

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В настоящей работе студентам предлагается решить 4 типовые задачи, каждая из которых разбита на 25 вариантов.

При решении задач необходимо выполнить следующее:

1. Сформулировать задачу, т. е. записать конкретное словесное условие задачи с числовыми значениями.
2. Дать конкретный чертеж, поясняющий содержание задачи соответствующего варианта.
3. Решение задачи сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями, раскрывающими физический смысл употребляемых формул (указать основные законы, буквенные обозначения величин).
4. Решить задачу в общем виде и получить рабочую формулу, т. е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи.
5. Выразить все величины, входящие в рабочую формулу, в единицах СИ.
6. Подставить в рабочую формулу числовые значения, выраженные в единицах СИ.
7. Произвести вычисление величин, руководствуясь правилами приближенных вычислений.
8. Проверить, дает ли рабочая формула правильную размерность искомой величины.

Настоящие методические указания содержат задачи на следующие темы:

1. Напряженность электростатического поля точечных зарядов.
2. Взаимодействие зарядов и заряженных тел.
3. Определение индукции магнитного поля токов.
4. Сила Лоренца. Сила Ампера. Закон электромагнитной индукции Фарадея.

ЗАДАЧА 1. НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ТОЧЕЧНЫХ ЗАРЯДОВ

В вершинах геометрической фигуры (рис. 1) расположены заряды, обозначенные q_1, q_2, \dots, q_6 . Заряд и напряженность электрического поля в центре геометрической фигуры обозначаются соответственно q_0, E_0 . Заряд, расположенный в середине какой-либо стороны фигуры, и напряженность поля в этой же точке обозначается Q_{ik} и E_{ik} (например, Q_{12} обозначает, что посередине между зарядами q_1 и q_2 находится заряд Q_{12} ; напряженность поля посередине между этими зарядами обозначается E_{12}). В зависимости от номера варианта необходимо найти или напряженность E_0 (или E_{ik}), или заряд q_i (или Q_0 , или Q_{ik}). Сторона фигуры обозначается буквой a .

Варианты расположения зарядов даны на рис. 1. Значения зарядов, напряженностей и стороны фигуры к задаче 1 даны в табл. 1, 2.

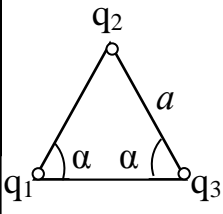
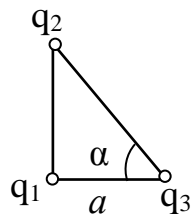
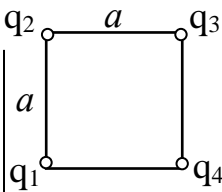
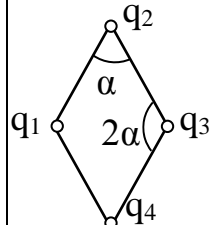
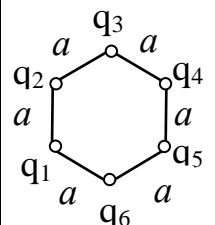
Варианты				
1 – 5	6 – 10	11 – 15	16 – 20	21 – 25
				
$\alpha = 60^0$	$\alpha = 45^0$		$\alpha = 60^0$	

Рис. 1

Таблица 1

Значения зарядов к задаче по теме № 1

Вариант	Геометрическая фигура	q_1 , Кл	q_2 , Кл	q_3 , Кл	q_4 , Кл	q_5 , Кл	q_6 , Кл
1.	Треугольник	$5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$-5 \cdot 10^{-9}$	-	-	-
2.	Треугольник	10^{-8}	10^{-8}	10^{-8}	-	-	-
3.	Треугольник	$5 \cdot 10^{-9}$	$-5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	-	-	-
4.	Треугольник	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$-1,5 \cdot 10^{-9}$	-	-	-
5.	Треугольник	10^{-8}	10^{-8}	10^{-8}	-	-	-
6.	Треугольник	10^{-8}	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	-	-	-
7.	Треугольник	$-3 \cdot 10^{-8}$	$-3 \cdot 10^{-8}$	$-3 \cdot 10^{-8}$	-	-	-
8.	Треугольник	10^{-8}	-10^{-8}	-10^{-8}	-	-	-
9.	Треугольник	0	$3 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-8}$	-	-	-

