

Представленные в методических указаниях задачи по электричеству и магнетизму могут быть использованы в качестве материалов расчетно-графического задания для студентов 1-2 курса дневного отделения НГТУ факультетов : РЭФ, ФЭН, ФТФ.

Составители: Кошелев Э.А., канд. физ.- мат. наук, доцент,
Невский Ю.Е., канд. физ.- мат. наук,
Сарина М.П., канд. техн. наук, доцент.

Рецензент: Холявко В.Н., канд. физ.- мат. наук, доц.

Работа подготовлена на кафедре прикладной и теоретической физики

1. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ

Элементарный заряд	$e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса электрона	$m_e = 9.11 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса протона	$m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
	$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9$ м / Ф
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Атомная единица энергии	1 Эв = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж

2. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Электростатика

1. Закон Кулона, описывающий взаимодействие между двумя точечными зарядами

$$F = \frac{kq_1q_2}{\epsilon r^2} .$$

В системе СИ $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, где ϵ_0 - электрическая постоянная, ϵ - диэлектрическая проницаемость среды.

2. Напряженность электрического поля в точке, удаленной от точечного заряда q на расстояние r в вакууме ($\epsilon = 1$).

$$E = \frac{kq}{r^2} .$$

3. Потенциал электрического поля в точке, удаленной от точечного заряда q на расстояние r

$$j = \frac{kq}{r} .$$

4. Теорема Гаусса для потока вектора \vec{E} через замкнутую поверхность S

$$\oint_S (\vec{E} \cdot d\vec{S}) = \oint_S E_n \cdot dS = \frac{q}{\epsilon_0} ,$$

где q - суммарный заряд, находящийся внутри объема, ограниченного замкнутой поверхностью S , E_n - проекция вектора напряженности на нормаль к поверхности.

5. Напряженность электрического поля и потенциал связаны соотношением:

$$\vec{E} = -gradj = -\left(\frac{\partial j}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial j}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial j}{\partial z} \vec{k}\right) ,$$

причем $E_x = -\frac{\partial j}{\partial x}$, $E_y = -\frac{\partial j}{\partial y}$, $E_z = -\frac{\partial j}{\partial z}$.

Проекция вектора \dot{E} на выделенное направление l

$$E_l = -\frac{\partial j}{\partial l}$$

6. Соотношение между напряженностью \dot{E} и электрическим смещением \dot{D}

$$\dot{D} = \epsilon \epsilon_0 \dot{E} .$$

7. Условия на границе раздела двух диэлектрических сред

$$D_{1n} = D_{2n} \quad , \quad E_{1n} / E_{2n} = \epsilon_2 / \epsilon_1 ,$$

$$D_{1t} / D_{2t} = \epsilon_1 / \epsilon_2 \quad , \quad E_{1t} = E_{2t} \quad ,$$

где D_{1n} , D_{2n} , E_{1n} , E_{2n} - нормальные к границе раздела составляющие векторов \dot{E} и \dot{D} ; D_{1t} , D_{2t} , E_{1t} , E_{2t} - тангенциальные составляющие этих векторов.

8. Энергия системы неподвижных точечных зарядов

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i j_i$$

где j_i - потенциал, создаваемый в той точке, где находится заряд q_i всеми зарядами кроме i -го.

9. Энергия заряженного уединенного проводника

$$W = \frac{qj}{2} .$$

10. Энергия заряженного конденсатора

$$W = \frac{C(\Delta j)^2}{2} = \frac{q\Delta j}{2} = \frac{q^2}{2C} .$$

11. Объемная плотность энергии электростатического поля

$$w = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2} = \frac{(\dot{E} \cdot \dot{D})}{2} .$$

Магнитное поле

12. Связь между вектором магнитной индукции \dot{B} и вектором напряженности \dot{H} магнитного поля:

$$\dot{B} = \mu \mu_0 \dot{H} ,$$

где μ - магнитная проницаемость среды, μ_0 - магнитная постоянная.

13. Магнитный момент плоского контура с током:

$$\dot{p}_m = I S \dot{n} ,$$

где S - площадь поверхности контура, \dot{n} - единичный вектор нормали к поверхности контура.

14. Вращающий момент сил, действующий на контур с током:

$$\dot{M} = [\dot{p}_m \times \dot{B}] .$$

15. Закон Био-Савара-Лапласа для проводника с током I , элемент которого dl создает в некоторой точке поля индукцию $d\dot{B}$, записывается в виде

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I [d\vec{l} \times \vec{r}]}{r^3}, \quad |dB| = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r^2} dl \sin \alpha,$$

где $d\vec{l}$ - вектор, по модулю равный длине dl элемента проводника и совпадающий по направлению с током, \vec{r} - радиус-вектор, проведенный от элемента dl проводника в точку, где ищется поле, α - угол между векторами $d\vec{l}$ и \vec{r} .

16. Магнитная индукция поля прямого тока

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{R}.$$

17. Магнитная индукция поля в центре кругового витка с током

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

18. Закон Ампера

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

где $d\vec{F}$ - сила, с которой магнитное поле \vec{B} действует на элемент проводника с током $d\vec{l}$, α - угол между вектором $d\vec{l}$ и вектором \vec{B} .

19. Магнитное поле, создаваемое зарядом Q , движущимся с нерелятивистской скоростью \vec{V}

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Q [\vec{V} \times \vec{r}]}{r^3}, \quad dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{QV \sin \alpha}{r^2}$$

где \vec{r} - радиус-вектор, проведенный от заряда Q в точку наблюдения, α - угол между вектором скорости \vec{V} и радиус-вектором \vec{r} .

20. Сила, действующая на электрический заряд Q , движущийся в магнитном поле \vec{B} со скоростью \vec{V}

$$\vec{F} = Q [\vec{V} \times \vec{B}], \quad F = QVB \sin \alpha,$$

где α - угол между вектором скорости \vec{V} и вектором магнитной индукции \vec{B} .

21. Магнитное поле бесконечно длинного соленоида

$$B = \mu\mu_0 \frac{NI}{l},$$

где N - число витков в соленоиде, l - его длина.

22. Магнитное поле тороида

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

где N - число витков в тороиде, r - его радиус.

23. Поток вектора магнитной индукции через площадку dS

$$d\Phi = (\vec{B} \cdot d\vec{S}) = |\vec{B}| \cdot |d\vec{S}| \cos \alpha,$$

где $d\vec{S}$ - вектор, направленный по направлению нормали к площадке, а его модуль равен площади площадки, α - угол между нормалью к площадке и вектором магнитной индукции.

24. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле

$$dA = Id\Phi,$$

где $d\Phi$ - магнитный поток, пересеченный движущимся проводником.

25. Работа по перемещению замкнутого контура с током в магнитном поле

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

где $\Delta\Phi$ - изменение магнитного потока, сцепленного с контуром.

26. Закон Фарадея: э.д.с. электромагнитной индукции в контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром.

$$e_i = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Если контур состоит из N витков, то

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

где $\Psi = \Phi N$ - потокосцепление, Φ - поток через один виток.

27. Индуктивность контура:

$$L = \frac{\Phi}{I},$$

где Φ - магнитный поток, сцепленный с контуром, I - ток в контуре.

28. Индуктивность соленоида:

$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l},$$

где N - число витков в соленоиде, S - площадь, l - длина соленоида.

29. Э.д.с. самоиндукции при $L = const$:

$$e_s = -L\frac{dI}{dt}.$$

30. Энергия магнитного поля, связанного с контуром:

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

31. Объемная плотность энергии:

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

3. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. Два заряда $q_1 = +4,5 q$ и $q_2 = -0,5 q$ находятся на расстоянии $l = 10$ см. Третий заряд, модуль которого $|q_3| = q$, может перемещаться вдоль

прямой, проходящей через заряды q_1 и q_2 . Определите положение заряда q_3 , при котором он будет находиться в равновесии.

Решение. Заряд q_3 будет находиться в положении равновесия в точке пространства, где суммарная напряженность поля $E = 0$. На отрезке, лежащем между зарядами q_1 и q_2 такой точки нет, т.к. векторы напряженности E_1 и E_2 электрического поля, создаваемых, соответственно, зарядами q_1 и q_2 направлены в одну сторону, и их сумма не может быть равной нулю.

В точках прямой, расположенных слева и справа от рассмотренного отрезка, векторы напряженности E_1 и E_2 направлены в противоположные стороны. Для того, чтобы их сумма равнялась нулю, необходимо, чтобы модули этих векторов были равны, т.е. $E_1 = E_2$. Учитывая, что $E_1 = \frac{kq_1q_2}{r_1^2}$, а

$E_2 = \frac{kq_1q_2}{r_2^2}$, должно выполняться условие

$$\frac{|q_1|}{r_1^2} = \frac{|q_2|}{r_2^2}.$$

Для любой точки, лежащей левее заряда q_1 , расстояние r_1 меньше расстояния r_2 . Поскольку по условию $|q_1| > |q_2|$, то E_1 всегда больше, чем E_2 . Точки с $E = 0$ в этой части прямой нет.

Рассмотрим точки на прямой, расположенные правее заряда q_2 . В этом случае $r_1 = r_2 + l$. В точке равновесия должно выполняться условие

$$\frac{|q_1|}{(r_2 + l)^2} = \frac{|q_2|}{r_2^2},$$

приводящее к уравнению

$$\left(\frac{|q_1|}{|q_2|} - 1 \right) r_2^2 - 2lr_2 - l^2 = 0.$$

Из этого уравнения находим, что точка равновесия находится на 5 см правее заряда q_2 .

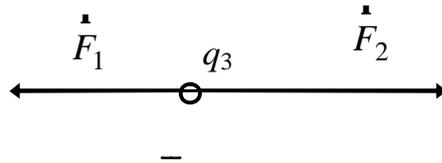
Равновесие заряда q_3 будет устойчивым, если при смещении этого заряда вправо возникает сила, направленная влево, стремящаяся вернуть заряд в прежнее положение. При перемещении заряда влево, должна возникать сила, направленная вправо.

Предположим, что заряд q_3 положительный. Тогда в найденной нами точке равновесия сила F_1 , действующая на заряд q_3 со стороны положительного заряда q_1 , направлена вправо, а сила F_2 , действующая со стороны отрицательного заряда q_2 направлена влево.

При смещении заряда q_3 вправо увеличивается расстояние как r_2 , так и $r_1 = l + r_2$. В результате уменьшаются обе силы. Учитывая, что $F_1 \sim 1/(l + r_2)^2$, а $F_2 \sim 1/r_2^2$, можно сделать вывод, что с ростом r_2 сила F_1 убывает

медленнее, чем сила F_2 . В результате результирующая сила направлена вправо и стремится удалить заряд q_3 еще дальше от точки равновесия. Равновесие неустойчивое.

Предположим теперь, что заряд q_3 - отрицательный. Теперь сила F_1 будет направлена влево, а сила F_2 - вправо.



В этом случае, при смещении заряда q_3 вправо, как и в предыдущем случае, F_1 убывает медленнее, чем F_2 . Результирующая сила направлена влево и стремится вернуть заряд q_3 на прежнее место.

Рассмотрение смещения заряда q_3 влево приводит к тем же выводам. Таким образом, если заряд q_3 отрицательный, то положение равновесия является устойчивым.

Пример 2. Внутри плоскопараллельной непроводящей пластины толщиной d равномерно распределен положительный заряд с объемной плотностью ρ . Пластина расположена перпендикулярно оси x . Плоскость симметрии пластины проходит через начало отсчета на оси x . Определить зависимость напряженности E от x как внутри, так и вне пластины. Построить графики зависимости E_x (проекция вектора \vec{E} на ось x) от x .

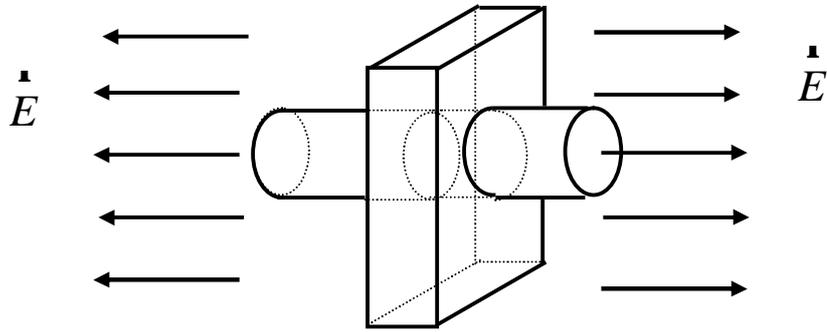
Решение. Для решения этой задачи воспользуемся теоремой Гаусса. Из соображений симметрии можно сделать следующий вывод:

а) $|\vec{E}(x)| = |\vec{E}(-x)|$,

б) напряженность поля E одинакова во всех точках плоскости, перпендикулярной оси x ,

в) силовые линии электрического поля параллельны оси x .

Полученные выводы позволяют выбрать форму замкнутой поверхности так, чтобы расчет потока вектора \vec{E} через нее осуществлялся наиболее просто. Такая поверхность может иметь, например, форму цилиндра. Основания цилиндра должны быть параллельны поверхности пластины. Образующие цилиндра должны быть параллельны оси x . Цилиндр должен быть расположен симметрично относительно пластины. В этом случае поток вектора \vec{E} через каждое из оснований цилиндра равен $(E \cdot s)$, где E - напряженность поля в точках, лежащих на основании, s - площадь основания.



Поток вектора \vec{E} через боковую поверхность цилиндра равен нулю, т.к. нормальная составляющая E_n к этой поверхности равна нулю. Таким образом, поток через всю замкнутую поверхность

$$\Phi_E = \oint \vec{E}_n ds = 2 E s$$

В соответствии с теоремой Гаусса

$$2 E s = \frac{q}{\epsilon_0},$$

где q - заряд внутри выбранной поверхности.

Рассмотрим 2 случая.

1) $|x| \leq d/2$.

В этом случае объем V , ограниченный выбранной замкнутой поверхностью, равен $s \cdot 2x$. Весь этот объем заполнен зарядом с объемной плотностью ρ . Следовательно, заряд внутри поверхности

$$q = \rho \cdot V = 2 \rho \cdot s x.$$

Тогда можно записать

$$2 E s = \frac{2 \rho \cdot s x}{\epsilon_0}.$$

Из этого выражения следует, что

$$E(x) = \frac{\rho x}{\epsilon_0}.$$

2) $|x| > d/2$.

В этом случае не весь объем цилиндра заполнен зарядом, а только его часть, вырезающая из пластины объем $V = s \cdot d$.

Тогда

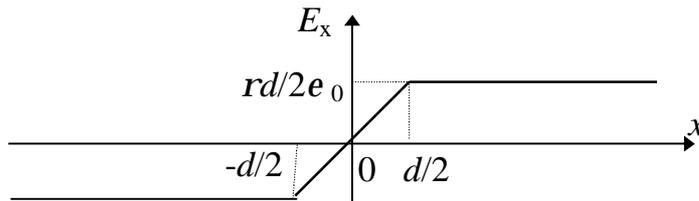
$$2 E s = \frac{\rho \cdot s d}{\epsilon_0},$$

$$E(x) = \frac{\rho d}{2 \epsilon_0}.$$

Таким образом, зависимость $E(x)$ имеет вид

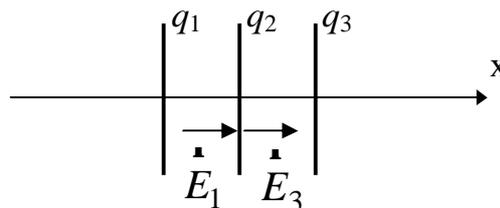
$$E(x) = \begin{cases} \frac{rd}{2e_0}, & |x| \geq \frac{d}{2} \\ \frac{rx}{e_0}, & |x| \leq \frac{d}{2} \end{cases} .$$

График зависимости E_x от x имеет вид



Внутри пластины напряженность возрастает пропорционально x , а вне пластины от x не зависит.

Пример 3. Три тонкие металлические пластины, расположены параллельно друг другу, как показано на рисунке. Площадь каждой из пластин равна s . Заряд первой пластины $q_1 = q$. Заряд второй пластины $q_2 = 2q$. Третья пластина имеет заряд $q_3 = -3q$. Расстояние между пластинами во много раз меньше линейных размеров пластин. Определить величину и направление силы, действующей на среднюю пластину.



Решение. Средняя пластина, несущая заряд q_2 , находится в электростатическом поле, созданном внешними пластинами с зарядами q_1 и q_3 .

Первая пластина, с зарядом q_1 в месте расположения средней пластины создает поле с напряженностью

$$E_1 = \frac{S_1}{2e_0} = \frac{q_1}{2e_0s} .$$

Направление вектора \vec{E}_1 совпадает с положительным направлением оси x .

Третья пластина, с зарядом q_3 создает в том же месте поле с напряженностью

$$E_3 = \frac{S_3}{2e_0} = \frac{|q_3|}{2e_0s} = \frac{3q}{2e_0s} .$$

Направление вектора \vec{E}_3 совпадает с направлением вектора \vec{E}_1 . В соответствии с принципом суперпозиции, вектор напряженности

результатирующего поля равен сумме векторов напряженности каждого из полей.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_3$$

Поскольку векторы \vec{E}_1 и \vec{E}_3 имеют одинаковое направление, то

$$|E| = |\vec{E}_1 + \vec{E}_3| = \frac{2q}{\epsilon_0 s}$$

Сила, действующая на среднюю пластину, несущую заряд q_2 равна

$$F = q_2 E = 4q^2 / \epsilon_0 s$$

Поскольку заряд q_2 положительный, направление вектора \vec{F} совпадает с направлением вектора напряженности \vec{E} . Следовательно, вектор \vec{F} имеет направление вдоль оси x .

Пример 4. Диэлектрик 1 с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_1 = 2$ и диэлектрик 2 с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_2 = 5$ имеют общую границу раздела. Силовые линии электрического поля перпендикулярны границе раздела. Напряженность поля E_1 в диэлектрике 1 равна 1000 В/м. Найти плотность энергии электрического поля в диэлектрике 2.

Решение. На границе раздела двух диэлектриков для нормальных составляющих векторов напряженности выполняется условие

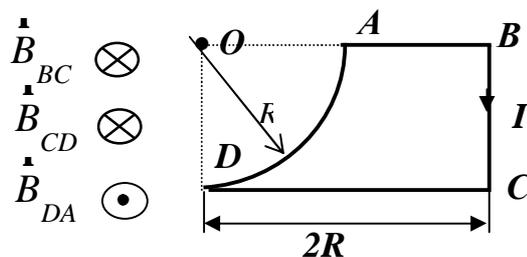
$$E_1 / E_2 = \epsilon_1 / \epsilon_2,$$

откуда $E_2 = E_1 \epsilon_1 / \epsilon_2$.

Плотность энергии электрического поля в диэлектрике 2

$$w = \epsilon_0 \epsilon_2 E_2^2 / 2 = \epsilon_0 \epsilon_2 (\epsilon_1 / \epsilon_2)^2 E_1^2 / 2 = \epsilon_0 \epsilon_1^2 E_1^2 / 2 \epsilon_2 = 3,54 \cdot 10^{-6} \text{ Дж/м}^3.$$

Пример 5. По контуру, изображенному на рисунке, течет ток силой $I = 20$ А. Радиус изогнутой части $R = 0,4$ м. Найти магнитную индукцию в точке O .



Решение. По принципу суперпозиции полей магнитная индукция в точке O равна векторной сумме магнитных индукций, создаваемых отдельными участками контура.

Решение задачи нужно начинать с определения направления векторов магнитной индукции от участков контура, пользуясь законом Био-Савара-Лапласа (15).

