на напряжение 10 кВ; для варианта в — напряжение между проводами линии, если известно, что провода линии за-

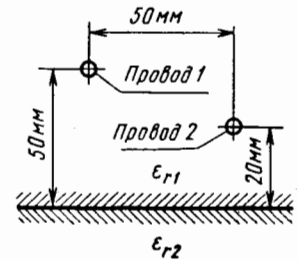


Рис. 5.19

ряжены противоположными по знаку зарядами с линейной плотностью $\tau = 28,5 \cdot 10^{-9}$ Кл/м; для варианта г — силу, действующую на единицу длины провода, если провода линии заряжены противоположными по знаку зарядами с линейной плотностью $\tau = 28,5 \cdot 10^{-9}$ Кл/м; для варианта д — энергию системы из двух проводов на единицу их длины, если провода линии заряжены противоположными по знаку зарядами с линейной плотностью $\tau = 28,5 \cdot 10^{-9}$ Кл/м.

25. Коаксиальный кабель имеет двухслойную изоляцию (см. рис. 5.16). Радиус внутренней жилы кабеля $R_1 = 5$ мм, а внутренний радиус внешней жилы $R_2 = 40$ мм. Диэлектрическая проницаемость внутреннего слоя изоляции $\epsilon_{r1} = 5$, а внешнего слоя $\epsilon_{r2} = 2$. Поток вектора Пойнтинга через поперечное сечение каждого из изоляционных слоев равен друг другу. Требуется:

1) определить толщины этих слоев;

2) полагая, что ток в жилах кабеля — I , а напряжение между внутренней и внешней жилами U , построить график зависимости модуля вектора Пойнтинга в функции от расстояния r до оси кабеля. Числовые значения I и U даны для пяти вариантов задачи:

Вариант	I , А	U , В	Вариант	I , А	U , В
а	10	1000	г	50	200
б	40	250	д	100	100
в	20	500			

26. Параллельно безграничной плоскости раздела двух диэлектриков и параллельно друг другу расположены два длинных провода круглого сечения. Радиусы проводов 1 и 2 соответственно равны: $R_1 = 2$ мм, $R_2 = 1$ мм. Взаимное расположение проводов и плоскости раздела диэлектриков дано на рис. 5.14; $\epsilon_{r1} = 7$, $\epsilon_{r2} = 2$, $h_1 = 50$ мм, $h_2 = 30$ мм, $d = 100$ мм. Определить:

для варианта а — емкость между проводами на единицу их длины; для варианта б — заряды проводов на единицу их длины, если линия включена на напряжение 10^3 В; для варианта в — напряжение между проводами линии, если $\tau_1 = -\tau_2 = 38,5 \cdot 10^{-9}$ Кл/м; для варианта г — силы, действующие на единицу длины каждого провода, если $\tau_1 = -\tau_2 = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл/м; для варианта д — плотность связанных зарядов в точке А, если $\tau_1 = -\tau_2 = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл/м.

27. Трём уединенным проводящим телам 1, 2, 3 первоначально сообщены заряды $q_1 = 10^{-9}$ Кл, $q_2 = -2 \cdot 10^{-9}$ Кл и $q_3 = 3 \cdot 10^{-9}$ Кл. Величины частичных емкостей определены из опыта и имеют следующие значения:

$$C_{11} = 10^{-11} \text{ Ф}, C_{22} = 2 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}, C_{33} = 3 \cdot 10^{-11} \text{ Ф},$$

$$C_{12} = 4 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}, C_{23} = 5 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}, C_{13} = 6 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}.$$

С помощью проводника уравнивают электрическую связь между телами 1 и 2, что приводит к перераспределению зарядов между ними. Определить:

для варианта а — заряды тел 1 и 2 после установления электрической связи; для варианта б — потенциал всех тел после установления электрической связи; для варианта в — энергию системы трех проводящих тел после установления электрической связи; для варианта г — разность потенциалов между проводами до и после установления электрической связи; для варианта д — энергию до установления электрической связи.