Продолжение табл. 1

Вариант	Геометрическая фигура	q1, Кл	q2, Кл	q3, Кл	q4, Кл	q5, Кл	q6, Кл
10.	Треугольник	?	-10^{-8}	-10^{-8}	-	-	-
11.	Квадрат	10^{-8}	10^{-8}	$-2 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-8}$	-	-
12.	Квадрат	$5 \cdot 10^{-9}$	$-5 \cdot 10^{-9}$	$-5 \cdot 10^{-9}$	$-5 \cdot 10^{-9}$	-	-
13.	Квадрат	$2 \cdot 10^{-8}$	$-2 \cdot 10^{-8}$	$-2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	-	-
14.	Квадрат	10^{-8}	10^{-8}	$-2 \cdot 10^{-8}$	$-2 \cdot 10^{-8}$	-	-
15.	Квадрат	10^{-8}	$2 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-8}$	-	-
16.	Ромб	$5 \cdot 10^{-9}$	$-5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	-	-
17.	Ромб	-10^{-8}	$5 \cdot 10^{-9}$	-10^{-8}	$-5 \cdot 10^{-9}$	-	-
18.	Ромб	$4 \cdot 10^{-9}$	$8 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-9}$	0	-	-
19.	Ромб	$5 \cdot 10^{-9}$	$-5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$-5 \cdot 10^{-9}$	-	-
20.	Ромб	-10^{-8}	10^{-8}	-10^{-8}	10^{-8}	-	-
21.	Шестиугольник	$4 \cdot 10^{-8}$	$8 \cdot 10^{-8}$	$8 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-8}$	$8 \cdot 10^{-8}$	$-8 \cdot 10^{-8}$
22.	Шестиугольник	$3 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-8}$	$-3 \cdot 10^{-8}$	$-3 \cdot 10^{-8}$	$-3 \cdot 10^{-8}$
23.	Шестиугольник	-10^{-8}	$-2 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-8}$
24.	Шестиугольник	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$-4 \cdot 10^{-8}$
25.	Шестиугольник	10^{-8}	$3 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-8}$	10^{-8}	$3 \cdot 10^{-8}$?
26.	Квадрат	$-5 \cdot 10^{-9}$	10^{-9}	$5 \cdot 10^{-9}$	10^{-9}	-	-

Таблица 2

**Значения напряженностей, зарядов и стороны фигуры
к задаче по теме № 1**

Вариант	Q_0 , Кл	E_0 , В/м	Q_{ik} , Кл	E_{ik} , В/м	a , м
1.	-	?	-	-	$3 \cdot 10^{-2}$
2.	?	-	-	$E_{12} = 0$	$2 \cdot 10^{-2}$
3.	-	-	-	$E_{12} - ?$	$5 \cdot 10^{-2}$
4.	-	-	-	$E_{12} - ?$	$5 \cdot 10^{-2}$
5.	-	?	$Q_{23} = 10^{-9}$	-	10^{-2}
6.	-	-	-	$E_{23} - ?$	$3 \cdot 10^{-2}$
7.	-	-	-	$E_{23} - ?$	$2 \cdot 10^{-2}$
8.	-	-	$Q_{13} = 10^{-8}$	$E_{23} - ?$	$2 \cdot 10^{-2}$
9.	-	-	$Q_{12} = Q_{13} = 10^{-8}$	$E_{23} - ?$	10^{-2}
10.	-	-	-	$E_{23} = 1,8 \cdot 10^6$	10^{-2}
11.	-	?	-	-	$2 \cdot 10^{-2}$
12.	-	?	-	-	$5 \cdot 10^{-2}$
13.	-	-	-	$E_{23} - ?$	$4 \cdot 10^{-2}$
14.	?	-	-	$E_{12} = 0$	$3 \cdot 10^{-2}$
15.	-	?	-	-	$5 \cdot 10^{-2}$