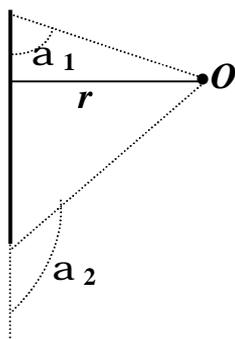
$\vec{B}_{AB} = 0$ в точке O, так как точка O лежит на продолжении отрезка AB (угол между векторами $d\vec{l}$ и \vec{r} равен 180°), что дает нулевой результат векторного произведения в законе Био-Савара-Лапласа.

$$\vec{B}_O = \vec{B}_{BC} + \vec{B}_{CD} + \vec{B}_{DA} \quad ,$$

учитывая направления векторов, изображенные на рисунке,

$$|B_O| = |B_{BC} + B_{CD} - B_{DA}| \quad .$$

В общем случае магнитная индукция, создаваемая отрезком провода с током, в точке, удаленной от проводника на расстояние r :



$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) .$$

Тогда для участка BC $\alpha_1 = \pi/2$, $\operatorname{tg}(180^\circ - \alpha_2) = \frac{OB}{BC} = \frac{2R}{R} = 2$, $\alpha_2 = 117^\circ$.

$$B_{BC} = \frac{\mu_0 I}{4\pi \cdot 2R} \left(\cos \frac{\pi}{2} - \cos 117^\circ \right) = \frac{0,45 \mu_0 I}{8\pi R} .$$

Для участка CD : $\alpha_2 = \pi/2$, $\operatorname{tg}(\alpha_1) = \frac{OD}{DC} = \frac{R}{2R} = 0,5$, $\alpha_1 = 26^\circ$.

$$B_{CD} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \cos 26^\circ = \frac{0,89 \mu_0 I}{4\pi R} .$$

Для криволинейного участка AD:

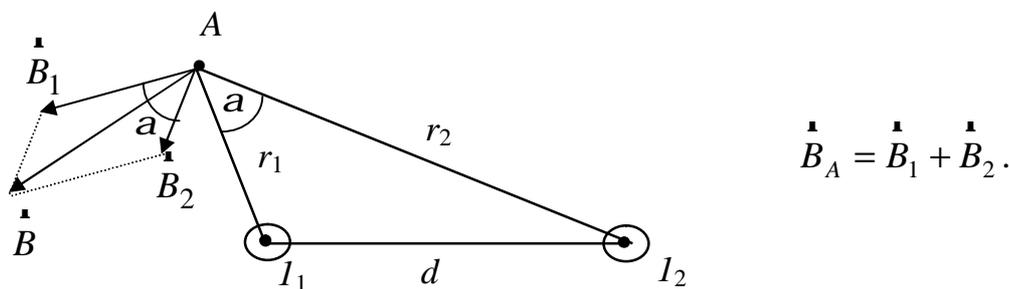
$$B_{DA} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \int_0^{p/2} da = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \cdot \frac{p}{2} = \frac{\mu_0 I}{8R} .$$

$$B_O = \frac{\mu_0 I}{4R} \left(\frac{0,45}{2p} + \frac{0,89}{p} - 0,5 \right) = -2,3 \cdot 10^{-6} \text{ Тл.}$$

Знак «-» указывает, что магнитная индукция направлена вдоль вектора \vec{B}_{DA} , то есть из плоскости чертежа.

Пример 6. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам, расстояние между которыми $d = 15$ см текут токи $I_1 = 70$ А и $I_2 = 50$ А в одном направлении. Определить магнитную индукцию в точке, удаленной на расстояние $r_1 = 10$ см от первого провода и на расстояние $r_2 = 15$ см от второго.

Решение. По принципу суперпозиции полей магнитная индукция в точке А равна векторной сумме магнитных индукций, создаваемых токами I_1 и I_2 .



Модуль вектора \vec{B} можно найти по теореме косинусов:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 - 2B_1B_2 \cos(p - a)},$$

где $B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2pr_1}$, $B_2 = \frac{\mu_0 I}{2pr_2}$, $\cos a = (r_1^2 + r_2^2 - d^2)/(2r_1 r_2)$.

Подставив все в формулу для магнитной индукции в точке А найдем $B = 178$ мкТл.

Пример 7. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл равномерно вращается квадратная рамка, состоящая из $N = 100$ витков. Рамка вращается с частотой $n = 5$ с⁻¹. Сторона рамки $a = 10$ мм. Ось вращения перпендикулярна оси симметрии рамки и направлению магнитного поля. Определить максимальную э.д.с. индукции и э.д.с. индукции, возникающую в рамке через $t = 16,6$ мс после начала вращения.

Решение. Мгновенное значение э.д.с. индукции определяется законом Фарадея (28)

$$e_i = -\frac{d\Psi}{dt},$$

где $\Psi = N\Phi$ - потокосцепление катушки, Φ - поток через один виток.

При вращении рамки магнитный поток в произвольный момент времени определяется

$$\Phi = (\vec{B} \cdot \vec{S}) = BS \cos(\vec{B}, \vec{S}) = BS \cos \omega t, \quad \omega = 2pn.$$

Значение э.д.с. индукции можно найти продифференцировав выражение для потокосцепления по времени.

$$e_i = -NBS\omega(-\sin \omega t) = 2pnNBa^2 \sin 2pnt.$$

Максимальное значение э.д.с. индукции получается, если $\sin 2pnt = 1$.

$$e_{i \max} = 2pnNBa^2 = 0,06 \text{ В}.$$

Значение э.д.с. индукции в момент времени $t = 16,6$ мс = $16,6 \cdot 10^{-3}$ с.

$$e_i = e_{i \max} \sin 2pnt = 0,06 \cdot 0,5 = 0,03 \text{ В}.$$

Пример 8. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов $U = 0.5$ кВ, влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 2$ мТл и начал двигаться по окружности. Вычислить радиус окружности.

Решение. На протон действует сила Лоренца (20)

$$\underline{F} = q[\underline{V} \times \underline{B}].$$

В условии задачи сказано, что протон движется по окружности. Из этого следует

1) вектор скорости перпендикулярен вектору магнитной индукции, а значит величина силы Лоренца $F = qVB$;

2) на протон действует нормальное ускорение $a_n = \frac{V^2}{R}$, где R – радиус окружности.

Приравнявая силу Лоренца и центростремительную силу можно вычислить радиус окружности

$$R = \frac{mv}{qB}.$$

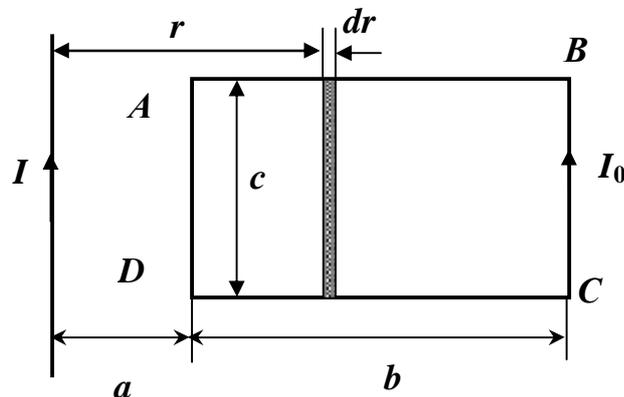
В этом выражении нам неизвестна скорость протона. Чтобы ее найти, надо воспользоваться законом сохранения энергии: кинетическая энергия протона равна изменению потенциальной энергии протона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов U .

$$\frac{mV^2}{2} = qU.$$

Выражая из закона сохранения энергии скорость и подставляя в выражение для радиуса окружности, получим

$$R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}} = 1,62 \text{ м.}$$

Пример 9. В одной плоскости с бесконечным прямым проводником, по которому течет ток $I = 1$ А, расположена прямоугольная рамка (см. рисунок). Расстояние $a = 2$ см, $b = 5$ см, $c = 4$ см. Найти работу, которую надо совершить, чтобы удалить рамку за пределы магнитного поля. По рамке течет ток $I_0 = 2$ А.



Решение. Работа по перемещению рамки с постоянным током в магнитном поле определяется потоком магнитной индукции через рамку в начальном (Φ_1) и конечном (Φ_2) состоянии

$$A = I_0(\Phi_2 - \Phi_1).$$

Когда рамка находится за пределами поля, поток магнитной индукции через нее равен 0 ($\Phi_2=0$). Следовательно, работа по перемещению рамки

$$A = -I_0\Phi_1.$$

Магнитное поле в этом примере неоднородно, поскольку оно создается бесконечным прямым током $B = \frac{\mu_0 I}{2pr}$, и магнитная индукция зависит от расстояния от провода до точки наблюдения. Чтобы найти поток вектора магнитной индукции через контур в начальном состоянии, мы должны просуммировать элементарные магнитные потоки от участков контура, где магнитное поле постоянно. В качестве такого участка разумно выбрать прямоугольник бесконечно малой ширины dr , расположенный на расстоянии r от прямого тока. Поскольку мы рассматриваем бесконечно малую ширину, то можно предположить, что на этом участке магнитная индукция постоянна.

Элементарный поток

$$d\Phi_1 = (\mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}) = B dS \cos 180^\circ = -B dS = -\frac{\mu_0 I}{2pr} c dr.$$

Отметим, что вектор магнитной индукции направлен за плоскость рисунка, а вектор $d\mathbf{S}$, совпадающий с направлением нормали, при заданном направлении тока I_0 направлен из плоскости рисунка. Поэтому угол между вектором магнитной индукции и элементом площади равен 180° .

Чтобы найти полный поток через контур Φ_1 , надо проинтегрировать по всем элементарным участкам.

$$\Phi = \int d\Phi = - \int_a^{a+b} \frac{\mu_0 I}{2pr} c dr = -\frac{\mu_0 I}{2p} c \ln \frac{a+b}{a}.$$

Тогда, искомая работа

$$A = -I_0 \left(-\frac{\mu_0 I}{2p} c \ln \frac{a+b}{a} \right) = \frac{\mu_0 I_0 I}{2p} c \ln \frac{a+b}{a} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Дж.}$$

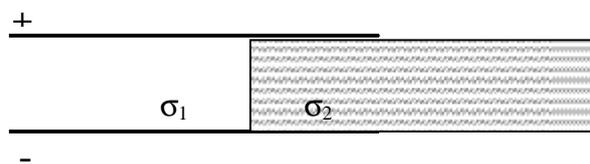
4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

ВАРИАНТ 1

1. Расстояние a между двумя точечными положительными зарядами $q_1 = 20 \cdot 10^{-8}$ Кл и $q_2 = 5 \cdot 10^{-8}$ Кл равно $a = 3$ см. На каком расстоянии от первого заряда находится точка, в которой напряженность E поля зарядов равна нулю?

2. Используя условие задачи 1, рассчитайте, какая работа совершается при перенесении точечного заряда $q_0 = 10^{-8}$ Кл из бесконечности в найденную точку (с нулевой напряженностью).
3. На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром $d = 10$ см равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью $s = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл/м². Определите напряженность поля в точке, отстоящей от поверхности цилиндра на $r = 10$ см. Качественно изобразите изменение потенциала внутри цилиндра и за его пределами.
4. Две бесконечные параллельные плоскости находятся на расстоянии $d = 0,5$ см друг от друга. На плоскостях равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями $s_1 = 0,2$ мкКл/м² и $s_2 = -0,3$ мкКл/м². Определите $E(X)$ и $j(X)$ и постройте графики соответствующих зависимостей. Ось X считайте перпендикулярной плоскостям.
5. Плоский конденсатор, расстояние, между пластинами которого $d = 1$ мм, находится под напряжением $U = 160$ В. Внутри конденсатора частично вставлена стеклянная пластина ($\epsilon = 7$). Определить D_2 и E_2 в стекле, а также поверхностные плотности зарядов s_1 и s_2 .



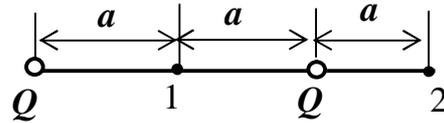
6. Найти потенциал в центре сферы радиуса R , заряженной с постоянной поверхностной плотностью s .
7. Найти объемную плотность энергии w электрического поля в точке, находящейся на расстоянии $l = 2$ см от поверхности заряженного шара радиуса $R = 1$ см, если поверхностная плотность заряда на шаре $s = 1,75 \cdot 10^{-5}$ Кл/м².

8. Потенциал некоторого поля имеет вид $j = ay\left(\frac{y^2}{3} - x^2\right)$, где a - константа,

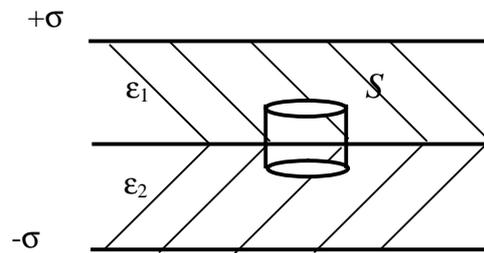
Найти проекции вектора напряженности электрического поля на оси x и y и его модуль.

ВАРИАНТ 2

1. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами $q_1 = 32$ нКл и $q_2 = -18$ нКл, находящимися на расстоянии $d = 50$ мм друг от друга. Определить напряженность E и потенциал ϕ поля в точке, удаленной от первого заряда на $r_1 = 40$ мм и от второго на $r_2 = 30$ мм.
2. Электрическое поле создано двумя одинаковыми положительными зарядами Q . Найти работу A сил поля по перемещению заряда $q = 10$ нКл из точки 1 с потенциалом $j = 300$ В в точку 2.



3. Бесконечно длинный цилиндр радиуса R равномерно заряжен по объему с плотностью ρ . Определить напряженность E внутри цилиндра и снаружи. Построить график зависимости $E(r)$.
4. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими равномерно распределенный по площади заряд с поверхностными плотностями $\sigma_1 = 1 \text{ нКл/м}^2$ и $\sigma_2 = 3 \text{ нКл/м}^2$. Расстояние между пластинами 1 см. Определить E и j и построить график изменения напряженности и потенциала вдоль линии, перпендикулярной пластинам.
5. Пластины плоского конденсатора заряжены с поверхностной плотностью $\sigma = 200 \text{ нКл/м}^2$. Пространство между пластинами заполнено двумя слоями диэлектрика с относительными диэлектрическими проницаемостями $\epsilon_1 = 3$ и $\epsilon_2 = 5$ соответственно. Найти поток вектора \vec{D} и поток вектора \vec{E} через цилиндр с площадью основания $S = 10 \text{ см}^2$.



6. Потенциал некоторого электрического поля равен $\varphi = axz$, где a - постоянная. Найти модуль вектора \vec{E} и его проекции на оси x, z .
7. Тонкое полукольцо радиуса R равномерно заряжено с линейной плотностью $+t$. Определить напряженность электростатического поля \vec{E} в центре кривизны полукольца.
8. Найти работу, которую необходимо совершить, чтобы перенести точечный заряд $q = 42 \text{ нКл}$ из точки, находящейся на расстоянии $a = 1 \text{ м}$, в точку, находящуюся на расстоянии $b = 1,5 \text{ см}$ от поверхности сферы радиусом $R = 2,3 \text{ см}$ с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 4,3 \cdot 10^{-11} \text{ Кл/м}^2$.

ВАРИАНТ 3

1. Диполь с электрическим моментом $p = 0,12 \text{ нКл}\cdot\text{м}$ образован двумя точечными зарядами $Q = \pm 1,0 \text{ нКл}$. Найти напряженность \vec{E} и потенциал φ электрического поля в точке, находящейся на расстоянии $r = 80 \text{ мм}$ от центра диполя в направлении, перпендикулярном оси диполя.
2. Определить работу A , которую нужно затратить, чтобы увеличить на $Dx = 0,2 \text{ мм}$ расстояние x между пластинами плоского конденсатора, заряженными

зарядами величиной $q = 0,2$ мкКл. Площадь каждой пластины $S = 400$ см². В зазоре между пластинами - воздух.

3. Две концентрические металлические сферы радиусами $R_1 = 6,0$ см и $R_2 = 15$ см несут соответственно заряды $q_1 = + 8,85 \cdot 10^{-12}$ и $q_2 = - 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл. Найти напряженность поля в точках, отстоящих от центра сферы на расстояниях: 1) $r_1 = 5,0$ см, 2) $r_2 = 10$ см, 3) $r_3 = 25$ см. Качественно изобразить изменение потенциала внутри сфер и за их пределами.

4. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими равномерно распределенный по площади заряд с поверхностными плотностями $s_1 = -2$ нКл/м² и $s_2 = +5$ нКл/ м². Расстояние между пластинами $d = 0,8$ см. Определить напряженность E и потенциал ϕ и построить график их изменения вдоль линии перпендикулярной пластинам.

5. Между пластинами плоского конденсатора находится плотно прилегающая стеклянная пластина ($\epsilon = 7$). Конденсатор заряжен до разности потенциалов $U = 100$ В. Какова будет разность потенциалов U_1 , если вытащить стеклянную пластину из конденсатора?

6. В вершинах равностороннего треугольника со стороной a закреплены три одинаковых шарика массы m и зарядом q каждый. Какую максимальную скорость приобретет каждый из шариков, если им предоставить возможность двигаться свободно?

7. Потенциал поля на оси кольца радиусом R , равномерно заряженного с линейной плотностью t , имеет вид $j = \frac{tR}{2e_0 \sqrt{R^2 + x^2}}$, где x - расстояние от

плоскости кольца до заданной точки. Найти величину и направление вектора напряженности E .

Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектриков: стекла ($\epsilon = 7$) толщиной 5 мм и парафина ($\epsilon = 2$) толщиной 2 мм. Разность потенциалов между обкладками конденсатора 4 кВ. Определить напряженность поля и разность потенциалов в каждом слое.

ВАРИАНТ 4

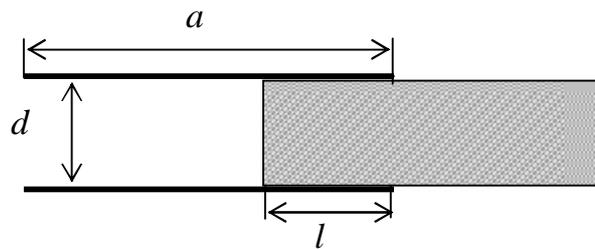
1. Расстояние l между двумя зарядами $Q = \pm 3,2$ нКл диполя равно $l = 12$ см. Найти напряженность и потенциал поля, созданного диполем, в точке, удаленной на $r = 8$ см, как от первого, так и от второго заряда.

2. На какое расстояние могут сблизиться два электрона, если они движутся навстречу друг другу с относительной скоростью 10^8 м/с ?

3. Две длинные тонкостенные коаксиальные трубки радиусами $R_1 = 2$ см и $R_2 = 4$ см соответственно несут заряды, равномерно распределенные по длине, с линейными плотностями $t_1 = 10^{-3}$ мкКл/м и $t_2 = -5 \cdot 10^{-3}$ мкКл/м. В пространстве между трубками – воздух. Определить напряженность поля в точках, находящихся на расстоянии $r_1 = 1$ см, $r_2 = 3$ см, $r_3 = 5$ см от оси трубок. Построить график зависимости напряженности от расстояния до оси трубок $E_r(r)$.

4. Три плоскопараллельных пластины, расположенные на малом расстоянии друг от друга, равномерно заряжены. Поверхностные плотности зарядов пластин соответственно равны $s_1 = +3 \cdot 10^{-8}$ Кл/м², $s_2 = -5 \cdot 10^{-8}$ Кл/м² и $s_3 = +8 \cdot 10^{-8}$ Кл/м². Найти напряженность поля в точках, лежащих между пластинами и с внешней стороны. Построить график зависимости напряженности поля от расстояния, выбрав за начало отсчета положение первой пластины.

5. Определить емкость плоского конденсатора с прямоугольными пластинами длины a и ширины b , расстояние между пластинами d , вдоль стороны a , которого на глубину l вставлена диэлектрическая пластина с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ .



6. В вершинах квадрата со стороной a закреплены четыре одинаковых шарика массой m и зарядом q каждый. Какую максимальную скорость приобретет каждый из шариков, если им предоставить возможность двигаться свободно?

7. Напряженность электрического поля внутри и на поверхности шара, заряженного с постоянной объемной плотностью r , выражается формулой

$$E = \frac{r r}{3\epsilon_0}, \text{ где } r - \text{ расстояние от центра шара. Найти выражение } j(r) \text{ для}$$

потенциала точек внутри шара и вычислить разность потенциалов между центром шара и его поверхностью, если $R = 10$ см, $r = 50$ нКл/м³.

8. Как изменится энергия заряженного плоского конденсатора с вакуумным зазором, если его заполнить жидкостью с диэлектрической проницаемостью ϵ ?

ВАРИАНТ 5

1. Заряды $q_1 = 10$ мкКл и $q_2 = -10$ мкКл находятся на расстоянии $d = 10$ см друг от друга. Определить напряженность E и потенциал поля j в точке, удаленной на расстояние $r = 10$ см от первого заряда и лежащей на линии, проходящей через первый заряд перпендикулярно направлению от q_1 к q_2 .