Указание. При решении воспользоваться третьей группой формул Максвелла и учесть, что суммарный заряд тел 1 и 2 после их электрического соединения не изменится.

28. Параллельно безграничной плоскости раздела двух различных ферромагнитных сред и параллельно друг другу расположены два длинных тонких провода. Вблизи линии находится виток, имеющий вид прямоугольной рамки. Взаимное расположение проводов линии, проводов витка и плоскости раздела ферромагнитных сред дано на рис. 5.20. Размер витка в направлении, перпендикулярном плоскости рисунка, равен 100 мм, радиус проводов $r_0 = 1$ мм, $a = 50$ мм, $b = 50$ мм, $c = f = d = 20$ мм, $\mu_{r1} = 50$, $\mu_{r2} = 200$. Определить:

для варианта а — поток, пронизывающий виток в положении 1, если в проводах линии протекает постоянный ток $I = 100$ А; для варианта б — взаимную индуктивность между двухпроводной линией и витком в положении 1; для варианта в — поток, пронизывающий виток в положении 1, считая, что по обоим проводам линии протекает постоянный ток $I = 100$ А в одинаковом направлении; для варианта г — поток, пронизывающий виток в положении 2, если в проводах линии протекает постоянный ток $I = 100$ А в различных направлениях; для варианта д — взаимную индуктивность между двухпроводной линией и витком в положении 2.

29. Квадратная рамка с числом витков $w = 1$ и током $I_1 = 20$ А расположена в одной плоскости с длинным прямолинейным проводом с током $I_2 = 100$ А. Размеры указаны на рис. 5.21. Определить:

для варианта а — взаимную индуктивность M между проводом и рамкой; для варианта б — силу воздействия на рамку протекающего по проводу тока; для варианта в — величину и направление магнитной индукции B в центре рамки с учетом магнитного поля провода и рамки; для варианта г — то же, что и для варианта в, если направление тока I_2 противоположно заданному на рисунке; для варианта д — величину

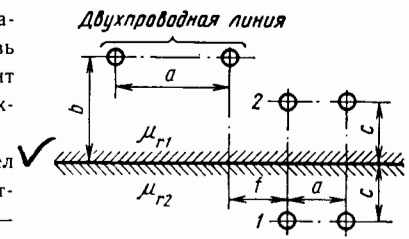


Рис. 5.20

и направление магнитной индукции B в центре круглого витка (вписанная в квадрат окружность, показанная на рисунке пунктиром) с учетом магнитного поля провода и витка. Направление токов I_1 и I_2 показано на рисунке.

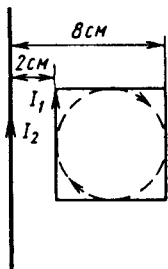


Рис. 5.21

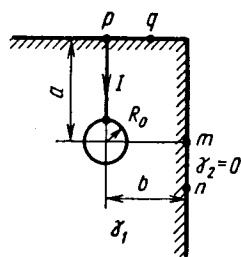


Рис. 5.22

30. Сферический заземлитель (электрод) радиусом R_0 находится в грунте с удельной проводимостью γ_1 . По вертикальному кабелю к заземлителю подводится ток I . Второй электрод удален бесконечно далеко, его потенциал равен нулю. Положение заземлителя показано на рис. 5.22. Значения a и b приведены в таблице:

Вариант	a , см	b , см	R_0 , см	γ , Ом $^{-1}$ ·м $^{-1}$	I , А
а	250	∞	20	$5 \cdot 10^{-2}$	—
б	200	∞	20	$5 \cdot 10^{-2}$	100
в	0	∞	20	$5 \cdot 10^{-2}$	—
г	∞	200	20	$8 \cdot 10^{-2}$	80
д	0	∞	—	$8 \cdot 10^{-2}$	100