2. Предположим, что два протона в ядре гелия расположены на расстоянии $d = 1,5 \cdot 10^{-15}$ м друг от друга. Вычислите: а) электростатическую силу, действующую между ними; б) работу, которую нужно совершить, чтобы сблизить протоны на указанное расстояние. Заряд протона $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

3. Расстояние между двумя длинными тонкими проволоками, расположенными параллельно друг другу, равно $d = 16$ см. Проволоки равномерно заряжены разноименными зарядами с линейной плотностью

- $|t| = 150 \text{ мкКл/м}$. Какова напряженность поля \vec{E} в точке, удаленной на расстояние $a = 10 \text{ см}$, как от первой, так и от второй проволоки?
4. Три плоскопараллельных пластины, расположенные на малом расстоянии друг от друга, равномерно заряжены с поверхностной плотностью $s = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}^2$ каждая. Найти напряженность поля в точках, лежащих между пластинами и с внешней стороны. Построить график зависимости напряженности поля от расстояния, выбрав за начало отсчета положение первой пластины.
5. Определить электрическую емкость C плоского конденсатора с двумя слоями диэлектриков фарфора, толщиной $d_1 = 2 \text{ мм}$ ($\epsilon_1 = 5$), и эбонита $d_2 = 1.5 \text{ мм}$ ($\epsilon_2 = 3$), если площадь каждой из пластин равна $S = 100 \text{ см}^2$, а расстояние между пластинами $d = 3,5 \text{ мм}$.
6. Два металлических шарика радиусами $R_1 = 5 \text{ см}$ и $R_2 = 10 \text{ см}$ имеют заряды $q_1 = 40 \text{ нКл}$ и $q_2 = -20 \text{ нКл}$, соответственно. Найти энергию W , которая выделится при разряде, если шары соединить проводником.
7. Объемный заряд с плотностью $r = 2 \text{ нКл/м}^3$ равномерно распределен между двумя концентрическими сферическими поверхностями, причем радиус внутренней поверхности $R_1 = 10 \text{ см}$, наружной $R_2 = 50 \text{ см}$. Найти напряженность поля E в точках, отстоящих от центра сфер на расстояниях $r_1 = 3 \text{ см}$; $r_2 = 12 \text{ см}$; $r_3 = 56 \text{ см}$.
8. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком, диэлектрическая проницаемость которого линейно изменяется от значения ϵ_1 у одной пластины до значения $\epsilon_2 < \epsilon_1$ у другой. Расстояние между пластинами d , площадь каждой из них равна S . Найти емкость конденсатора.

ВАРИАНТ 6

1. По тонкому кольцу $R = 10 \text{ см}$ равномерно распределен заряд с линейной плотностью $t = 10 \text{ нКл/м}$. Определить напряженность \vec{E} в точке, лежащей на оси кольца на расстоянии $a = 12 \text{ см}$ от центра.
2. Тонкий стержень согнут в кольцо радиуса $R = 10 \text{ см}$ и заряжен с линейной плотностью $t = 300 \text{ нКл/м}$. Какую работу A надо совершить, чтобы перенести заряд $q = 50 \text{ нКл}$ из центра кольца в точку, расположенную на оси кольца на расстоянии $l = 20 \text{ см}$ его центра?
3. На поверхности металлической пластины распределен заряд с поверхностной плотностью $s = 150 \text{ нКл/м}^2$. Пользуясь теоремой Гаусса, определить напряженность поля \vec{E} снаружи пластины вблизи ее поверхности.
4. Электрическое поле создано бесконечными параллельными пластинами, несущими равномерно распределенный по площади заряд с поверхностными плотностями $s_1 = 10 \text{ нКл/м}^2$ и $s_2 = 3 \text{ нКл/м}^2$. Расстояние между пластинами $d = 6 \text{ мм}$. Определить напряженность \vec{E} и потенциал ϕ и построить график

их изменения вдоль линии, перпендикулярной пластинам. Как изменятся графики, если расстояние между пластинами увеличить в два раза?

5. Емкость плоского конденсатора равна $C = 111$ пФ. Диэлектрик – фарфор ($\epsilon = 5$). Конденсатор зарядили до разности потенциалов $U = 600$ В и отключили от источника напряжения. Какую работу A нужно совершить, чтобы вынуть диэлектрик из конденсатора? Трение пренебрежимо мало.

6. Пластины плоского конденсатора площадью $S = 10^{-2}$ м² каждая притягиваются силой $F = 1,2 \cdot 10^{-2}$ Н. Пространство между пластинами заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$. Определить модуль вектора электрического смещения D внутри конденсатора и заряд каждой из пластин.

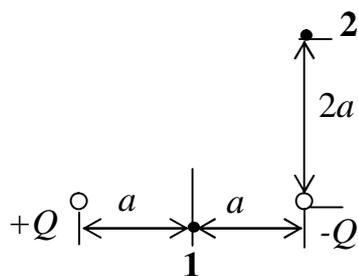
7. Капля массой $m = 5,6 \cdot 10^{-9}$ г поднимается вертикально вверх между пластинами горизонтально расположенного конденсатора с ускорением $a = 1,2$ м/с². Найти поверхностную плотность заряда σ на пластинах конденсатора, если заряд капли равен 10 зарядам электрона.

8. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора соединены последовательно и подключены к источнику ЭДС. Внутри одного из них вносят диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ϵ , заполняющей все пространство между обкладками. Как изменится напряженность электрического поля в этом конденсаторе?

ВАРИАНТ 7

1. Тонкое кольцо радиусом $R = 16$ см несет заряд, равномерно распределенный с линейной плотностью $t = 10$ нКл/м. Какова напряженность E электрического поля в точке, равноудаленной от всех точек кольца на расстояние $r = 20$ см?

2. Определите работу A_{12} по перемещению заряда из точки 1 в точку 2 в поле созданном двумя разноименными зарядами (см. рисунок). $|Q| = 10$ мкКл, $a = 10$ см.



3. Равномерно заряженную с поверхностной плотностью $s = 10$ нКл/м² плоскость пересекает сфера, центр которой лежит на плоскости. Поток вектора E через сферу равен 3,2 В·м. Определить радиус сферы.

4. Электрическое поле создано двумя металлическими параллельными пластинами, которые подключены к источнику тока с э.д.с. = 100 В. Положительная пластина заземлена. Расстояние между пластинами 5 мм.

Построить график зависимости напряженности $E(x)$ и потенциала $j(x)$, если ось x перпендикулярна плоскости пластин.

5. В плоский конденсатор вдвинули плитку парафина ($\epsilon = 2$) толщиной $d = 1$ см, которая вплотную прилегает к его пластинам. Насколько нужно увеличить расстояние между пластинами, чтобы получить прежнюю емкость?

6. На расстоянии $r_1 = 4$ см от бесконечно длинной прямой заряженной нити находится точечный заряд $q = 0,66$ нКл. Под действием поля заряд приближается к нити до расстояния $r_2 = 2$ см. При этом совершается работа $A = 50 \cdot 10^{-7}$ Дж. Найти линейную плотность заряда t нити.

7. Потенциал поля внутри заряженного шара зависит только от расстояния до его центра r по закону $j = ar + b$, где a и b - константы. Найти объемную плотность заряда ρ внутри шара.

8. Тонкая бесконечная нить равномерно заряжена с линейной плотностью t . Пользуясь принципом суперпозиции, найти напряженность поля E , в точке находящейся на расстоянии r от нити.

ВАРИАНТ 8

1. Три одинаковых одноименных заряда q расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд Q противоположного знака нужно поместить в центре этого треугольника, чтобы результирующая сила, действующая на каждый заряд, была равна нулю?

2. Диполь с электрическим моментом $p = 100$ пКл·м свободно устанавливается в однородном электрическом поле напряженностью $E = 150$ кВ/м. Вычислить работу A , необходимую для того, чтобы повернуть диполь на угол $\alpha = 180^\circ$.

3. Внутри длинного металлического полого толстостенного цилиндра с внутренним радиусом $R_1 = 2$ см и внешним $R_2 = 5$ см вдоль оси расположена тонкая проволока, несущая заряд с линейной плотностью $t = 6 \cdot 10^{-4}$ мкКл/м. Проволоку сместили до соприкосновения с внутренней поверхностью цилиндра. Найти распределение напряженности $E(r)$ вдоль оси r , перпендикулярной оси цилиндра с началом отсчета на этой оси.

4. Какое поле создали бы две безграничные взаимно перпендикулярные плоскости, если бы на них были равномерно нанесены электрические заряды одного знака с поверхностной плотностью заряда на одной S , а на другой $2S$? Определить эквипотенциальные поверхности и показать их на рисунке.

5. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком (фарфор, $\epsilon = 5$), объем V которого равен 100 см³. Поверхностная плотность заряда $S = 8,85$ нКл/м². Вычислить работу A , которую необходимо совершить, чтобы удалить диэлектрическую пластину из конденсатора. Трением пренебречь.

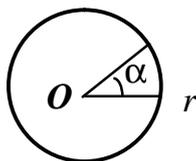
6. Найти объемную плотность энергии w электрического поля на расстоянии $r = 2$ см от бесконечно длинной нити, заряженной с линейной плотностью $\tau = 4,2$ нКл/м.

7. Две концентрические проводящие сферы радиусами $R_1 = 12$ см и $R_2 = 18$ см заряжены одноименно. Заряд внутренней сферы $q_1 = 1$ мкКл, заряд внешней сферы $q_2 = 2$ мкКл. Найти разность потенциалов Dj между сферами.
8. По четверти кольца радиусом $r = 6,1$ см равномерно распределен положительный заряд с линейной плотностью $\tau = 64$ нКл/м. Найти силу F , действующую на заряд $q = 12$ нКл, расположенный в центре.

ВАРИАНТ 9

1. В вершинах квадрата со стороной a находятся одинаковые одноименные заряды, равные q . Какой заряд Q противоположного знака необходимо поместить в центре квадрата, чтобы результирующая сила, действующая на каждый заряд, была равна нулю?
2. Параллельно бесконечной пластине, несущей заряд, равномерно распределенный по площади с поверхностной плотностью заряда $S = 20$ нКл/м², расположена тонкая нить с равномерно распределенным по длине зарядом с линейной плотностью $t = 0,4$ нКл/м. Определить работу по перемещению (в расчете на 1 м длины проводника нити) при удалении его от плоскости на 3 см.
3. Металлический шар радиуса $R_1 = 3$ см, несущий заряд $q_1 = -20$ нКл, окружен концентрической сферой радиуса $R_2 = 5$ см, равномерно по поверхности заряженной зарядом $q_2 = 40$ нКл. Найти напряженность поля E на расстояниях $r_1 = 2$ см, $r_2 = 4$ см, $r_3 = 5$ см от центра шара. Построить зависимость напряженности $E(r)$ и потенциала $j(r)$.
4. Электрическое поле создано двумя металлическими параллельными пластинами, которые подключены к источнику э.д.с. $e = 100$ В. Положительная пластина заземлена. Расстояние между пластинами 10 мм. Построить: а) графики зависимостей напряженности $E(x)$ и потенциала $j(x)$, если ось x перпендикулярна плоскости пластин, б) построить графики $E(x)$ и $j(x)$ при условии, что расстояние между пластинами увеличено вдвое.
5. На плоский воздушный конденсатор с толщиной слоя $d = 2,5$ см подается напряжение $U = 50$ кВ. Будет ли пробит конденсатор, если электрическая прочность воздуха $E_B = 30$ кВ/см? Будет ли пробит конденсатор, если между его обкладками (параллельно им) ввести стеклянную пластину ($\epsilon = 7$) толщиной $d_1 = 2$ см? Электрическая прочность стекла $E_C = 100$ кВ/см.
6. Потенциал поля, создаваемого некоторой системой зарядов имеет вид $j = j_0 \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right)$, где $j_0 = 100$ В; $a = 2$ м; $b = 1$ м. Определить напряженность поля E в точке C с координатами $x_C = 1$ м; $y_C = 2$ м.
7. Сферическая оболочка радиуса $R_1 = 5$ см равномерно заряженная зарядом $q = 20$ нКл расширилась под действием электрических сил до радиуса $R_2 = 10$ см. Определить работу электрических сил в процессе этого расширения.

8. Найти напряженность E электростатического поля в центре окружности радиусом r , по которой распределен заряд с линейной плотностью $t = t_0 \sin \alpha$, где t_0 - константа (см. рисунок).



ВАРИАНТ 10

1. В вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 0,2$ м помещены одноименные заряды, для которых $|q| = 2 \cdot 10^{-9}$ Кл. Найти напряженность поля E в точке, расположенной на середине одной из сторон треугольника.

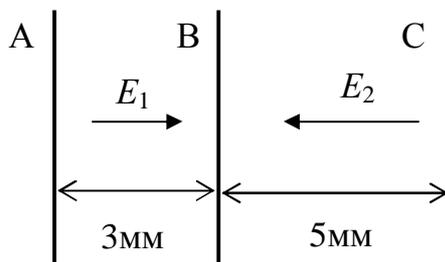
2. Какая совершается работа при перенесении точечного заряда $q = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии $r = 1$ см от поверхности сферы радиуса $R = 2$ см заряженной с поверхностной плотностью заряда $s = 10^{-5}$ Кл/м² ?

3. Шар радиуса $R = 1$ м равномерно заряжен по объему. Потенциал электростатического поля на поверхности шара $j_0 = 1000$ В. Зависимость потенциала j от расстояния до центра шара r имеет вид:

$$f(r) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{3}{2} j_0 - \frac{1}{2} j_0 \frac{r^2}{R^2}, \text{ если } r < R \\ j_0 \frac{r}{R}, \text{ если } r \geq R \end{array} \right.$$

Найти зависимость напряженности поля $E(r)$, изобразить ее на графике и вычислить значения E при $r_1 = 0,5$ м и $r_2 = 1,5$ м.

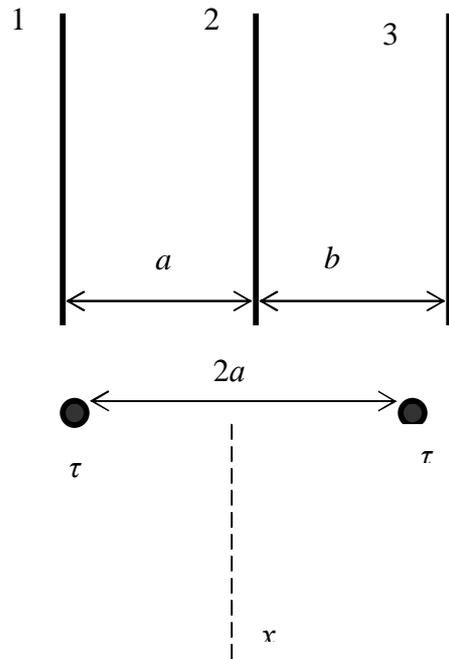
4. Пусть имеются три заряженные пластины, которые расположены так, как показано на рисунке. Потенциал пластины A равен нулю. Слева от A и справа от C $E = 0$, $E_1 = 300$ В/м, $E_2 = 200$ В/м. Найти : а) потенциал j_B , б) потенциал j_C , в) определите плотности зарядов на каждой из пластин, считая их бесконечно большими.



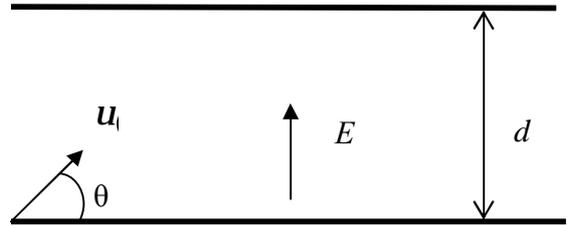
5. Плоский конденсатор заполнен двумя слоями диэлектрика: первый слой, толщиной $d = 1$ см – слюда ($\epsilon_1 = 6$), второй такой же толщины – стекло ($\epsilon_2 = 10$). При каком напряжении произойдет пробой конденсатора? Электрическая прочность слюды $E_1 = 800$ кВ/см, стекла – $E_2 = 300$ кВ/см.
6. Потенциал поля, создаваемого некоторой системой зарядов, имеет вид $j = A(x^2 + y^2)$, где $A = 100$ В/м²; $a = 2$ м; $b = 1$ м. Найдите напряженность поля E в точке C с координатами $x_C = y_C = 2$ м.
7. Два электрона в состоянии покоя помещены на расстоянии $a = 1.0$ см друг от друга. Затем, под действием сил взаимного отталкивания они начинают двигаться. Определите максимальную скорость каждого электрона.
8. Две одинаковые капли воды заряжены одинаковым зарядом $|q| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Сила кулоновского отталкивания капель уравнивается силой их взаимного притяжения. Найти радиусы капель.

ВАРИАНТ 11.

1. Положительный точечный заряд $q = 100$ мкКл находится на плоскости xu в точке $\vec{r} = 3\vec{i} + 10\vec{j}$ (м). Найти величину и вектор напряженности поля в точке $\vec{r} = 9\vec{i} + 2\vec{j}$ (м). \vec{i}, \vec{j} - орты осей x, y .
2. Три параллельных пластины заряжены одноименными зарядами с поверхностной плотностью заряда s_1, s_2, s_3 . Найти разность потенциалов между крайними пластинами 1 и 3. Расстояния между пластинами a и b .
3. Две длинные параллельные нити равномерно заряженные с линейной плотностью заряда $+\tau$ расположены на расстоянии $2a$ друг от друга. Определить расстояние x от центра системы до точки, лежащей на оси симметрии, в которой напряженность поля будет максимальной. Найти напряженность поля в этой точке.
4. В процессе «заземления» - контакта заряженного тела с Землей, происходит перераспределение электрического заряда. Пусть заземляется металлическая сфера радиусом $r = 13$ см, заряженная до потенциала $\phi = -430$ В. Определить количество электронов, оставшихся на сфере после заземления. Считать Землю нейтральным телом.



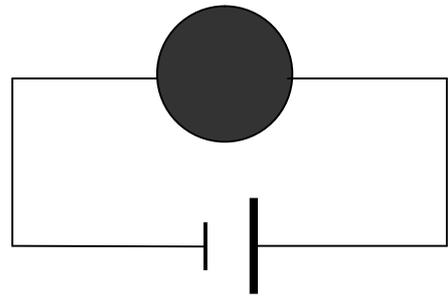
5. Электрон влетает со скоростью $u_0 = 5,83 \cdot 10^6 \frac{M}{c}$ под углом $q = 39^\circ$ в плоский конденсатор. Напряженность поля внутри конденсатора $E = 1870 \frac{B}{M}$. Расстояние между пластинами $d = 1,97 \text{ см}$. Длина пластин $l = 6 \text{ см}$. На каком расстоянии электрон попадет на (верхнюю? нижнюю?) пластину.



6. Три тонкие металлические сферы радиуса $R, 2R, 3R$ заряжены соответственно зарядами $q, 2q, -3q$. Центры сфер совпадают. Определить потенциал на каждой сфере.

7. Цилиндрический конденсатор имеет радиус внутренней оболочки a и внешней b . Длина оболочек конденсатора l . На каком расстоянии $a \leq r \leq b$ энергия поля внутри цилиндра радиуса r равна половине всей энергии поля заряженного конденсатора?

8. К нейтральной проводящей сфере радиусом $R = 13 \text{ см}$ присоединены два проводника. Если систему присоединить к источнику тока, то по одному проводнику протекает ток $I_1 = 1,000002 \text{ А}$ по второму $I_2 = 1 \text{ А}$. Через какое время сфера зарядится до потенциала $\phi = 980 \text{ В}$?



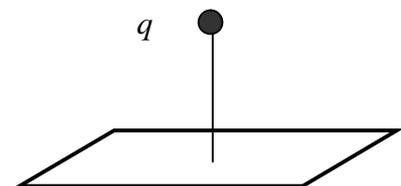
ВАРИАНТ 12.

1. Из экспериментальных данных известно, что электрическое поле Земли направлено вертикально вниз. На высоте $H_1 = 300 \text{ м}$ напряженность поля

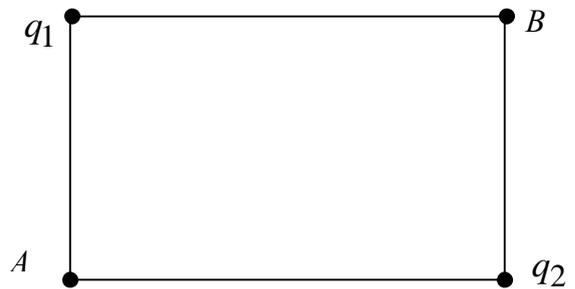
$E_1 = 58 \frac{B}{M}$, на высоте $H_2 = 200 \text{ м}$ $E_2 = 110 \frac{B}{M}$. Найти электрический заряд,

содержащийся в кубе с ребром 100 м , локализованный на высоте $200 \leq H \leq 300 \text{ м}$. Кривизной поверхности Земли пренебречь.

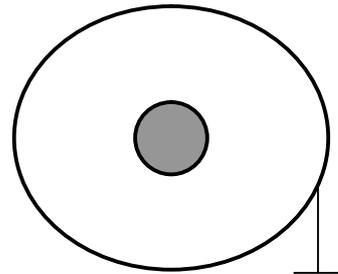
2. Точечный заряд $+q$ расположен на расстоянии $\frac{d}{2}$ от центра квадрата со стороной d . Найти поток напряженности электрического поля Φ_E через квадрат.



3. Стороны прямоугольника 5 см и 15 см. Заряды $q_1 = -5$ мкКл и $q_2 = 2$ мкКл. Определить разность потенциалов между точками A и B . Какую скорость приобретет электрон, ускоренный такой разностью потенциалов?



4. Металлический шар радиуса R_1 , заряженный до потенциала ϕ , окружен концентрической металлической оболочкой радиуса R_2 . Чему станет равен потенциал шара, если заземлить оболочку?