Примечание. При решении следует применить метод зеркальных изображений по аналогии с электростатикой, заменив в соответствующих формулах заряды на токи и ϵ_0 на γ . Смещением электрических центров шаров относительно геометрических пренебречь. Требуется:

1) качественно построить картину поля;

2) для варианта а — рассчитать сопротивление заземлителя, равное $r_3 = \varphi_3/I$; для варианта б — определить напряжение между точками p и q , лежащими на горизонтальной границе раздела сред, если расстояние между ними $l_{pq} = 1$ м; для варианта в — найти ток короткого замыкания I , стекающий по заземлителю, при котором шаговое напряжение не превышает 150 В. Длину шага человека принять равной 0,8 м; для варианта г — вычислить удельную проводимость грунта, если напряжение между точками m и n , находящимися на

вертикальной границе раздела сред на расстоянии $l_{mn} = 1$ м друг от друга, равно 80 В; для варианта д — определить радиус заземлителя R_0 , если шаговое напряжение не превышает 100 В. Длина шага человека 0,8 м.

31. Параллельно безграничной плоскости раздела двух различных ферромагнитных сред и параллельно друг другу расположены два тонких длинных изолированных провода, образующих двухпроводную линию, по которой протекает постоянный ток $I = 10$ А. Направление токов в проводах, взаимное расположение проводов линии и плоскости раздела ферромагнетиков с указанием размеров приведены на рис. 5.23; $\mu_1 = 100$, $\mu_2 = 300$. Определить:

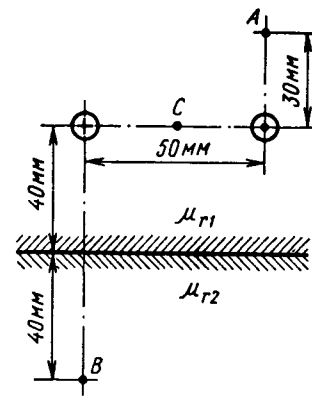


Рис. 5.23

для варианта а — разность скалярных магнитных потенциалов точек A и B , т. е. $\varphi_{MA} - \varphi_{MB}$; для варианта б — разность скалярных магнитных потенциалов точек A и B , т. е. $\varphi_{MA} - \varphi_{MB}$, если направление тока в линии, указанного на рис. 5.23, изменилось на противоположное; для варианта в — разность скалярных магнитных потенциалов точек A и B , т. е. $\varphi_{MA} - \varphi_{MB}$, если ток в линии увеличился вдвое; для варианта г — напряженность магнитного поля в точке C (посередине между проводами), токи такие, как в варианте а; для варианта д — напряженности магнитного поля в точках A и B .

Указание. Задачу 31 рекомендуется решать, используя метод наложения. При движении от точки A к точке B не следует пропускать контур с током. При подсчете $\varphi_{MA} - \varphi_{MB}$ от каждого из проводов с током направление движения от A к B рекомендуется брать одинаковым во всех случаях (либо по часовой стрелке, либо против нее).

32. Параллельно безграничной плоскости раздела двух различных ферромагнитных сред и параллельно друг другу расположены два тонких длинных изолированных провода радиусом $r_0 = 0,4$ см, образующих двухпроводную линию, по которой течет постоянный ток $I = 50$ А. Направления токов в проводах, взаимное расположение проводов линии и плоскости раздела ферромагнетиков с указанием размеров приведены на рис. 5.24; $\mu_1 = 400$, $\mu_2 = 100$. Определить:

для варианта а — напряженность магнитного поля на оси каждого провода линии; для варианта б — силы (по величине и направлению), действующие на единицу длины каждого провода линии; для варианта в — силы (по величине и направлению), действующие на единицу длины каждого провода линии, если направление тока в линии будет противоположным указанному на рис. 5.24; для варианта г — индуктив-

ность линии на единицу ее длины; для варианта д — магнитный поток между проводами линии на единицу ее длины.

33. Катушка из w витков тонкой проволоки, выполненная в виде прямоугольной рамки со сторонами a и b , находится в воздухе в равномерном магнитном поле $H_0 = 100$ А/м и защищена экраном, выполненным в виде стальной трубы. Взаимное расположение рамки, экрана и внешнего равномерного поля показано на рис. 5.25. Определить:

для варианта а — наименьший внешний диаметр трубы D_2 с таким расчетом, чтобы момент, действующий на рамку со стороны внешнего

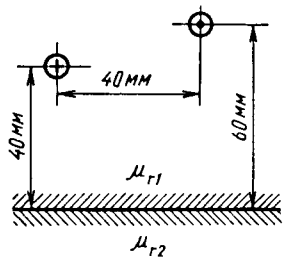


Рис. 5.24

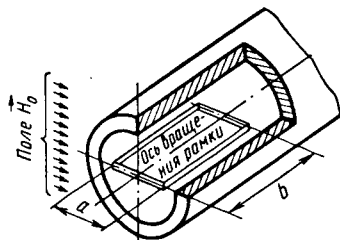


Рис. 5.25

поля, не превышал бы $8,37 \cdot 10^{-8}$ Н·м; $\mu_r = 100$, $w = 10$, $a = 6$ см, $b = 10$ см; внутренний диаметр трубы $D_1 = 8$ см; ток, протекающий по рамке, $I = 0,1$ А; для варианта б — наименьший внутренний диаметр трубы D_1 с таким расчетом, чтобы момент, действующий на рамку со стороны внешнего поля, не превышал бы $8,37 \cdot 10^{-8}$ Н·м; $\mu_r = 100$. $w = 5$, $a = 5$ см, $b = 12$ см; внешний диаметр трубы $D_2 = 10$ см; ток, протекающий по рамке, $I = 0,2$ А; для варианта в — момент, действующий на рамку со стороны внешнего поля, если $\mu_r = 100$, $w = 500$, $a = 4$ см, $b = 15$ см; внутренний диаметр трубы $D_1 = 8$ см; толщина трубы 1 см; текущий по рамке ток 0,2 А; для варианта г — величину магнитной проницаемости μ стальной трубы, если при внутреннем диаметре трубы $D_1 = 8$ см и внешнем диаметре $D_2 = 10$ см ослабление напряженности магнитного поля внутри трубы $H_0/H = 10$; вычислить потокоцепление рамки; для варианта д — магнитную проницаемость μ_r трубы с таким расчетом, чтобы момент, действующий на рамку со стороны внешнего поля, не превышал бы $8,37 \cdot 10^{-8}$ Н·м; $w = 10$, $a = 6$ см, $b = 10$ см; внутренний диаметр трубы $D_1 = 8$ см; внешний диаметр трубы $D_2 = 10$ см; ток, протекающий по рамке, 0,1 А.

34. Плоские шины толщиной $2a = 2$ мм, высотой $h = 3$ см расположены параллельно друг другу на расстоянии $2b = 3$ мм. Длина шин 5 м, удельная проницаемость материала шин $\gamma = 5 \cdot 10^7$ 1/(Ом·м) магнитная проницаемость $\mu_r = 2$. В шинах протекает постоянный ток

$I = 100$ А, приложенное между ними напряжение равно 60 В. Определить векторный потенциал как функцию координаты x для трех областей: вне шины при $x \leq -a$, внутри и вне шины при $a + 2b \geq x \geq a$ (рис. 5.26), приняв при $x = 0$, $A = 0$. Требуется:

для варианта а — построить для трех областей график модуля индукции $B(x)$; для варианта б — построить график модуля напряженности $H(x)$; для варианта в — построить график модуля векторного потенциала $A(x)$; для варианта г — построить график модуля вектора Пойнтинга $P(x)$; для варианта д — определить величину магнитного потока Φ на единицу длины, пронизывающего пространство между шинами двумя методами; рассматривая Φ как поток вектора магнитной индукции; через векторный магнитный потенциал.