5. Электрон в атоме водорода, находящемся в основном состоянии, вращается по круговой орбите радиусом $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10}$ м. Определить потенциальную энергию взаимодействия электрона с ядром, кинетическую энергию движения электрона и полную энергию электрона на орбите.

6. Миллион сферических капель воды сливаются в одну каплю. Радиус маленькой капли $r = 5 \cdot 10^{-6}$ м, заряд $q = 1,6 \cdot 10^{-14}$ Кл. Какая энергия расходуется на преодоление электрических сил отталкивания при слиянии капель?

7. Плоскопараллельный воздушный конденсатор объемом $V = 5,46$ см³ и расстоянием между пластинами $d = 1,3$ мм заряжен до напряжения $U = 625$ В. Найти емкость конденсатора, величину заряда на каждой пластине, напряженность поля внутри конденсатора, объемную плотность энергии поля.

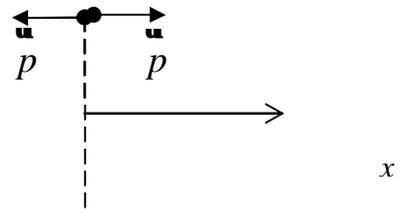
8. Катод и анод электровакуумного диода изготовлены в виде двух концентрических цилиндрических поверхностей с диаметрами $a = 1,62$ мм (катод) и $b = 18,3$ мм (анод). Длина обоих элементов $l = 2,38$ см. Определить емкость диода.

ВАРИАНТ 13.

1. Точечный заряд q расположен в вершине куба с ребром a . Найти поток напряженности Φ_E через каждую поверхность куба.

2. Непроводящая сфера радиусом R заряжена электрическим зарядом, объемная плотность которого зависит от расстояния как $r = r_0 \frac{r}{R}$, где R – радиус сферы, r_0 – const. Определить напряженность электрического поля внутри и вне сферы как функцию расстояния от центра сферы $E(r)$.

3. Два диполя расположены рядом и ориентированы вдоль одной прямой. При этом дипольные моменты направлены противоположно друг другу. Показать, что напряженность поля на расстоянии x от центра



системы при $x \gg d$ имеет вид:
$$E = \frac{3qd^2}{2\pi\epsilon_0 x^4},$$

(d – плечо диполя).

4. В экспериментах Э.Резерфорда по рассеянию α -частиц на атомах золота использовались частицы с кинетической энергией $e_k = 5$ МэВ. Ядро атома золота Au_{79}^{197} содержит $Z = 79$ протонов. Радиус ядра атома $r_0 = 7 \cdot 10^{-15}$ м. Определить наименьшее расстояние, на которое может приблизиться к ядру α -частица с такой энергией.

5. Два металлических шарика с радиусами $r = 4$ см и $R = 8$ см расположены друг от друга на расстоянии значительно большем их радиусов. Шарики заряжены зарядами $q = 10$ мкКл и $Q = 50$ мкКл. Каковы будут их заряды, если шарики соединить тонким проводом?

6. 4 проводящих шарика радиусом $r_1 = 1$ мм заряженные зарядом $q_1 = 10^{-7}$ Кл каждый расположены вдоль прямой, касаясь друг друга. Какую работу нужно совершить, чтобы составить из шариков пирамидку (правильный тетраэдр)?



7. Тонкий стержень длиной l заряжен с линейной плотностью заряда τ . Найти потенциал поля в точке P , расположенной вдоль оси y на расстоянии a от конца стержня.



8. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено слюдой (толщиной $d_1 = 0,2$ мм; $\epsilon_1 = 5$; электрической прочностью

$E_1 = 160 \frac{\text{кВ}}{\text{мм}}$), парафином ($d_2 = 1$ мм; $\epsilon_2 = 2$; $E_2 = 24 \frac{\text{кВ}}{\text{мм}}$) и воздухом

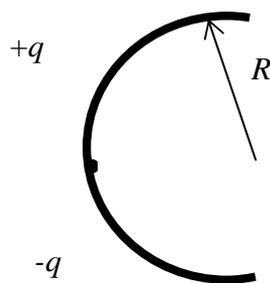
($d_3 = 10$ мм; $\epsilon_3 = 1$; $E_3 = 3 \frac{\text{кВ}}{\text{мм}}$). При каком напряжении на пластинах

конденсатора будет пробит воздушный промежуток? парафиновый слой? Определить максимальное напряжение, до которого может быть заряжен конденсатор.

ВАРИАНТ 14.

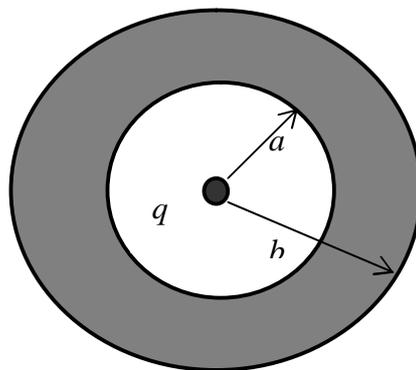
1. Из астрономических наблюдений известно, что кольца Сатурна состоят из мелких частиц космической пыли. Эти частицы несут на себе избыточный заряд. Определить избыточное число электронов на такой частице с радиусом $r = 1 \text{ мкм}$, если потенциал ее поверхности $\phi = -400 \text{ В}$.

2. Тонкий стержень изогнут в виде полукольца радиуса R . Заряд $+q$ равномерно распределен по верхней половине полукольца, заряд $-q$ равномерно распределен по нижней половине. Определить напряженность поля в центре полукольца.



3. Две параллельные пластины площадью $S = 110 \text{ см}^2$ каждая заряжены равными противоположными зарядами $q = \pm 890 \text{ нКл}$. Напряженность поля между ними $E = 1,4 \cdot 10^6 \frac{\text{В}}{\text{м}}$. Определить величину диэлектрической проницаемости диэлектрика и величину связанного заряда на его поверхностях.

4. Сферическая оболочка с радиусами поверхностей a и b заряжена так, что объемная плотность заряда зависит от расстояния $r = \frac{A}{r}$. В центре полости находится точечный заряд q . При этом напряженность поля внутри оболочки ($a \leq r \leq b$) остается постоянной. Найти величину коэффициента A .



5. Диск радиусом R равномерно заряжен по поверхности зарядом Q . На каком расстоянии от центра диска вдоль оси, проходящей через центр, потенциал поля равен половине потенциала его поверхности?

6. Электрон ускоряется разностью потенциалов $\Delta\phi = 250 \text{ кВ}$. Определить скорость электрона, если вначале он покоился.

7. Расстояние между оболочками сферического конденсатора d , радиус внутренней оболочки a . При этом $d \ll a$. Предположим, что необходимо изготовить цилиндрический конденсатор такой же емкости, с радиусом внутреннего цилиндра a и внешнего $a + d$. Определить высоту такого цилиндрического конденсатора.

8. Однородный пучок α -частиц с энергией $22,4 \text{ МэВ}$ создает ток $I = 250 \text{ нА}$. Сколько частиц пересекает плоскую поверхность, перпендикулярную потоку, за время $\Delta t = 2,9 \text{ с}$? Сколько частиц содержится в длине участка пучка $\Delta l = 18 \text{ см}$?

ВАРИАНТ 15.

1. Если поверхность Земли имеет избыточный заряд равный $1 \text{ электрон}/\text{м}^2$, то каковы будут напряженность поля вблизи поверхности и потенциал ее поверхности?

2. Электрическое поле образовано заряженным плоским диском радиуса R . Поверхностная плотность заряда на диске σ . Определить напряженность поля в точке, расположенной на оси диска на расстоянии x от его центра. Определить напряженность поля в предельном случае: а) $x \gg R$ и б) $x \ll R$.

3. Общий заряд Q нанесен на плоское кольцо с внутренним радиусом a и внешним радиусом b . Поверхностная плотность заряда меняется на кольце с расстоянием по закону $s = \frac{A}{r^3}$ ($A = \text{const}$). Показать, что потенциал поля в

центре кольца равен $j = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$.

4. Два одинаковых положительных заряда расположены вдоль оси y в точках с координатами $y = \frac{a}{2}$ и $y = -\frac{a}{2}$.

Определить изменение напряженности поля $\frac{dE_y}{dy}$ при $y = \frac{a}{2}$. Показать, что

сила, действующая на малый диполь p_e , помещенный в точку $M(0, y)$, равна по величине $F = p_e \mathbf{g} \frac{dE_y}{dy}$ и направлена

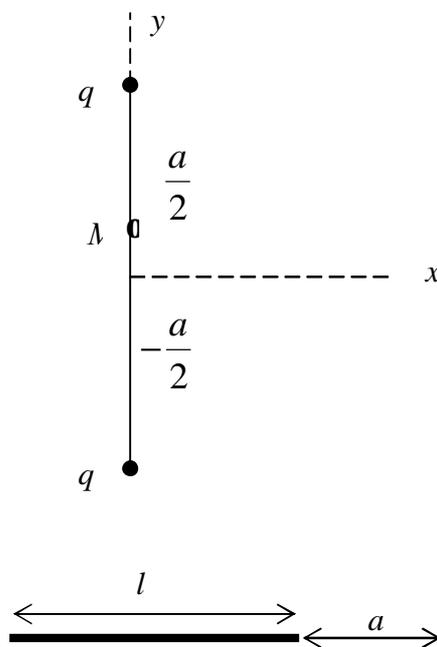
вдоль оси y .

5. Тонкий стержень длиной l заряжен зарядом q . Определить потенциал поля в точке, расположенной на оси стержня на расстоянии a от его конца.

6. 4 одинаковых заряда $+q$ расположены в вершинах квадрата со стороной a . Определить полную энергию взаимодействия всей системы зарядов.

7. Коаксиальный кабель, используемый для трансляции сигналов, имеет внутренний диаметр $d_1 = 0,2 \text{ мм}$ и внешний диаметр $d_2 = 1,2 \text{ мм}$. Промежуток заполнен полистиролом ($\epsilon = 2,6$). Определить емкость кабельной линии длиной 1 км .

8. Внутренний радиус проводящей сферической оболочки a , внешний радиус b , удельное сопротивление материала ρ . Определить электрическое сопротивление оболочки между внутренней и внешней поверхностью.



ВАРИАНТ 16.

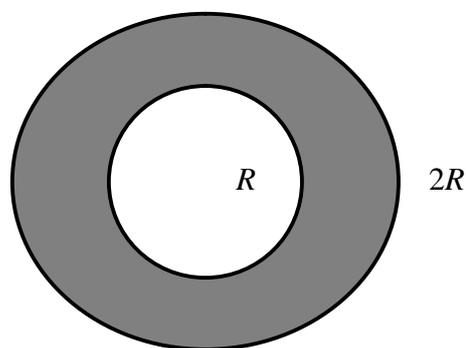
1. Предположим, что удалось бы разделить 1 см^3 воды на разноименные заряды, которые затем удалили друг от друга на расстояние 100 км . С какой силой будут взаимодействовать эти заряды?

2. Электрическое поле образовано тонким заряженным кольцом радиуса R . Заряд кольца Q . На каком расстоянии от центра кольца в точке, расположенной на оси кольца, напряженность поля достигает максимума? Определить напряженность поля в этой точке.

3. Прямой стержень длиной l заряжен зарядом q , равномерно распределенным по его длине. Найти напряженность поля в точке, расположенной на оси стержня на расстоянии a от его конца.

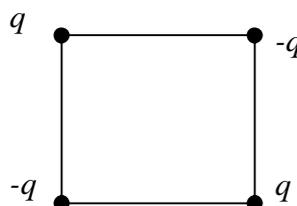


4. Цилиндрическая оболочка с внутренним радиусом R и внешним радиусом $2R$ заряжена положительным зарядом равномерно распределенным по оболочке с объемной плотностью заряда ρ . На каком расстоянии от центра оболочки напряженность поля равна половине напряженности поля на внешней стороне оболочки?

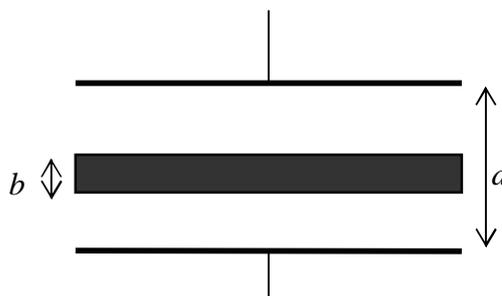


5. Система зарядов состоит из трех параллельных пластин. Расстояние между средней пластиной и крайними a и b . Средняя пластина заземлена. Потенциал крайних пластин ϕ . Найти напряженность поля в промежутках между средней пластиной и крайними.

6. Заряды расположены в вершинах квадрата со стороной a . Определить полную энергию взаимодействия всей системы зарядов.



7. В плоский воздушный конденсатор (расстояние между пластинами d , площадь пластин S) вносится медная пластина толщиной b . Определить емкость конденсатора после внесения пластины и работу, совершаемую при внесении пластины в конденсатор, если напряжение на конденсаторе остается постоянным и равно U .



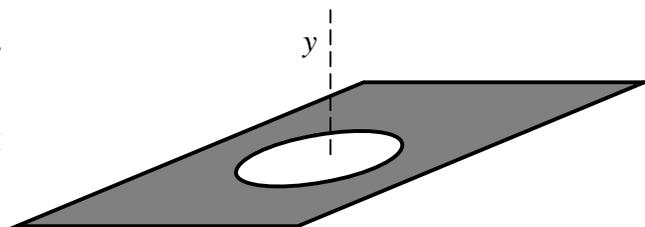
8. Внутренний радиус проводящей сферической оболочки a , внешний b . Удельное сопротивление материала ρ . Определить электрическое сопротивление оболочки между внутренней и внешней поверхностью.

ВАРИАНТ 17.

1. Напряженность электрического поля вблизи поверхности Земли $E = 100 \frac{B}{м}$

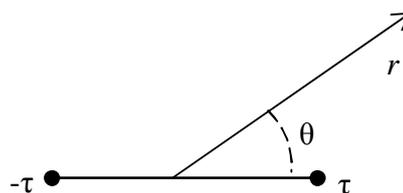
Определить потенциал поверхности Земли.

2. Заряженная плоскость с поверхностной плотностью заряда σ имеет круглый вырез радиусом R . Используя принцип суперпозиции найти напряженность поля в точке с координатой y на оси выреза.



3. Э.Резерфорд (1911) сформулировал планетарную модель атома, в соответствии с которой положительный заряд Ze сосредоточен в атомном ядре в центре атома, а Z электронов равномерно распределены по сфере радиуса R . Определить напряженность электрического поля внутри атома при $r_0 \leq r \leq R$, где r_0 - радиус ядра атома.

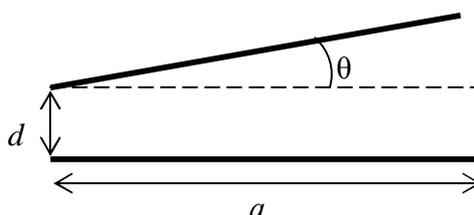
4. Две параллельные тонкие нити равномерно заряжены разноименными зарядами с линейной плотностью τ . Расстояние между нитями l . Определить потенциал и напряженность электрического поля как функцию расстояния r и угла θ . Задачу рассмотреть в приближении $r \gg l$.



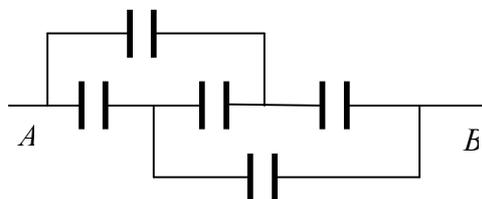
5. В кварковой модели строения элементарных частиц протон состоит из трех кварков: $2u$ кварка с зарядом $+\frac{2}{3}e$ каждый и один d - кварк с зарядом $-\frac{1}{3}e$ (конфигурация uud). Кварки находятся на одинаковом расстоянии друг

от друга $r_* = 1,32 \cdot 10^{-15} м$. Определить потенциальную энергию электрического взаимодействия всей системы. Определить также полную потенциальную энергию взаимодействия кварков для нейтрона (udd).

6. Конденсатор состоит из квадратных пластин со стороной a . Одна из пластин наклонена под углом θ . Полагая, что $d \ll a$ определить емкость такого конденсатора.



7. Найти емкость системы одинаковых конденсаторов емкостью C каждый между точками A и B .



8. Проволока сопротивлением $R = 6 \text{ Ом}$ была протянута через тонкое отверстие так, что ее длина увеличилась в три раза. Определить электрическое сопротивление деформированной проволоки.

ВАРИАНТ 18.

1. Два маленьких проводящих шарика подвешены на нитях одинаковой длины. Точка подвеса общая. Шарики заряжены одинаковыми зарядами и находятся на расстоянии 5 см друг от друга. На каком расстоянии окажутся шарики, если один из шариков быстро разрядить?

2. Точечный заряд $-q$ находится в центре тонкого кольца радиуса R , по которому равномерно распределен заряд $+q$. Найти напряженность поля на оси кольца в точке, расположенной на расстоянии x от центра кольца. Определить напряженность поля в предельном случае при $x \gg R$.

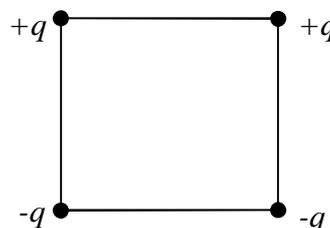
3. Непроводящая полусфера радиусом R заряжена зарядом q , равномерно распределенным по внутренней поверхности полусферы. Найти напряженность электрического поля в центре поверхности.

4. Плоский слой диэлектрика ($\epsilon = 2$) толщиной $d = 0,5 \text{ см}$ заряжен равномерно с объемной плотностью заряда $r = 0,3 \frac{\text{нКл}}{\text{см}^3}$. Используя теорему

Гаусса определить напряженность поля в середине слоя, на расстоянии $h = 0,1 \text{ см}$ от поверхности внутри слоя, вне слоя.

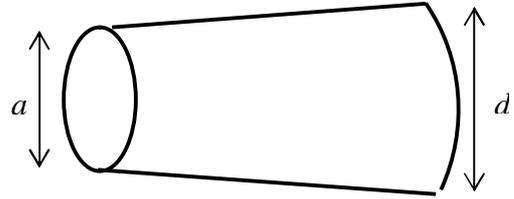
5. Металлический шар радиуса $R_1 = 10 \text{ см}$ помещен внутрь сферической металлической оболочки с радиусами $R_2 = 20 \text{ см}$ и $R_3 = 30 \text{ см}$. Центры шара и оболочки совпадают. Заряд на шаре $q_1 = 10 \text{ мкКл}$, на оболочке $q_2 = 80 \text{ мкКл}$. Построить график зависимости напряженности и потенциала поля от расстояния от центра системы.

6. Заряды расположены в вершинах квадрата со стороной a . Определить полную энергию взаимодействия системы зарядов.



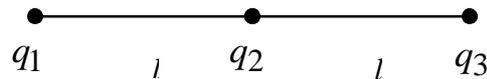
7. Определить емкость системы, состоящей из двух шаров диаметром $d = 2 \text{ см}$, расположенных в воздухе, центры которых находятся на расстоянии $l = 20 \text{ см}$ друг от друга.

8. Резистор представляет собой длинный усеченный конус длиной L . Сужение конуса мало, так что плотность тока однородна по всему сечению. Удельное сопротивление материала ρ . Определить электрическое сопротивление резистора.



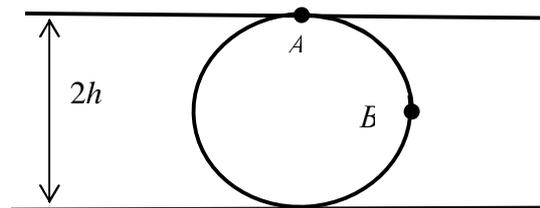
ВАРИАНТ 19.

1. Три заряда q_1, q_2, q_3 связаны друг с другом двумя нитями. Длина каждой нити l . Найти силу натяжения каждой нити.

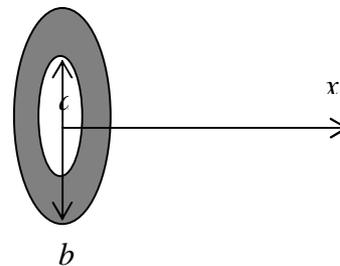


2. Молекулу воды можно рассматривать, как диполь, с дипольным моментом $p_e = 6,16 \cdot 10^{-29} \text{ Кл}\cdot\text{м}$. Принимая, что диполь составлен зарядами, равным заряду электрона, определить: а) наибольшую силу взаимодействия между молекулой воды и ионом водорода, находящемся на расстоянии 3 нм от нее; б) силу взаимодействия двух молекул воды, диполи которых направлены вдоль одной прямой (расстояние между молекулами $0,5 \text{ нм}$).