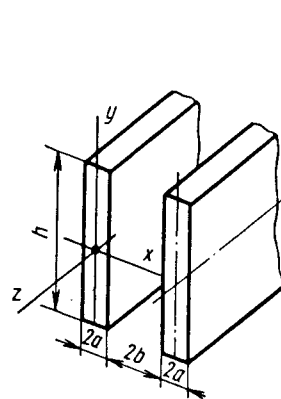


Рис. 5.26

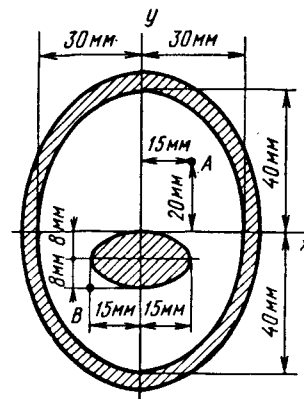


Рис. 5.27

35. Внутри длинной прямой трубы эллиптического сечения помещен длинный прямой провод тоже эллиптического сечения. Взаимное расположение трубы и провода с указанием необходимых размеров дано в разрезе на рис. 5.27. Пространство между обоими проводниками заполнено диэлектриком $\epsilon_r = 5$. Требуется:

1) построить графически (в масштабе 3 : 1) картину поля, полагая, что труба и провод подсоединены соответственно к положительному и отрицательному полюсам источника постоянного напряжения $U = 100$ В;

2) для варианта а — определить разность потенциалов точек А и В ($\varphi_A - \varphi_B$), если координаты точек $x_A = 15$ мм, $y_A = 20$ мм, $x_B = 15$ мм, $y_B = -16$ мм; для варианта б — определить емкость между проводниками на единицу их длины; для варианта в — по картине поля найти точки, в которых будут максимальная и минимальная напряженность поля; найти значения E_{\max} и E_{\min} для варианта г — определить за-

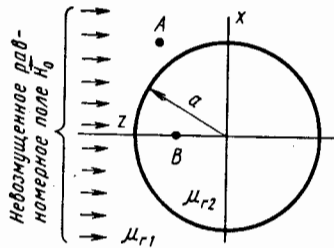


Рис. 5.28

ряд трубы и провода на единицу их длины; для варианта д — определить минимальные плотности зарядов на поверхности трубы и провода.

36. Равномерное магнитное поле, существующее в среде с магнитной проницаемостью $\mu_{r1} = 500$ (рис. 5.28), возмущено внесенным в поле шаром, вещество которого имеет магнитную проницаемость $\mu_{r2} = 200$. Напряженность невозмущенного поля $H_0 = 10^3$ А/м, радиус шара $a = 4$ см. Требуется:

для варианта а — определить напряженность магнитного поля в центре шара и в точке А ($z_A = 3$ см, $x_A = 4$ см); для варианта б — по 5–6 точкам построить след эквипотенциальной поверхности, проходящей через точку А ($z_A = 3$ см, $x_A = 4$ см); для варианта в — по 5–6 точкам построить след эквипотенциальной поверхности, проходящей через точку В ($z_B = 2,71$ см, $x_B = 0$); для варианта г — определить значение магнитного потока Φ , проходящего через шар; для варианта д — построить график $H(\theta)$ для точек внешней поверхности шара, расположенных в плоскости рисунка.

Указание к вариантам б и в. При построении эквипотенциали учесть, что кривая симметрична относительно оси x и потому все точки берем в одном квадранте.