3. Имеется равномерно заряженная пластина с объемной плотностью заряда ρ толщиной $2h$. В пластине вырезана сферическая полость радиусом $R = h$. Используя принцип суперпозиции и теорему Гаусса, определить напряженность электрического поля в точках A и B на границе сферы. Диэлектрическая проницаемость материала пластины ϵ .



4. Тонкая пластинка имеет форму кольца с внутренним радиусом a и внешним b . По пластинке равномерно распределен заряд q . Приняв ось симметрии пластинки за x , найти ϕ и E_x как функцию x . Определить поле в предельном случае $x \gg b$.



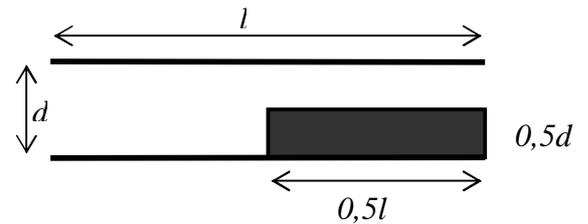
5. Два параллельных тонких кольца радиусами R каждое имеют общую ось. Расстояние между кольцами d . На первом кольце равномерно распределен заряд q_1 , на втором кольце $-q_2$. Найти работу перемещения заряда q из центра первого кольца в центр второго.

6. Первоначально заряд $q = 0,1 \text{ нКл}$ распределен равномерно по объему шара радиуса $R = 1 \text{ см}$. Затем вследствие взаимного отталкивания заряды

переходят на поверхность шара. Принимая диэлектрическую проницаемость шара $\epsilon = 1$, определить работу электрических сил над зарядами.

7. Точечный заряд $q = 3 \text{ мкКл}$ помещается в центр шарового слоя из однородного и изотропного диэлектрика с $\epsilon = 3$. Внутренний радиус шарового слоя $a = 0,25 \text{ м}$ внешний $b = 0,5 \text{ м}$. Найти энергию поля в пределах диэлектрика.

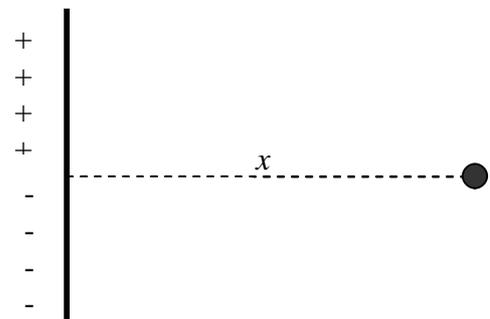
8. В воздушный конденсатор вносится пластинка с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4$. Определить во сколько раз изменится емкость конденсатора.



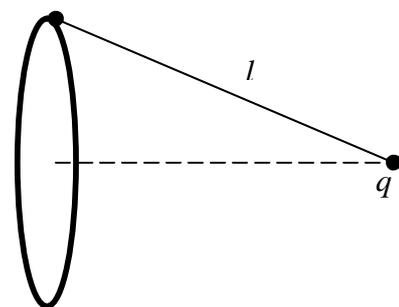
ВАРИАНТ 20.

1. Два одинаковых проводящих шарика радиуса R , заряженные разноименными зарядами, расположены на расстоянии $r \gg R$ и взаимодействуют с силой $F_1 = 0,108 \text{ Н}$. Шарики соединяются тонким проводником, который затем удаляется. После этого сила взаимодействия становится равной $F_2 = 0,036 \text{ Н}$. Определить начальные заряды на шариках.

2. Стержень длиной L заряжен однородно с линейной плотностью заряда $|\tau|$. При этом половина стержня заряжена положительным зарядом, другая половина отрицательным. Найти напряженность поля в точке, расположенной на оси симметрии на расстоянии x от стержня.



3. Шарик массы m , заряженный зарядом $+q$, прикреплен к концу непроводящей нити. Другой конец нити прикреплен к верхней точке тонкого кольца радиуса R , расположенного вертикально. На кольце равномерно распределен заряд $+Q$. Определить длину нити, при которой после отклонения шарик окажется на оси кольца, перпендикулярной его плоскости.

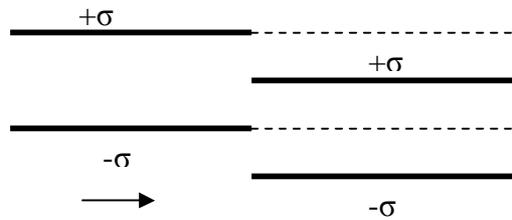


4. Диполь с электрическим моментом p находится на расстоянии r от длинной нити, заряженной равномерно с линейной плотностью заряда τ . Найти силу, действующую на диполь, если вектор дипольного момента ориентирован: а) вдоль нити; б) по радиусу-вектору r ; в) перпендикулярно r и нити.

5. Для газообразного аргона при нормальных условиях диэлектрическая проницаемость $\epsilon \approx 1,0006$. Пользуясь этим результатом, вычислить смещение «центра масс» электронной оболочки атома аргона относительно ядра в электрическом поле с напряженностью $E = 30 \frac{\kappa B}{m}$. Атомный номер аргона $Z = 18$. Считать, что в отсутствие внешнего поля электроны распределены вокруг ядра симметрично.

6. Найти потенциал электрического поля $\vec{E} = ay\vec{i} + (ax + bz)\vec{j} + by\vec{k}$, где $a, b - const$; $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - орты осей координат

7. Какую работу нужно совершить, чтобы вставить одну систему параллельных заряженных пластин в другую? Поверхностная плотность зарядов на пластинах $\pm\sigma$, площадь каждой пластины S , расстояние между пластинами d много меньше линейных размеров пластин.



8. Заряд q равномерно распределен по объему шара с радиусом R . Определить: а) энергию электрического поля внутри шара; б) энергию поля вне шара; в) изменение полной энергии поля при делении заряженного шара на два равных заряженных шара.

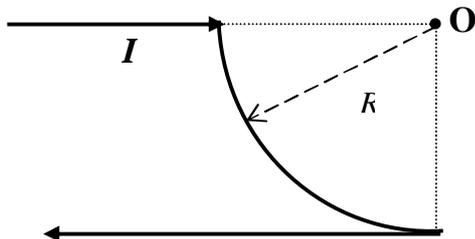
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

ВАРИАНТ 1.

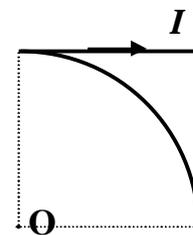
1. Расстояние между двумя длинными параллельными проводами $d = 50$ мм. По проводам в одном направлении текут токи силой $I = 30$ А каждый. Найти индукцию магнитного поля \vec{B} в точке, находящейся на расстоянии $r_1 = 40$ мм от одного и $r_2 = 30$ мм от другого провода.

2. Проводник с током $I = 20$ А лежит в плоскости и изогнут так, как показано на рисунке. Радиус изогнутой части проводника $R = 40$ см. Определите величину и изобразите направление вектора магнитной индукции \vec{B} в точке О.

а)



б)



3. Проволочный виток радиусом $R = 5$ см находится в однородном магнитном поле индукцией $B = 0,1$ Тл. Плоскость витка образует угол 60° с направлением поля. По витку течет ток силой $I = 4$ А. Найти и изобразить на

чертеже магнитный момент витка \vec{p}_m и вращающий момент \vec{M} , действующий на виток.

4. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов $U = 600$ В, влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,3$ Тл и начал двигаться по окружности. Вычислить радиус окружности R , магнитный момент возникшего кругового тока p_m и момент импульса протона L .

5. Рамка площадью $S = 200$ см² вращается, делая $n = 10$ оборотов в секунду относительно оси, лежащей в плоскости рамки перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля с индукцией $B = 0,2$ Тл. Построить график зависимости магнитного потока, пронизывающего рамку Φ , и э.д.с. индукции e_i от времени. Найти максимальное значение э.д.с. индукции $e_{i\max}$.

6. Сопротивление тороида $R = 20$ Ом. Найти его индуктивность L , если за время $t = 10$ мс в его обмотке выделяется тепло, равное энергии магнитного поля внутри тороида. Магнитное поле считать однородным.

7. Квадратная рамка со стороной $a = 10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 2$ Тл. В рамке течет ток силой $I = 2$ А. Плоскость рамки расположена перпендикулярно линиям индукции магнитного поля. Найти работу A , которую надо совершить, чтобы повернуть рамку относительно оси, совпадающей с одной из сторон рамки, на угол: а) 90° , б) 180° .

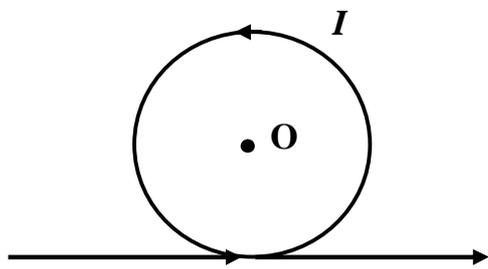
8. Палочка из неизвестного вещества, помещенная между полюсами магнита в вакууме, расположилась вдоль магнитного поля. После заполнения пространства между полюсами магнита некоторой жидкостью палочка расположилась поперек поля. Каковы магнитные свойства вещества палочки и жидкости?

ВАРИАНТ 2.

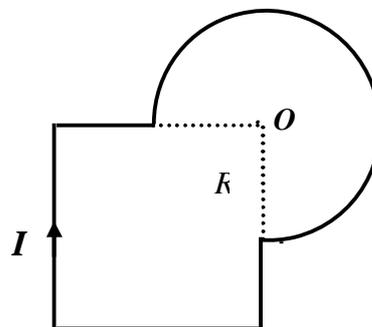
1. Расстояние между двумя длинными параллельными проводами $d = 50$ мм. По проводам в противоположном направлении текут токи силой $I = 40$ А каждый. Найти индукцию магнитного поля \vec{B} в точке, находящейся на расстоянии $r_1 = 40$ мм от одного и $r_2 = 30$ мм от другого провода.

2. Проводник с током $I = 20$ А лежит в плоскости и изогнут так, как показано на рисунке. Радиус изогнутой части проводника $R = 40$ см. Определите величину и изобразите направление вектора магнитной индукции в точке О.

а)



б)



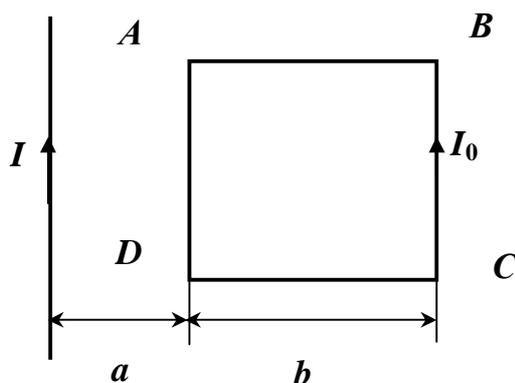
3. Квадратная рамка со стороной $a = 10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл. Плоскость рамки составляет угол 30° с направлением поля. По рамке течет ток силой $I = 8$ А. Найти и изобразить на чертеже магнитный момент витка \vec{p}_m и вращающий момент \vec{M} сил, действующих на рамку.

4. Электрон движется в однородном магнитном поле напряженностью $H = 4000$ А/м со скоростью $v = 10000$ км/с, направленной перпендикулярно вектору магнитной индукции. Определить силу F , с которой поле действует на электрон, радиус окружности R , по которой движется электрон, и период его обращения T .

5. Индукция магнитного поля между полюсами двухполюсного генератора $B = 0,8$ Тл. Ротор имеет $N = 100$ витков площадью $S = 400$ см². Сколько оборотов в минуту делает якорь, если максимальное значение э.д.с. индукции $e_{i\max} = 200$ В.

6. Индуктивность соленоида длиной $l = 1$ м и площадью поперечного сечения $S = 20$ см² равна $L = 0,4$ мГн. Определить силу тока в соленоиде I , при которой объемная плотность энергии магнитного поля внутри соленоида равна $w = 0,1$ Дж/м³.

7. В одной плоскости с бесконечным прямым проводником, по которому течет ток $I = 1$ А, расположена квадратная рамка (см. рисунок). Расстояние $a = 2$ см, $b = 5$ см. Найти магнитный поток, пронизывающий рамку, если по рамке течет ток $I_0 = 5$ м. Диаметр провода рамки $D = 2$ мм.



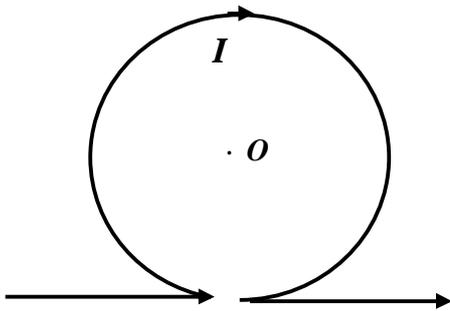
9. Палочка из неизвестного вещества, помещенная между полюсами магнита в вакууме, расположилась вдоль магнитного поля. После заполнения пространства между полюсами магнита некоторой жидкостью ориентация палочки не изменилась. Каковы магнитные свойства вещества палочки и жидкости?

ВАРИАНТ 3.

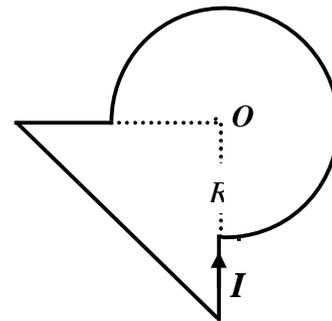
1. Расстояние между двумя длинными параллельными проводниками $d = 10$ см. По проводникам в одном направлении текут токи силой $I = 40$ А каждый. Найти индукцию магнитного поля в точках А и В, расположенных на линии, соединяющей эти проводники, и отстоящих от первого проводника на $r = 30$ см в одну и в другую сторону.

2. Проводник с током $I = 20$ А лежит в плоскости и изогнут так, как показано на рисунке. Радиус изогнутой части проводника $R = 60$ см. Определите величину и изобразите направление вектора магнитной индукции в точке O .

а)



б)



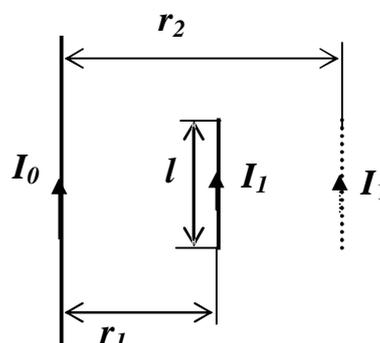
3. Рамка гальванометра длиной $a = 4$ см и шириной $b = 1,5$ см, содержащая $N = 200$ витков тонкой проволоки, находится в магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл. Плоскость рамки параллельна линиям индукции. По виткам течет ток силой $I = 2$ мА. Найдите и изобразите на чертеже магнитный момент рамки \vec{p}_m и вращающий момент \vec{M} , действующий на рамку.

4. Два иона, имеющие одинаковый заряд, но различные массы, влетели в однородное магнитное поле. Первый ион начал двигаться по окружности радиуса $R_1 = 5$ см, второй ион - по окружности радиуса $R_2 = 2,5$ см. Определить отношение масс ионов, если они прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов U .

5. Катушка из $N = 1000$ витков с площадью поперечного сечений $S = 100$ см², расположенная перпендикулярно магнитному полю Земли, поворачивается за $t = 1$ с на угол 90° . В катушке наводится э.д.с. со средним значением $e_{i\text{cp}} = 0,6$ мВ. Найти величину магнитного поля Земли.

6. В тороиде сечением $S = 8$ см², содержащем $N=1000$ витков, создан магнитный поток $\Phi = 20$ мкВб. Определить объемную плотность энергии внутри тороида w . Магнитное поле тороида считать однородным.

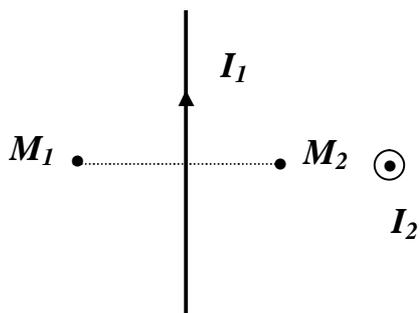
7. Прямой проводник длиной $l = 10$ см, по которому течет ток $I_1 = 5$ А находится вблизи бесконечного провода с током $I_0 = 2$ А и параллелен ему. Какую работу надо совершить, чтобы переместить проводник длиной l параллельно самому себе с расстояния $r_1 = 3$ мм от бесконечного проводника на расстояние $r_2 = 15$ мм?



8. Определить намагниченность тела при насыщении, если магнитный момент каждого атома равен магнетону Бора, а концентрация атомов $n = 6.0 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

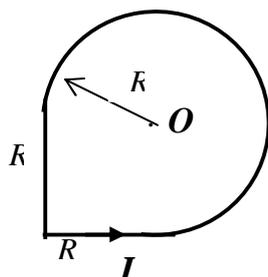
ВАРИАНТ 4.

1. По двум бесконечно длинным проводникам текут одинаковые токи $I_1 = I_2 = 20 \text{ А}$. Расстояние между проводниками $d = 10 \text{ см}$. Найти индукцию магнитного поля в точках M_1 и M_2 , если расстояние от первого проводника до точек M_1 и M_2 $r = 4 \text{ см}$.

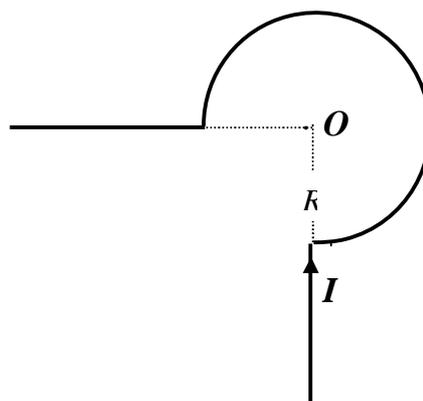


2. Проводник с током $I = 20 \text{ А}$ лежит в плоскости и изогнут так, как показано на рисунке. Радиус изогнутой части проводника $R = 60 \text{ см}$. Определите величину и изобразите направление вектора магнитной индукции в точке O .

а)



б)



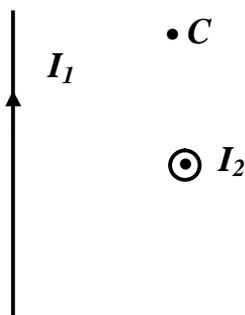
3. Примем, что электрон в невозбужденном атоме водорода движется по окружности радиуса $r = 0,58 \cdot 10^{-8} \text{ см}$. Определите магнитный момент эквивалентного кругового тока \vec{p}_m и механический момент \vec{M} , действующий на круговой ток, если атом помещен в магнитное поле с индукцией $B = 0.2 \text{ Тл}$, направленное параллельно плоскости орбиты. Изобразите на чертеже векторы механического и магнитного моментов.

4. Перпендикулярно однородному электрическому полю напряженностью $E = 800 \text{ В/м}$ возбуждено однородное магнитное поле напряженностью $H = 40 \text{ А/м}$. Пучок электронов, движущихся перпендикулярно линиям напряженности того и другого поля, не испытывает никакого отклонения. Определите скорость электронов v .

5. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0.4$ Тл вращается стержень длиной $l = 10$ см. Ось вращения параллельна линиям индукции и проходит через один из концов стержня перпендикулярно его длине. Определить э.д.с. индукции \mathcal{E}_i , возникающую на концах стержня, если он делает $n = 16$ об/с.
6. Обмотка электромагнита, находясь под постоянным напряжением, имеет сопротивление $R = 10$ Ом и индуктивность $L = 0.3$ Гн. Определить время t , за которое в обмотке выделится тепло, равное энергии магнитного поля в сердечнике.
7. Квадратная рамка с током $I = 2$ А находится в неоднородном магнитном поле, изменяющемся вдоль оси x по закону $B = B_0(1 + \alpha x)$, где $B_0 = 1$ мТл, $\alpha = 10^{-3}$ м $^{-1}$. Магнитное поле перпендикулярно плоскости рамки. Длина стороны рамки $a = 10$ см. Найти магнитный поток, пронизывающий рамку Φ , если одна из ее сторон параллельна оси x и имеет координаты $x_1 = 0$, $x_2 = 10$ см.
8. Магнитная индукция поля в вакууме вблизи плоской поверхности однородного изотропного магнетика равна B , причем вектор B составляет угол α с нормалью к поверхности. Определить модуль вектора магнитной индукции B поля в магнетике вблизи его поверхности. Магнитная проницаемость магнетика известна и равна m .

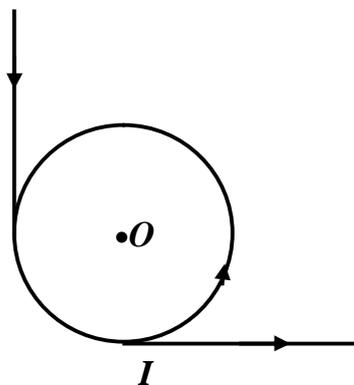
ВАРИАНТ 5.

1. По двум бесконечно длинным проводникам, скрещенным под прямым углом, текут токи $I_1 = 30$ А и $I_2 = 40$ А. Расстояние между проводниками $d = 20$ см. Найти индукцию магнитного поля в точке С, одинаково удаленной от обоих проводников на расстояние $r = 20$ см.

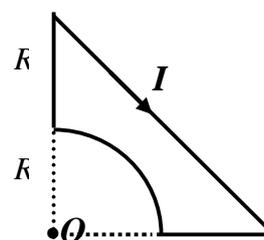


2. Проводник с током $I = 20$ А лежит в плоскости и изогнут так, как показано на рисунке. Радиус изогнутой части проводника $R = 0,4$ м. Определите величину и изобразите направление вектора магнитной индукции в точке О.

а)



б)



3. Примем, что электрон в атоме водорода движется по круговой орбите некоторого радиуса. Чему равно отношение магнитного момента \vec{p}_m эквивалентного кругового тока к величине момента импульса (углового момента) \vec{L} орбитального движения электрона? Изобразите на рисунке направления обоих векторов.

4. Заряженная частица, прошедшая ускоряющую разность потенциалов $U = 2000$ В, движется в однородном магнитном поле напряженностью $H = 12000$ А/м по окружности радиуса $R = 1$ см. Определить удельный заряд частицы q/m и ее скорость v .

5. Рамка площадью $S = 200$ см² равномерно вращается с частотой $n = 10$ об/с, относительно оси, лежащей в плоскости рамки, и перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Величина магнитной индукции $B = 0.2$ Тл. Каково среднее значение э.д.с. индукции e_{cp} за время, в течение которого магнитный поток, пронизывающий рамку изменится от нуля до максимального значения? Каково максимальное значение э.д.с. индукции?

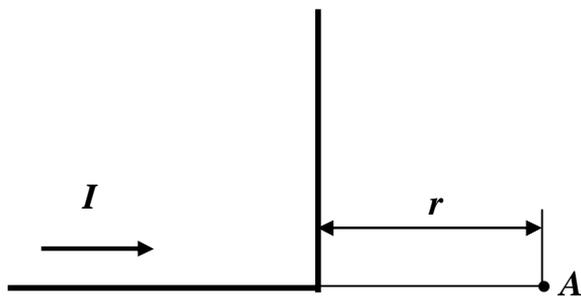
6. Сила тока в соленоиде, содержащем $N = 1000$ витков, $I = 8$ А. Магнитный поток через поперечное сечение соленоида $\Phi = 200$ мкВб. Определить энергию магнитного поля в соленоиде W .

7. Проводящий контур с током $I = 10$ А в форме окружности радиуса $R = 2$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл в положении устойчивого равновесия. Найти работу, которую надо совершить, чтобы повернуть контур на 180° вокруг оси перпендикулярной направлению магнитного поля.

8. Круговой контур с током лежит на плоской границе раздела вакуума и магнетика, проницаемость которого равна m . Определить индукцию B магнитного поля в произвольной точке на оси контура, если магнитная индукция поля в центре витка при отсутствии магнетика равна B_0 .

ВАРИАНТ 6.

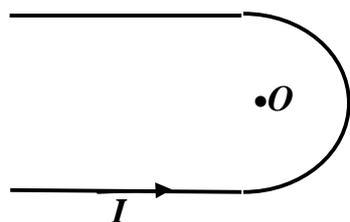
1. По бесконечно длинному прямому проводу, согнутому под прямым углом, течет ток $I = 20$ А. Какова магнитная индукция в точке А, если $r = 5$ см.



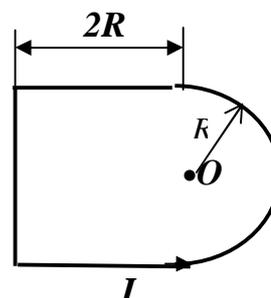
2. Проводник с током $I = 20$ А лежит в плоскости и изогнут так, как показано на рисунке. Радиус изогнутой части проводника $R = 0,4$ м.

Определите величину и изобразите направление вектора магнитной индукции в точке O .

а)



б)



3. Виток, по которому течет ток силой $I = 20 \text{ А}$, свободно установился в однородном магнитном поле напряженностью $H = 12800 \text{ А/м}$. Диаметр витка $d = 10 \text{ см}$. Найти магнитный момент витка \vec{p}_m и изобразить его на чертеже. Сделайте рисунок для случая, когда на виток в рассматриваемом магнитном поле действует максимальный вращающий момент. Найдите его и изобразите на рисунке.

4. Электрон влетает в однородное магнитное поле напряженностью $H = 1,6 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ со скоростью $v = 8000 \text{ км/с}$. Направление скорости составляет угол 60° с направлением поля. Определить радиус и шаг винтовой линии, по которой будет двигаться электрон в магнитном поле.

5. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,35 \text{ Тл}$ равномерно с частотой $n = 480 \text{ об/мин}$ вращается рамка, содержащая $N = 1500$ витков площадью $S = 50 \text{ см}^2$. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Определить максимальную э.д.с. индукции e_{\max} , возникающую в рамке.

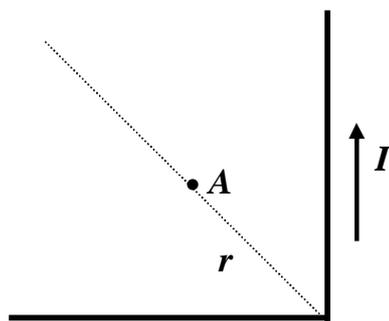
6. Тороид содержит $n = 10$ витков на 1 см . По его обмотке течет ток силой $I = 5 \text{ А}$. Определить объемную плотность энергии в тороиде w .

7. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 1 \text{ Тл}$ находится квадратный проводящий контур со стороной $a = 20 \text{ см}$ и током $I = 5 \text{ А}$. Плоскость квадрата составляет с направлением вектора магнитной индукции угол 30° . Какую работу A надо совершить, чтобы удалить контур за пределы поля?

8. Постоянный магнит имеет форму достаточно тонкого диска, намагниченного вдоль его оси. Радиус диска $R = 1 \text{ см}$. Найти значение молекулярного тока I_ζ проходящего по ободу диска, если магнитная индукция поля на оси диска, в точке отстоящей на $r = 10 \text{ см}$ от его центра, составляет $B = 30 \text{ мкТл}$.

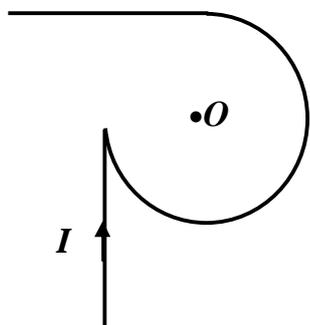
ВАРИАНТ 7.

1. По бесконечно длинному прямому проводу, согнутому под прямым углом, течет ток $I = 100 \text{ А}$. Какова магнитная индукция B в точке A , лежащей на биссектрисе на расстоянии $r = 5 \text{ см}$ от вершины угла?

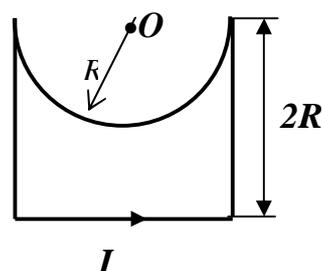


2. Проводник с током $I = 20$ А лежит в плоскости и изогнут так, как показано на рисунке. Радиус изогнутой части проводника $R = 0.4$ м. Определите величину и изобразите направление вектора магнитной индукции в точке O.

а)



б)



3. Катушка гальванометра, состоящая из $N = 400$ витков тонкой проволоки, намотанной на прямоугольный каркас длиной $a = 3$ см и шириной $b = 2$ см, подвешена на нити в магнитном поле, индукция которого $B = 0.01$ Тл. По катушке течет ток силой $I = 10^{-7}$ А. Найти вращающий момент сил \vec{M} , действующий на рамку гальванометра, если:

а) плоскость катушки параллельна направлению магнитного поля,

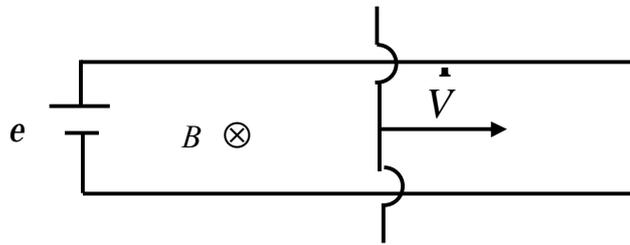
б) плоскость катушки расположена под углом 60° к направлению магнитного поля.

Найдите магнитный момент контура \vec{p}_m , сделайте чертеж с изображением магнитного и вращающего моментов.

4. Электрон движется в однородном магнитном поле напряженностью $H = 7200$ А/м по винтовой линии, радиус которой $R = 1,1$ см и шаг $h = 7,8$ см. Определить период обращения T и его скорость v .

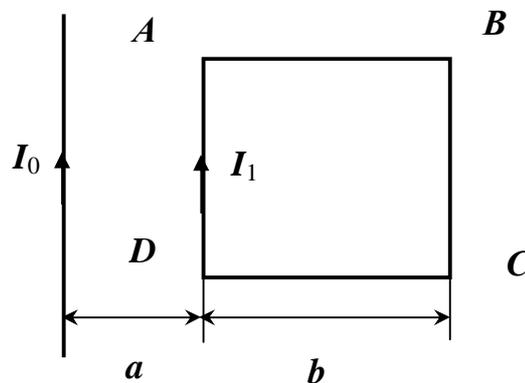
5. К источнику с э.д.с. $\mathcal{E} = 5$ В и ничтожно малым внутренним сопротивлением присоединены два стержня как показано на рисунке. Расстояние между стержнями $l = 20$ см. они находятся в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1,5$ Тл. По стержням скользит под действием сил поля проводник со скоростью $v = 1$ м/с. Сопротивление проводника $R = 0,02$ Ом. Определить: 1) э.д.с. индукции, 2) силу, действующую на проводник со стороны поля, 3) силу тока в цепи, 4)

мощность, расходуемую на движение проводника, 5) мощность, отдаваемая в цепь источником тока.



6. Определить объемную плотность энергии магнитного поля w тонкого кольца радиуса $R = 10$ мм в точке, расположенной на оси кольца, на высоте $h = 2$ см от его центра. По кольцу течет ток $I = 5$ А.

7. В одной плоскости с бесконечным прямым проводником, по которому течет ток $I_0 = 1$ А, расположена квадратная рамка (см. рисунок). Расстояние $a = 2$ см, $b = 5$ см. Найти работу, затрачиваемую на поворот рамки 1) вокруг стороны BC на 180° , 2) вокруг стороны AB на 180° , если в рамке течет ток $I_1 = 2$ А.



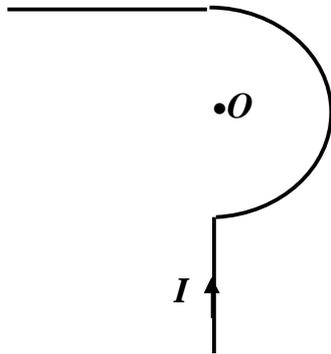
8. В стальном стержне при напряженности магнитного поля $H = 1,6$ кА/м магнитная индукция $B = 1,26$ Тл. Найти намагниченность J и магнитную восприимчивость ϵ материала стержня.

ВАРИАНТ 8.

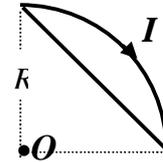
1. По проводнику, изогнутому в виде прямоугольника со сторонами $a = 2$ см и $b = 4$ см течет ток $I = 5$ А. Найти магнитную индукцию в точке пересечения диагоналей прямоугольника.

2. Проводник с током $I = 20$ А лежит в плоскости и изогнут так, как показано на рисунке. Радиус изогнутой части проводника $R = 0,4$ м. Определите величину и изобразите направление вектора магнитной индукции в точке O.

а)



б)



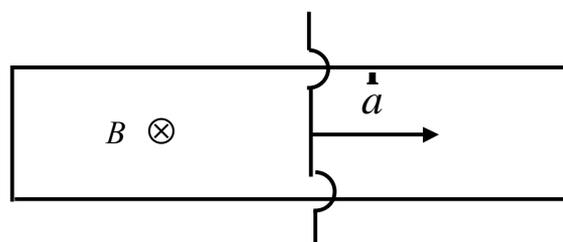
3. Из проволоки длиной $l = 20$ см сделаны контуры: 1) квадратный, 2) круговой. Найдите вращающий момент сил \vec{M} , действующих на каждый контур, помещенный в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0.01$ Тл. По контурам течет ток силой $I = 2$ А. Плоскость контура составляет угол 45° с направлением индукции магнитного поля. Найдите магнитный момент контуров \vec{p}_m . Сделайте чертеж с изображением магнитного и вращающего моментов.

4. Заряженная частица прошла разность потенциалов $U = 104$ В и влетела в скрещенные под прямым углом электрическое и магнитное поля. Напряженность электрического поля $E = 10$ кВ/м, магнитная индукция $B = 0.1$ Тл. Найти удельный заряд частицы q/m , если она двигаясь перпендикулярно обоим полям, не испытывает отклонения от прямолинейной траектории.

5. Рамка площадью $S = 100$ см² содержит $N = 10^3$ витков провода сопротивлением $R = 12$ Ом. К концам обмотки подключено внешнее сопротивление $R_1 = 20$ Ом. Рамка равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл, делая $n = 8$ об/с. Чему равно максимальное значение мощности переменного тока в цепи?

6. Соленоид длиной $l = 50$ мм и площадью поперечного сечения $S = 60$ см² выполнен из проволоки диаметром $d = 0.4$ мм. За какое время при напряжении $U = 10$ В и силе тока $I = 2$ А в нем выделится количество тепла Q , равное энергии поля внутри соленоиды W ? Поле внутри соленоиды считать однородным.

7. Подвижная перемычка длиной $l = 50$ см перемещается с ускорением $a = 2$ см/с² по двум параллельным проводникам П-образного контура. В контуре течет ток $I = 2$ А. Контур помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B = 3$ Тл, перпендикулярное плоскости контура. Найти работу A , затраченную на перемещение перемычки в течение $t = 10$ с от начала движения.



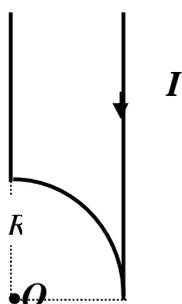
8. В соленоид длиной $l = 40$ см, имеющий $N = 200$ витков, ввели ферромагнитный сердечник. При прохождении по виткам тока $I = 1,2$ А магнитная индукция в сердечнике оказалась равной $B = 1,4$ Тл. Найти магнитную проницаемость ферромагнетика.

ВАРИАНТ 9.

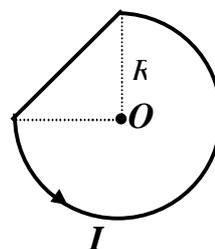
1. Найти магнитную индукцию в центре кругового витка с током и на оси витка на расстоянии $h = 10$ см от его центра. Радиус витка $R = 100$ мм, ток $I = 50$ мА.

2. Проводник с током $I = 20$ А лежит в плоскости и изогнут так, как показано на рисунке. Радиус изогнутой части проводника $R = 0,4$ м. Определите величину и изобразите направление вектора магнитной индукции в точке О.

а)



б)



3. Коаксиальный кабель состоит из внутреннего и внешнего цилиндров радиусами соответственно R_1 и R_2 . Вдоль поверхностей этих цилиндров в противоположных направлениях течет ток I . Найдите напряженность магнитного поля на расстоянии r от центра кабеля в случаях, когда:

а) $R_1 < r < R_2$, б) $r > R_2$.

4. Электрон и протон, удаленные друг от друга на значительное расстояние, находятся в однородном магнитном поле. Зная, что каждый из них движется по окружности, найти отношение их угловых скоростей. Масса протона в 1836 раз больше массы электрона. (Никакие силы, кроме сил Лоренца на протон и электрон не действуют.)

5. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,84$ Тл вращается квадратная рамка со стороной $a = 5$ см, состоящая из небольшого числа витков медной проволоки сечением $S = 0,5$ мм². Концы рамки соединены накоротко. Максимальное значение силы тока, индуцируемого в рамке $I_{\max} = 1,9$ А. Определить число оборотов рамки в секунду n . Как нужно изменить скорость вращения рамки, чтобы при замене медной проволоки железной сила тока в цепи осталась неизменной ($\rho_{\text{меди}} = 16$ кОм·м, $\rho_{\text{железа}} = 90$ кОм·м).

6. Соленоид длиной $l = 20$ см состоит из $N = 100$ витков. Сила тока в соленоиде $I = 1$ А. Определить объемную плотность энергии w внутри соленоида. Поле считать однородным.

7. В магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл находится круглый виток с током $I = 0,2$ А. Радиус витка $R = 20$ см. Плоскость витка составляет угол 30°

с вектором магнитной индукции. Найти работу, которую надо затратить, чтобы повернуть виток в положение, когда его плоскость перпендикулярна магнитному полю.

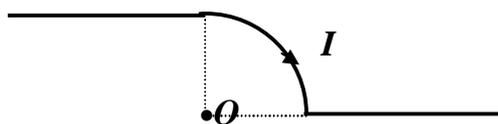
8. Стальной тороид, площадь поперечного сечения которого $S = 4,0 \text{ см}^2$, имеет 10 витков на каждый сантиметр длины. По виткам проходит ток $I = 2,0 \text{ А}$. В этих условиях магнитная проницаемость стали $m = 520$. Найти магнитный поток Φ через сечение тороида. Магнитное поле в поперечном сечении тороида считать однородным.

ВАРИАНТ 10.

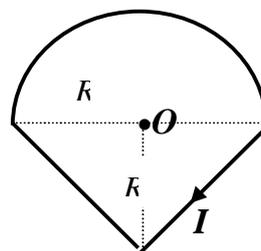
1. Коаксиальный кабель состоит из внутреннего и внешнего цилиндров радиусами соответственно $R_1 = 0,4 \text{ см}$ и $R_2 = 3 \text{ см}$. Вдоль поверхности внутреннего цилиндра течет ток силой $I_1 = 3 \text{ А}$, а вдоль поверхности внешнего цилиндра в противоположном направлении течет ток $I_2 = 2 \text{ А}$. Найдите напряженность магнитного поля на расстоянии $r_1 = 0,5 \text{ см}$ и $r_2 = 5 \text{ см}$ от оси кабеля.

2. Проводник с током $I = 20 \text{ А}$ лежит в плоскости и изогнут так, как показано на рисунке. Радиус изогнутой части проводника $R = 0,4 \text{ м}$. Определите величину и изобразите направление вектора магнитной индукции в точке O .

а)



б)



3. Однородное электрическое и магнитное поля направлены взаимно перпендикулярно. Напряженность электрического поля $E = 3 \text{ В/см}$. Индукция магнитного поля $B = 10^{-4} \text{ Тл}$. Каковы должны быть направление и модуль скорости электрона, чтобы его траектория была прямолинейна?

4. Найти магнитный момент p_m тонкого круглого витка с током, если радиус витка $R = 100 \text{ мм}$, а индукция магнитного поля в его центре $B = 6 \text{ мкТл}$.

5. Медный диск радиуса $R = 10 \text{ см}$ вращается в однородном магнитном поле, делая $n = 100 \text{ об/с}$. Магнитное поле направлено перпендикулярно плоскости диска и имеет напряженность $H = 10^4 \text{ А/м}$. Две щетки – одна на оси диска, другая на периметре соединяют диск с внешней цепью, в которую включен реостат с сопротивлением $r = 10 \text{ Ом}$ и амперметр, сопротивлением которого можно пренебречь. Что показывает амперметр?

6. По проводнику, изогнутому в виде кольца радиуса $R = 10 \text{ см}$, содержащему $N = 200$ витков, течет ток силой $I = 5 \text{ А}$. Определить плотность энергии w магнитного поля в центре кольца.

7. Прямоугольная магнитная рамка с током $I = 2 \text{ А}$ находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,8 \text{ Тл}$. Магнитное поле направлено

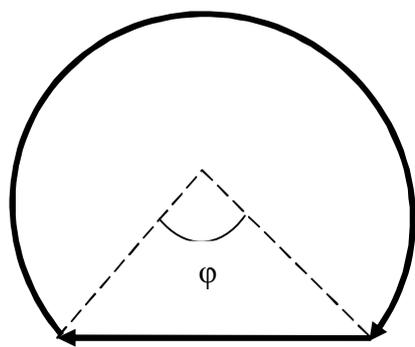
перпендикулярно плоскости рамки. Стороны рамки $a = 2$ см и $b = 5$ см. Найти работу, затраченную на перемещение рамки параллельно самой себе вдоль длинной стороны на расстояние $l = 20$ см. Чему будет равна работа, если удалить рамку за пределы поля?