37. Равномерное электрическое поле с напряженностью $E_0 = 10$ В/м, существующее в среде с удельной проводимостью $\gamma_1 = 2 \cdot 10^3$ 1/(Ом·м) и направленное по оси x (рис. 5.29), возмущено внесенным в поле цилиндром с удельной проводимостью $\gamma_2 = 5 \times 10^3$ 1/(Ом·м). Ось цилиндра перпендикулярна \vec{E}_0 , радиус его $a = 8$ см. Требуется:

для варианта а — определить напряженность поля на оси цилиндра и в точке В ($x_B = 3,15$ см, $y_B = 9,5$ см); для варианта б — по 5–6

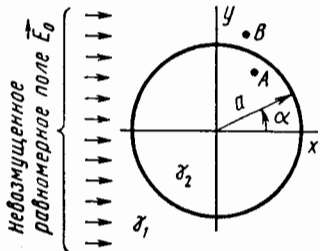


Рис. 5.29

точкам построить след эквипотенциальной поверхности, проходящей через точку В ($x_B = 3,15$ см, $y_B = 9,5$ см); для варианта в — по 5–6 точкам построить след эквипотенциальной поверхности, проходящей через точку А ($x_A = 4$ см, $y_A = 6$ см); для варианта г — найти значение тока, проходящего через цилиндр на единицу его длины; для варианта д — построить кривую зависимости плотности тока на поверхности цилиндра $\sigma_{\text{пов}}$ от угла α .

Указание. При построении эквипотенциали учесть, что кривая симметрична относительно оси x и поэтому все точки берем в одном квадранте.

38. В существующее в воздухе ($\mu_{r1} = 1$) равномерное магнитное поле (рис. 5.30) напряженностью $H_0 = 20$ А/см помещен длинный ферромагнитный цилиндр радиусом $a = 4$ см с магнитной проницаемостью $\mu_{r2} = 10$. Ось цилиндра перпендикулярна полю. Используя аналогию между электрическим и скалярным магнитным потенциалом, составить выражения для определения скалярного магнитного потенциала в обеих средах. Определить:

для варианта а — напряженность поля H внутри ферромагнитного цилиндра в точке А с координатами $R_A = 2$ см, $\alpha_A = 30^\circ$; для варианта б — магнитный поток через сечение цилиндра В — С на длине 1 м; для варианта в — разность скалярных магнитных потенциалов между точками D и E; для варианта г — магнитное напряжение U_{MK} между точками F и K, координаты которых $R_F = 5$ см, $\alpha_F = 135^\circ$, $R_K = 6$ см, $\alpha_K = 90^\circ$; для варианта д — напряженность H_F в точке F ($R_F = 5$ см, $\alpha_F = 135^\circ$).

39–43. В диэлектрике с известной ϵ_r в плоскости рисунка находятся два одинаковых цилиндрических электрода. Длина электродов l , расстояние h , радиус сечения r_0 заданы, при этом $l \gg r_0$, $h \gg r_0$. Электрод А имеет потенциал φ_A , электрод В — потенциал $\varphi_B = -\varphi_A$.

Номера рисунков к задачам, числовые значения r_0 , l , h , ϵ_r , φ_A и величина, которую требуется определить в пункте 4, указаны в табл. 5.2. Требуется:

1) составить интегральное уравнение, которому подчиняется линейная плотность заряда τ на электроде А и аналогичное уравнение для электрода В;

2) для приближенного решения интегральных уравнений по п. 1 разделить каждый электрод на три участка одинаковой длины с неизвестными τ . Составить систему алгебраических уравнений для определения всех τ . Определить коэффициенты этой системы и, решив ее, найти закон распределения линейной плотности заряда вдоль оси электрода А. Построить график зависимости $\tau = f(z)$ или $\tau = f(r)$;

3) вычислить емкость между электродами;

4) в соответствии с номером варианта определить либо потенциал точки, указанной в табл. 5.2, либо напряжение между заданными точками, учитывая, что все точки расположены в плоскости чертежа.

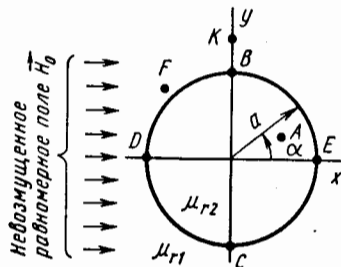


Рис. 5.30