8. Постоянный магнит изготовлен в виде кольца с узким зазором между полюсами. Средний диаметр кольца D , ширина зазора b ($b \ll \rho D$), индукция магнитного поля в зазоре B . Пренебрегая рассеянием магнитного потока на краях зазора, определить напряженность магнитного поля H внутри магнита.

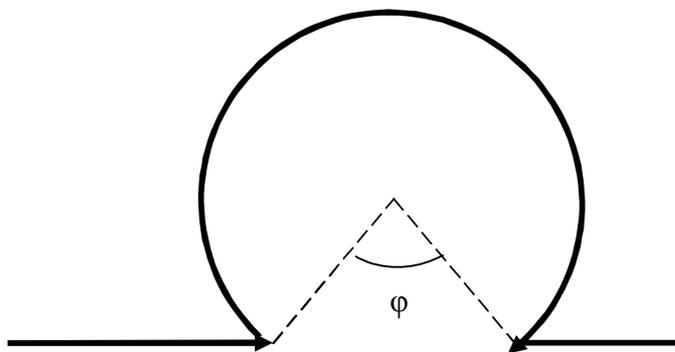
ВАРИАНТ 11.

1. Горизонтальный длинный провод, по которому течет ток $I = 5,12$ кА, ориентирован вдоль земного меридиана. Направление тока с юга на север. Магнитная индукция поля Земли $B = 58$ мкТл и вектор магнитной индукции направлен под углом 70° к горизонтالي. Найти величину и направление магнитного поля на расстоянии 100 м от проводника.

2. Проводник с током $I = 10$ А лежит в плоскости и форма проводника представлена на рисунке. Радиус изогнутой части проводника $R = 10$ см. Угол $\varphi = 90^\circ$. Определить величину магнитной индукции в центре проводника.



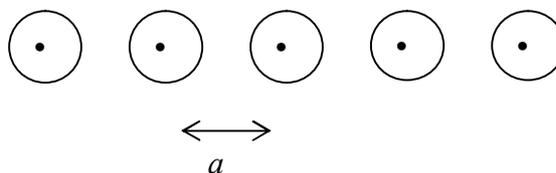
a)



б)

3. На синхрофазатроне – ускорителе частиц удается сообщить протонам кинетическую энергию $W_K = 950$ ГэВ. Определить скорость движения протонов и индукцию магнитного поля, необходимую для удержания протонов на орбите радиусом $R = 750$ м. (Энергия покоя протона $W_0 = 938$ МэВ).

4. Пять параллельных проводников лежат в одной плоскости. Расстояние между проводниками $a = 8$ см. По проводникам текут одинаковые токи одного направления силой $I = 3$ А. Найти силу, действующую на метр длины каждого проводника.



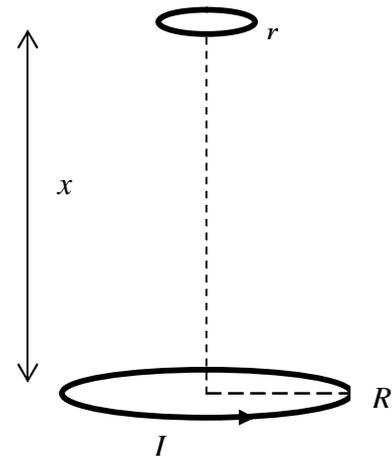
5. Магнитный момент Земли $P_m = 8 \cdot 10^{22}$ Агм². Предполагая, что этот магнитный момент определяется намагниченностью железного ядра в центре

Земли, определить его радиус. Плотность материала глубинных слоев планеты $\rho = 14 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, магнитный момент атома железа $p_m = 2,1 \cdot 10^{-23} \text{ Агм}^2$.

6. Тонкий пластмассовый диск радиуса R равномерно заряжен по поверхности зарядом q . Диск вращается с угловой скоростью ω относительно оси, проходящей через центр диска. Найти магнитную индукцию в центре диска.

7. Плоскости круговых контуров с радиусами r и R параллельны. Расстояние между контурами увеличивается с постоянной скоростью $\frac{dx}{dt} = u$. Предполагая

магнитное поле в плоскости малого контура приблизительно однородным, определить: а) магнитный поток через контур r ; б) ЭДС индукции; в) направление индукционного тока.

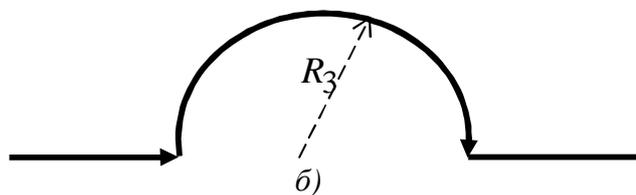
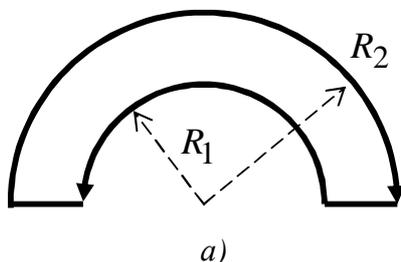


8. Полный магнитный поток через катушку индуктивности $\Psi = 26,2 \text{ мВб}$, когда ток в катушке $I = 5,48 \text{ А}$. Электрическое сопротивление катушки $R = 0,745 \text{ Ом}$. Определить индуктивность катушки и время, через которое включение источника тока с ЭДС $\mathcal{E} = 6 \text{ В}$ создает ток $I = 2,53 \text{ А}$.

ВАРИАНТ 12.

1. По двум длинным параллельным проводникам проходят противоположно направленные токи $I_1 = 50 \text{ А}$ и $I_2 = 100 \text{ А}$. Расстояние между проводниками $a = 20 \text{ см}$. Найти индукцию магнитного поля в точке, удаленной на расстояние $r_1 = 30 \text{ см}$ от первого проводника и на $r_2 = 40 \text{ см}$ от второго.

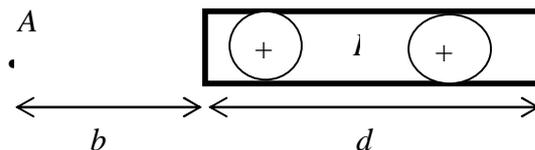
2. Проводник с током $I = 10 \text{ А}$ лежит в плоскости. Радиусы изогнутых частей $R_1 = 10 \text{ см}$, $R_2 = 20 \text{ см}$ и $R_3 = 15 \text{ см}$. Найти индукцию магнитного поля в центре кривизны проводника.



3. По проводнику в виде квадрата со стороной $a = 10 \text{ см}$ течет ток $I = 5 \text{ А}$. Найти индукцию магнитного поля в центре квадрата.

4. Протон движется по направлению, составляющему угол $q = 23^\circ$ с направлением индукции магнитного поля $B = 2,63 \text{ мТл}$. На протон действует сила $F_m = 6,48 \cdot 10^{-17} \text{ Н}$. Определить кинетическую энергию протона.

5. По тонкой плоской пластине течет однородный ток. Сила тока I . Ширина пластины d . Определить индукцию магнитного поля в точке A , расположенной на продолжении пластины на расстоянии b .



6. Круговой контур, изготовленный из эластичного провода, может изменять свою площадь. Провод находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,785 \text{ Тл}$. Начальный радиус контура $R_0 = 1,3 \text{ м}$. Радиус уменьшается с постоянной скоростью $\frac{dR}{dt} = 7,5 \frac{\text{см}}{\text{с}}$. Плоскость контура наклонена под углом

$\alpha = 30^\circ$ к направлению поля. Определить ЭДС индукции в контуре через 2 с и 4 с после начала сжатия.

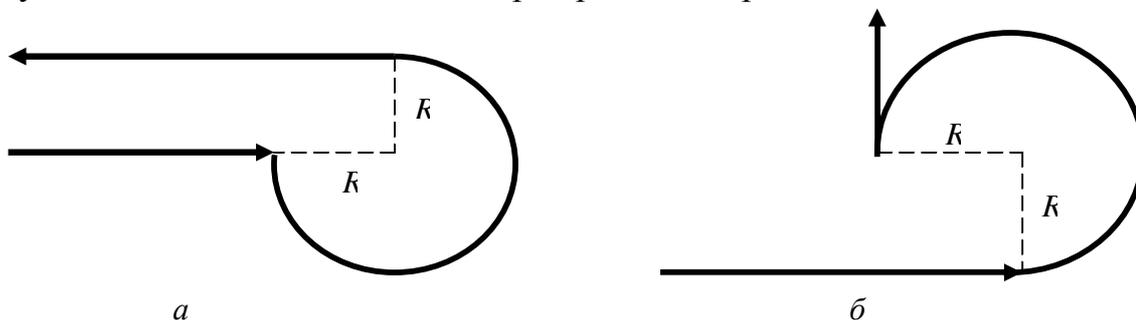
7. По длинному прямому соленоиду течет ток $I = 2 \text{ А}$. Плотность намотки витков соленоида $n = 35 \frac{\text{витк.}}{\text{см}}$. Найти индукцию магнитного поля в центре одного из оснований соленоида.

8. По двум длинным параллельным стержням радиуса a и длиной d , расстояние между центрами которых d , проходят одинаковые токи в противоположных направлениях. Определить индуктивность такой системы.

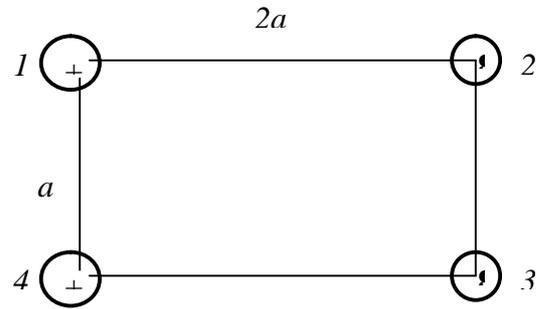
ВАРИАНТ 13.

1. Вблизи экватора магнитное поле Земли направлено горизонтально и равно по величине $B = 43 \text{ мкТл}$. При сложении магнитного поля Земли и некоторого прямолинейного проводника в точке, расположенной от проводника на расстоянии $b = 8 \text{ см}$, магнитная индукция поля $B = 0$. Найти силу тока в проводнике и его направление.

2. Проводник с током $I = 10 \text{ А}$ лежит в плоскости и изогнут так, как показано на рисунке. Радиус изогнутой части проводника $R = 20 \text{ см}$. Определить индукцию магнитного поля в центре кривизны проводника.

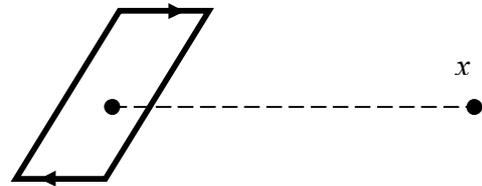


3. В вершинах прямоугольника со сторонами a и $2a$ расположены длинные параллельные проводники. По проводникам текут одинаковые токи I . Направление токов в вершинах $1,4$ в плоскость рисунка, в вершинах $2,3$ – противоположное. Найти индукцию магнитного поля в точке пересечения диагоналей.



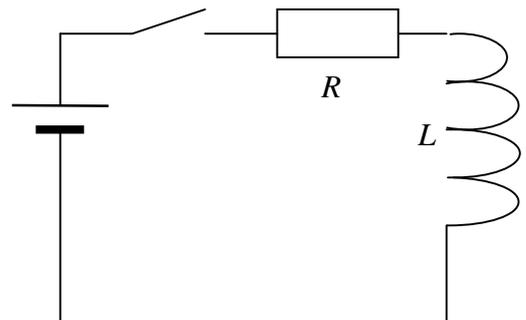
4. В физических экспериментах на циклотроне протоны ускоряются до скорости $v = 0,3c$. Магниты, используемые в циклотроне создают магнитное поле с индукцией $B = 1,4 \text{ Тл}$. Определить радиус циклотрона и частоту вращения протонов. (c – скорость света)

5. По контуру в виде квадрата со стороной a течет ток I . Найти индукцию магнитного поля на оси контура, проходящей через его центр в точке, удаленной на расстояние x от плоскости контура.



6. Длина соленоида L , диаметр D , плотность намотки витков n . По соленоиду течет ток I . Найти индукцию магнитного поля в произвольной точке, лежащей на оси соленоида x (вне соленоида). Начало оси x в центре основания соленоида.

7. В электрической цепи ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 12,2 \text{ В}$, $R = 7,34 \text{ Ом}$ и $L = 5,48 \text{ Гн}$. Источник тока подключается в момент времени $t = 0$. Какое количество энергии выделится в цепи в течение первых 2 секунд? Какая часть этой энергии будет составлять энергию магнитного поля?



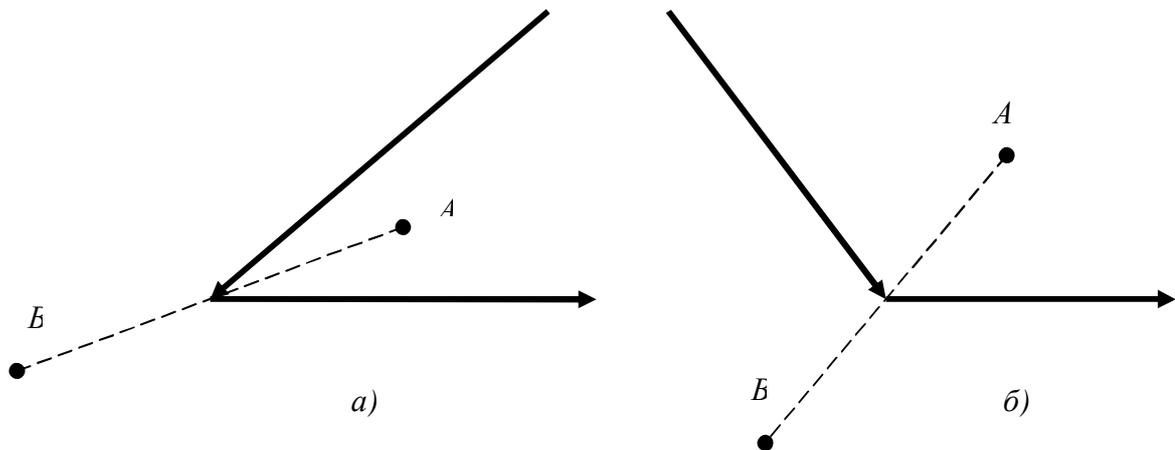
9. Однородное магнитное поле изменяется с постоянной скоростью $\frac{dB}{dt} = \text{const}$. В магнитном поле имеется круговой медный контур радиуса r .

Плоскость контура составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с направлением поля. Масса контура m . Определить силу индукционного тока в контуре. Удельное сопротивление меди – ρ , плотность – d .

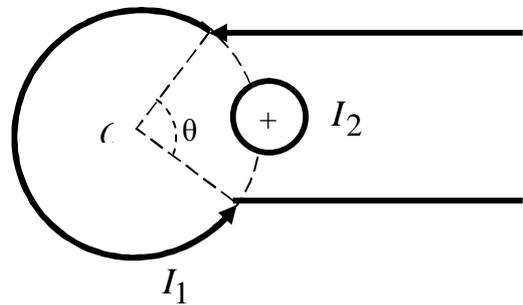
ВАРИАНТ 14.

1. По двум длинным параллельным проводам проходят в одном направлении токи, причем $I_2 = 2I_1$. Расстояние между проводами равно a . Определить положение точек в пространстве, в которых индукция магнитного поля равна нулю.

2. Длинный проводник с током $I = 10 \text{ A}$ изогнут под углом $\alpha = 60^\circ$ и $\alpha = 120^\circ$. Определить индукцию магнитного поля в точках A и B , лежащих на биссектрисе угла на расстоянии $l = 10 \text{ см}$ от его вершины.



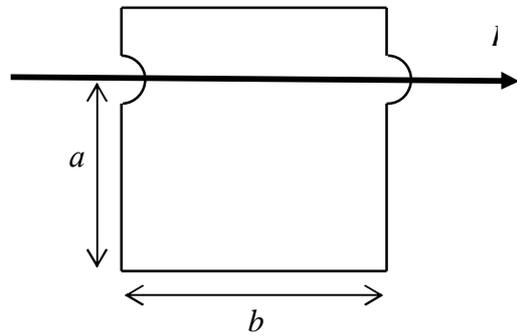
3. Два проводника, один из которых изогнут как показано на рисунке с током $I_1 = 5 \text{ A}$, а другой прямолинейный, ориентированный перпендикулярно плоскости первого проводника, с током $I_2 = 10 \text{ A}$ расположены в пересекающихся плоскостях. Определить индукцию магнитного поля в точке O , центре кривизны первого проводника. Угол $\varphi = 90^\circ$.



4. Диаметр соленоида D , длина L . При этом $\frac{L}{D} = 4$. Плотность намотки витков $n = 200 \frac{\text{витк.}}{\text{см}}$. По обмотке соленоида течет ток $I = 0,1 \text{ A}$. Найти магнитную индукцию в центре соленоида и в центре одного из оснований.

5. Напряженность магнитного поля Земли на экваторе $H = 34 \frac{\text{A}}{\text{м}}$. Полагая, что вектор напряженности магнитного поля направлен по меридиану, определить скорость протона, принадлежащего космическим лучам, чтобы он смог обогнуть Землю вдоль экватора.

6. Ток, текущий по прямолинейному проводнику, меняется со временем по закону $I = 4,5t^2 - 10t$ (А). Найти ЭДС индукции в прямоугольном контуре, лежащем в плоскости проводника в момент времени $t = 3$ с. Геометрические размеры контура $b = 16$ см, $a = 12$ см.

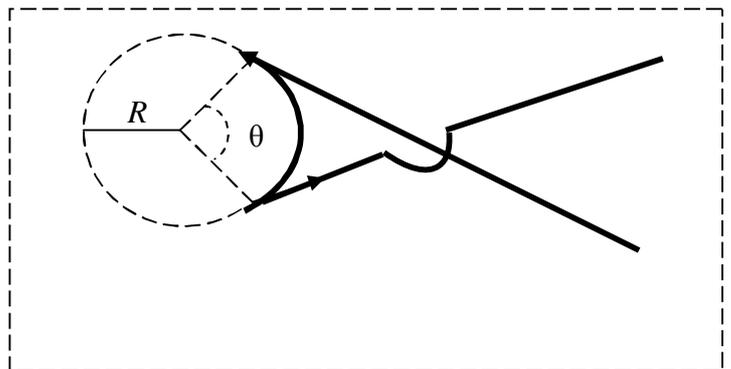


7. Электрон в атоме водорода, находящемся в основном состоянии, вращается по стационарной орбите с радиусом $R = 0,53 \cdot 10^{-10}$ м. Определить магнитный момент атома. Сравнить магнитный момент атома с собственным магнитным моментом электрона.

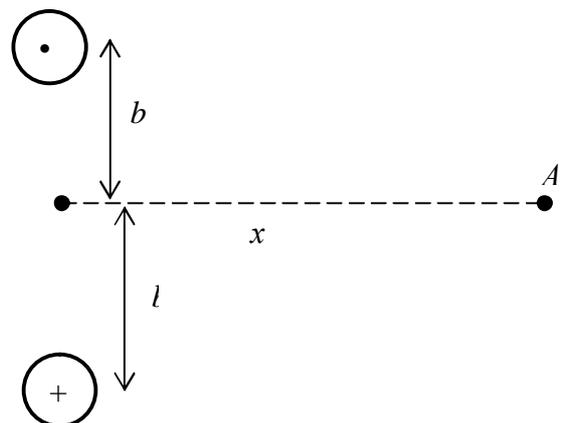
8. Две катушки с индуктивностями L_1 и L_2 соединены параллельно. Определить общую индуктивность электрической цепи. Влияет ли на результат расстояние между катушками?

ВАРИАНТ 15.

1. Прямолинейные полубесконечные проводники с током ориентированы по касательной к окружности. Все проводники лежат в одной плоскости. Определить угол θ , при котором индукция магнитного поля в центре окружности $B = 0$.



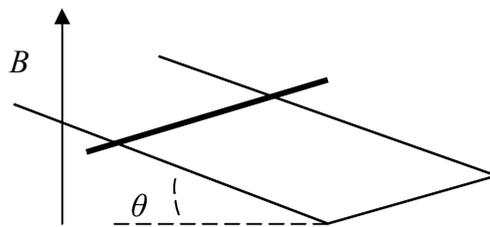
2. Два длинных параллельных проводника расположены на расстоянии $2b$ друг от друга. По проводникам текут одинаковые токи I , направленные противоположно друг другу. Найти магнитную индукцию на оси симметрии в точке A , расположенной на расстоянии x от плоскости, в которой находятся проводники.



3. По длинному цилиндрическому проводнику радиуса R течет ток силой I . Плотность тока однородна по всему сечению проводника. На каком расстоянии от оси проводника магнитная индукция поля будет равна половине индукции поля на поверхности проводника?

4. Магнитный момент Земли $P_m = 8 \cdot 10^{22} \text{ Агм}^2$. Предположим, что по экватору проложен замкнутый контур. Какой ток должен протекать по данному контуру, чтобы его магнитный момент был равен моменту Земли?

5. Легкий проводящий стержень длиной l , массой m и электрическим сопротивлением R опускается без трения по двум направляющим рельсам. Сопротивление направляющих пренебрежимо мало. Направляющие установлены под углом θ к горизонту.



Магнитное поле направлено вертикально вверх. Стержень скользит вниз по направляющим с постоянной скоростью. Определить эту скорость.

6. Тонкое равномерно заряженное кольцо радиусом $R = 10 \text{ см}$ вращается вокруг своей оси с постоянной частотой $n = 20 \frac{\text{об}}{\text{с}}$. Найти отношение

объемных плотностей энергии магнитного и электрического полей на оси кольца в точке, расположенной на расстоянии $x = 10 \text{ см}$ от центра кольца.

7. Космические лучи, падающие на Землю, состоят из элементарных частиц.

Протоны в космических лучах имеют скорость $v \approx 2,8 \cdot 10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Горизонтальная составляющая магнитного поля Земли $H_z = 25 \frac{\text{А}}{\text{м}}$.

Определить отношение магнитной силы Лоренца к силе гравитации, действующей на протон.

8. Два параллельных стержня диаметром $b = 2,6 \text{ мм}$ и расстоянием между центрами $d = 21,8 \text{ мм}$ имеют длину $l = 1 \text{ м}$. По стержням текут одинаковые токи противоположного направления $I = 11,3 \text{ А}$. Определить полный магнитный поток между центрами стержней и в пространстве между стержнями.

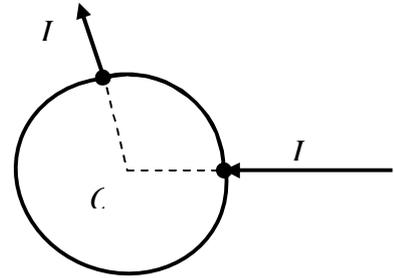
9. Тороид и железным сердечником длиной $l = 20 \text{ см}$ (по средней линии) имеет воздушный зазор толщиной $b = 10 \text{ мм}$. Обмотка тороида содержит $N = 500$ витков. Ток в обмотке $I = 3 \text{ А}$. Магнитная проницаемость сердечника в этих условиях $\mu = 600$. Найти плотность энергии магнитного поля в сердечнике и воздушном зазоре. Рассеянием магнитного потока пренебречь.

10. Определить индуктивность длины l коаксиального кабеля с радиусом центрального проводника a и внешней оболочки b .

ВАРИАНТ 16.

1. По двум длинным параллельным проводам проходят токи в противоположных направлениях, причем $I_1 = 2I_2$. Расстояние между проводами a . Определить положение точек, в которых индукция магнитного поля равна нулю.

2. К двум точкам проволочного кольца подведены идущие радиально провода, соединенные с удаленным источником тока. Радиус кольца R . По радиальным проводам течет ток силой I . Найти индукцию магнитного поля в центре кольца.

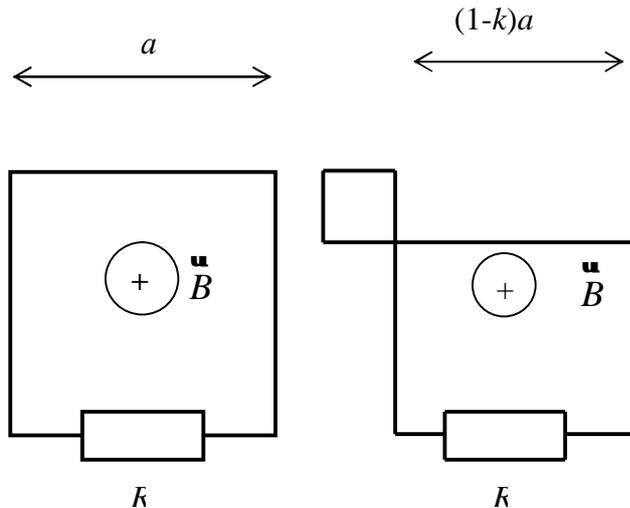


3. Протон, скорость которого определяется вектором $\vec{u} = (-2\vec{i} + 4\vec{j} - 6\vec{k}) \frac{M}{c}$, попадает в область действия магнитного поля с индукцией $\vec{B} = (2\vec{i} - 4\vec{j} + 8\vec{k}) \text{ мТл}$. Определить силу Лоренца, действующую на протон, угол между векторами \vec{u} и \vec{B} и характеристики траектории протона (радиус кривизны и шаг винтовой линии).

4. Тонкий пластиковый диск радиуса R , заряженный зарядом q , равномерно распределенным по поверхности диска, вращается равномерно с угловой скоростью ω . Определить магнитный момент диска.

5. На железном тороидальном сердечнике с радиусом R (по средней линии) намотано N витков провода. В сердечнике сделана поперечная прорезь малой толщины b ($b \ll 2\pi R$). При силе тока I в обмотке магнитная индукция в зазоре B . Пренебрегая рассеянием магнитного потока на краях зазора, определить магнитную проницаемость железа в этих условиях.

6. Проволочный квадрат, замкнутый на сопротивление R , помещен в магнитное поле, изменяющееся по закону $B = B_0 \vec{g}$. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости квадрата. Как изменится ток, текущий через сопротивление R , если из квадрата сделать два квадрата со сторонами ka , $(1-k)a$?



Провод покрыт изоляцией. Рассмотреть случаи пересечения и отсутствие пересечения квадратов.

7. Ток $I = 20 \text{ А}$ идет по полой тонкостенной трубе радиуса $R = 5 \text{ см}$ и возвращается по сплошному проводнику радиуса $r = 1 \text{ мм}$, проложенному по

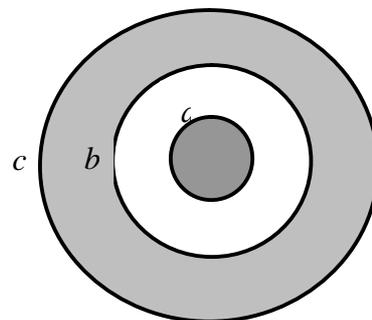
оси трубы. Длина трубы $l = 20$ м. Определить энергию магнитного поля всей системы.

8. Две катушки с индуктивностью L_1 и L_2 соединены последовательно. Определить общую индуктивность электрической цепи. Влияет ли на результат расстояние между катушками?

ВАРИАНТ 17.

1. Ток силой I проходит по тонкому проводу, имеющему вид правильного n -угольника, вписанного в окружность радиусом R . Определить магнитную индукцию в центре такого контура. Исследовать полученное выражение при $n \rightarrow \infty$.

2. По цилиндрическому коаксиальному кабелю с размерами a, b, c течет ток. Направление тока по внутреннему проводу и цилиндрической оболочке противоположны. Определить индукцию магнитного поля как функцию расстояния r от оси кабеля.



3. Американский физик Гаудсмит предложил метод определения массы тяжелых ионов по периоду обращения их в магнитном поле. Известно, что однократно ионизированный атом, делает 7 оборотов в течение времени $\Delta t = 1,29$ мс в магнитном поле с индукцией $B = 45$ мТл. Определить массу иона и соответствующий химический элемент.

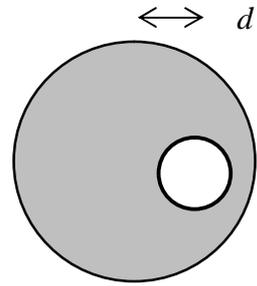
4. Два витка с магнитными моментами \vec{p}_1 и \vec{p}_2 расположены так, что оси их находятся на одной прямой. Расстояние между витками r велико по сравнению с радиусом витков. Определить силу их взаимодействия.

5. В катушке индуктивности наводится ЭДС самоиндукции $\mathcal{E} = 3$ мВ при скорости изменения силы тока в катушке $\frac{dI}{dt} = 5 \frac{A}{c}$. При постоянном токе в катушке $I = 8$ А магнитный поток через каждый виток $\Phi_m = 40$ мВб. Определить число витков и индуктивность катушки.

6. Тороидальная катушка индуктивностью $L = 0,09$ Гн имеет внутренний объем $V = 0,02$ м³. Какая сила тока в обмотке тороида создает среднюю плотность энергии магнитного поля $w = 70 \frac{Дж}{м^3}$?

7. Обмотка электромагнита имеет сопротивление $R = 10$ Ом и индуктивность $L = 0,2$ Гн и находится под постоянным напряжением. За какое время в обмотке выделится количество теплоты, равное энергии магнитного поля в сердечнике?

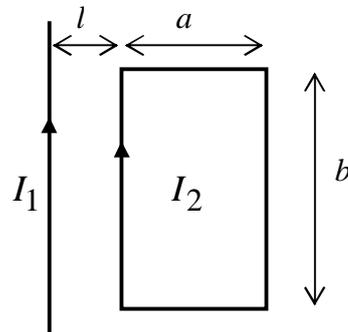
8. По цилиндрическому проводнику течет ток плотностью j . Внутри проводника имеется цилиндрическая полость. Оси полости и проводника параллельны. Расстояние между осями d . Используя теорему о циркуляции напряженности поля и принцип суперпозиции, определить индукцию магнитного поля в полости.



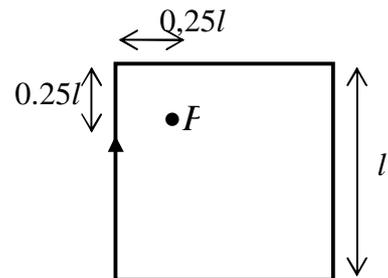
ВАРИАНТ 18.

1. Определить магнитную индукцию поля безграничной плоскости, по которой проходит однородный ток с линейной плотностью τ . (τ – сила тока на единицу длины плоскости, отсчитываемую в направлении, перпендикулярном направлению тока).

2. По длинному прямолинейному проводу проходит ток $I_1 = 20 \text{ A}$. В плоскости провода параллельно проводу расположена прямоугольная рамка, по которой проходит ток $I_2 = 30 \text{ A}$. Стороны рамки $a = 8 \text{ см}$, $b = 30 \text{ см}$. Расстояние от провода до рамки $l = 1 \text{ см}$. Определить силу взаимодействия провода и рамки.



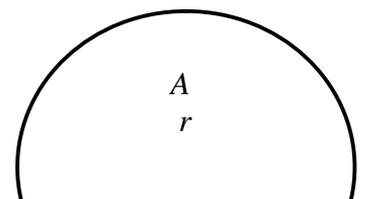
3. Найти индукцию магнитного поля в точке P , лежащей в плоскости квадратного контура со стороной l . Сравнить с величиной индукции в центре квадрата.



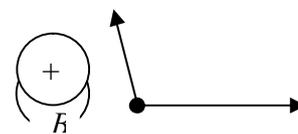
4. Векторы индукции магнитного поля B и напряженности электрического поля E совпадают по направлению. В действующих совместно полях начинает двигаться со скоростью v электрон. Определить нормальное и касательное ускорение электрона, если скорость электрона a) направлена вдоль полей; b) направлена перпендикулярно полям.

5. Медное кольцо, имеющее массу $m = 5 \text{ кг}$, расположено в плоскости магнитного меридиана. Какой заряд протекает через кольцо при повороте его относительно вертикальной оси на угол $\alpha = 90^\circ$? Напряженность горизонтальной составляющей магнитного поля Земли $H = 40 \frac{\text{A}}{\text{м}}$.

6. В цилиндрическом объеме радиуса $R = 10 \text{ см}$ сосредоточено однородное



магнитное поле индукцией B . Магнитное поле убывает равномерно так, что $\frac{dB}{dt} = 10 \frac{мТл}{с}$. Найти величину и направление ускорения, действующего на электрон в точках A , O и на поверхности цилиндра. Расстояние от точки A до оси цилиндра $r = 4,8 \text{ см}$.

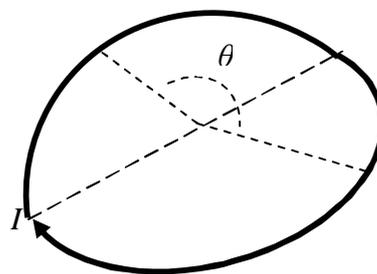


7. Определить энергию магнитного поля, приходящуюся на единицу длины длинного прямого провода диаметром d , по которому течет ток I . Дать объяснение полученному результату.

8. Две катушки с индуктивностями $L_1 = 5 \text{ мГн}$ и $L_2 = 3 \text{ мГн}$ включены последовательно и расположены так, что их магнитные поля усиливают друг друга. Индуктивность всей системы $L = 11 \text{ мГн}$. Определить взаимную индуктивность катушек.

ВАРИАНТ 19.

1. Во сколько раз уменьшится индукция магнитного поля в центре кольца с током, если его согнуть под углом θ ? Ток в кольце не меняется.



2. Однородный электронный пучок в вакууме проходит через область пространства, где созданы электрическое поле с напряженностью $E = 300 \frac{В}{см}$

и магнитное поле с напряженностью $H = 2390 \frac{А}{м}$ перпендикулярные друг другу и направлению движения электронов. При этой конфигурации полей электроны движутся прямолинейно, в то время как в отсутствии электрического поля радиус траектории электронов $R = 1,9 \text{ см}$. По этим данным определить скорость электронов и удельный заряд электрона $\frac{q}{m}$.

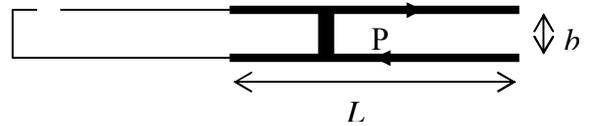
3. Сила тока в проводнике I , сторона квадрата a . Квадрат сделан из такого же провода, что и проводник. Найти магнитную индукция в центре квадрата.



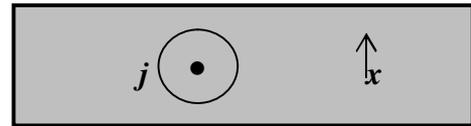
4. На рисунке приведена схема идеального электромагнитного



рельсового ускорителя. Частица P разгоняется магнитным полем на длине рельсов L . Рельсы цилиндрические радиусом r . До какой максимальной скорости можно разогнать проводящую частицу массы $m = 10 \text{ г}$, если $r = 6,7 \text{ см}$, $b = 12 \text{ мм}$, $L = 4 \text{ м}$, $I = 450 \text{ кА}$?



5. По длинной широкой шине с поперечным размером a течет ток, равномерно распределенный по сечению проводника. Плотность тока j . Как зависит индукция магнитного поля от расстояния x от средней плоскости шины?



6. Металлический диск радиусом R вращается с постоянной угловой скоростью ω относительно оси, проходящей через его центр. Определить разность потенциалов между центром и ободом диска в двух случаях: а) внешнее магнитное поле отсутствует; б) имеется перпендикулярное плоскости диска внешнее магнитное поле с индукцией B .

7. Определить взаимную индуктивность L_{12} длинного прямого провода и прямоугольной рамки со сторонами a и b . Рамка и провод лежат в одной плоскости, причем ближняя к проводу сторона рамки длиной a параллельна проводу и отстоит от него на расстояние l .

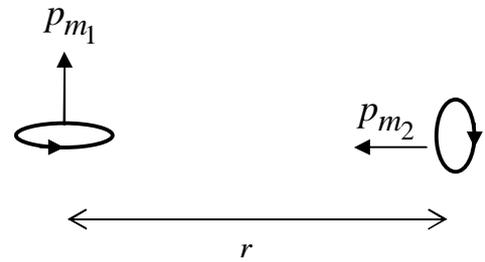
8. Однородный соленоид диаметром $D = 10 \text{ см}$ сделан таким образом, что при удалении от центра соленоида вдоль оси на 1 см напряженность магнитного поля внутри соленоида меняется менее чем на 1%. Определить минимальную длину соленоида.

ВАРИАНТ 20.

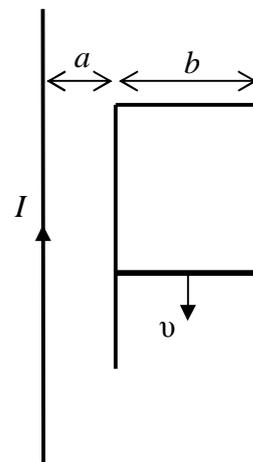
1. Имеется тороидальный сердечник с внутренним радиусом $r = 10 \text{ см}$ и внешним $R = 12 \text{ см}$ с магнитной проницаемостью $\mu = 600$. Сечение сердечника квадратное. На сердечник намотан провод диаметром $d = 0,95 \text{ мм}$. Витки обмотки вплотную прилегают друг к другу. Сопротивление провода на единицу длины $R = 0,021 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$. Определить индуктивность катушки и

индукционную постоянную времени $t = \frac{L}{R}$.

2. Два одинаковых контура радиусом R , по которым текут соответствующие токи I_1, I_2 расположены вдоль одной прямой так, что магнитные моменты контуров взаимно перпендикулярны. Расстояние между контурами $r \gg R$. Определить силу взаимодействия между контурами и направление действия силы.

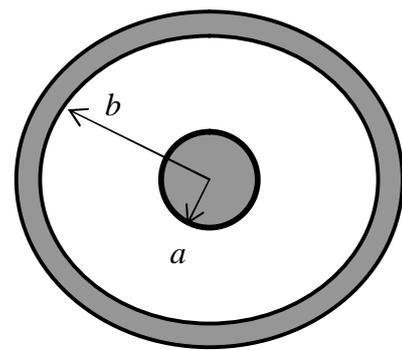


3. По прямому длинному проводу течет ток $I = 100 \text{ A}$. В плоскости провода параллельно ему расположен прямоугольный контур. Одна сторона контура длиной l и сопротивлением $R = 0,4 \text{ Ом}$ движется вдоль направляющих со скоростью $u = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.



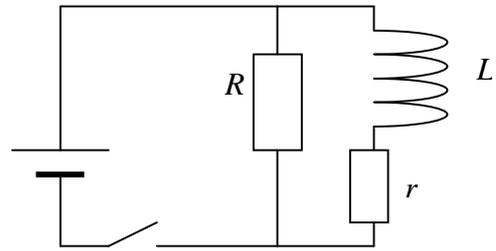
Расстояние от провода до контура $a = 10 \text{ мм}$, $l = 10 \text{ см}$. Найти силу тока в контуре. Сопротивлением остальной части контура пренебречь.

4. Длинный коаксиальный кабель состоит из двух цилиндрических проводников внутреннего (радиусом a) и внешнего (радиусом b). По обоим проводникам в противоположных направлениях течет ток I . Определить энергию магнитного поля на длине кабеля l , сосредоточенную внутри кабеля. Толщиной внешней оболочки пренебречь.

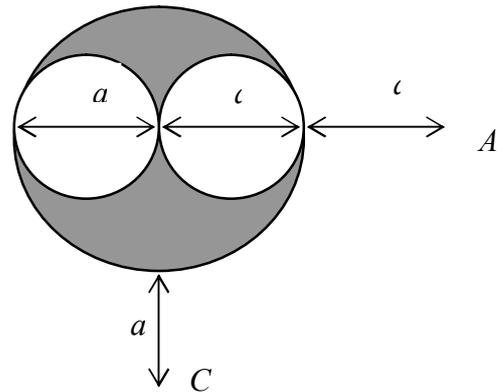


5. Определить отношение индуктивностей для длинного соленоида и соленоида конечной длины, для которого $\frac{l}{D} = 5$ (l – длина, D – диаметр соленоида). Плотность намотки в обоих случаях одинакова.

6. Дроссель с индуктивностью L , сопротивлением $r = 200 \text{ Ом}$, и резистор сопротивлением $R = 1,4 \text{ кОм}$ подсоединены к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 120 \text{ В}$. Какое напряжение будет на сопротивлении R через $t = 1 \text{ мс}$ после отключения источника тока?



7. В длинном цилиндрическом проводнике диаметром $2a$ имеются цилиндрические полости диаметром a каждая. По проводнику течет ток I . Используя принцип суперпозиции найти индукцию магнитного поля в точках A и C .



8. Концентрация атомов вещества твердого тела n , каждый из которых обладает собственным магнитным моментом μ . В соответствии с распределением Больцмана вероятность состояния атома с потенциальной

энергией U пропорциональна $e^{-\frac{U}{kT}}$. Предполагая, что магнитные моменты атомов выстраиваются параллельно или антипараллельно внешнему магнитному полю, определить намагниченность тела \vec{J} . Рассмотреть намагниченность в предельном случае $U \ll kT$.

Министерство образования Российской Федерации

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

53
Э 454

№ 2425

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, МАГНЕТИЗМ

Методические указания к выполнению
расчетно-графических заданий для студентов
I-II курсов факультетов РЭФ, ФЭН и ФТФ
дневного отделения

НОВОСИБИРСК
2008