Вариант	Q0, Кл	E0, В/м	Qik, Кл	Eik, В/м	a, м
16.	-	?	-	-	$4 \cdot 10^{-2}$
17.	-	?	-	-	$3 \cdot 10^{-2}$
18.	-	?	-	-	$5 \cdot 10^{-2}$
19.	-	?	$Q_{12} = Q_{23} = 10^{-8}$	-	$4 \cdot 10^{-2}$
20.	-	$3,89 \cdot 10^5$	$Q_{12} = Q_{23} - ?$	-	$4 \cdot 10^{-2}$
21.	-	?	-	-	$5 \cdot 10^{-2}$
22.	-	?	-	-	$2 \cdot 10^{-2}$
23.	-	?	-	-	$5 \cdot 10^{-2}$
24.	-	0	$Q_{16} = Q_{56} - ?$	-	$4 \cdot 10^{-2}$
25.	-	0	-	-	$5 \cdot 10^{-2}$
26.	-	0	$Q_{23} = Q_{34} - ?$	-	10^{-2}

Пример решения 26-го варианта

В вершинах квадрата со стороной $a = 10^{-2}$ м расположены заряды $q_1 = -5 \cdot 10^{-9}$ Кл, $q_2 = q_4 = 10^{-9}$ Кл, $q_3 = 5 \cdot 10^{-9}$ Кл и неизвестные заряды Q_{23} , Q_{34} , равные между собой (рис. 2). Поле в центре квадрата равно нулю. Найти Q_{23} , Q_{34} .

Дано:

$$\begin{aligned} q_1 &= -5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \\ q_2 &= q_4 = 10^{-9} \text{ Кл} \\ q_3 &= 5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \\ a &= 10^{-2} \text{ м} \end{aligned}$$

$$Q_{23}, Q_{34} - ?$$

Решение:

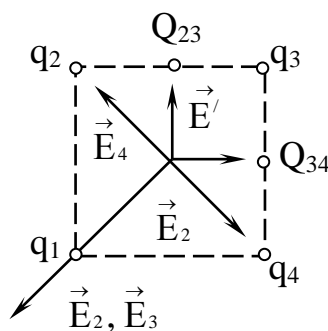


Рис. 2

Модуль вектора напряженности точечного заряда q вычисляется по формуле

$$E = k \cdot |q|/r^2,$$

где $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$.

Электростатические поля подчиняются принципу суперпозиции, согласно которому результирующий вектор напряженности поля, созданного несколькими

зарядами, равен векторной сумме напряженностей отдельных зарядов.

Теперь покажем направления векторов напряженностей, создаваемых зарядами q_2 и q_4 . Так как эти заряды равны, то и $|\vec{E}_2| = |\vec{E}_4|$, т. е. равнодействующая их равна 0.

Вектор напряженности, создаваемой зарядом q_3 , направлен от заряда q_3 в сторону заряда q_1 . Поскольку $q_3 = q_1$, то эти векторы \vec{E}_3 , \vec{E}_1 равны. Таким образом, напряженность, создаваемая зарядами q_1 , ..., q_4 фактически равна $2E_1$ и вектор направлен к заряду q_1 . Так как результиру-

ющая напряженность в центре квадрата по условию равна нулю, то это означает, что заряды Q_{23} и Q_{34} должны быть отрицательны. Их результирующая напряженность E_Q должна быть равна $2E_1$ и вектор \vec{E}_Q должен быть направлен противоположно вектору $2\vec{E}_1$

$$\vec{E}_Q = -2\vec{E}_1.$$

Так как $Q_{23} = Q_{34}$, то их напряженности по модулю равны между собой. Как легко видеть $E_Q = \sqrt{2}E'$, где E' есть напряженность, создаваемая зарядом Q_{23} . Итак, $E_1 = k|q_1|/(a^2/2)$, $E' = k|Q_{23}|/(a^2/4)$, и далее

$$4k|q_1|/a^2 = \sqrt{2}4k|Q_{23}|/a^2.$$

Отсюда выражаем $|Q_{23}|$

$$|Q_{23}| = \frac{1}{\sqrt{2}}|q_1|, \quad Q_{23} = \frac{1}{\sqrt{2}}q_1, \quad Q_{34} = \frac{1}{\sqrt{2}}q_1.$$

Подставляя численные данные, получаем ответ.

$$\text{Ответ: } Q_{23} = Q_{34} = -3,5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.}$$

Проверка размерности очевидна.

ЗАДАЧА 2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯДОВ И ЗАРЯЖЕННЫХ ТЕЛ

Заряд Q находится на расстоянии b от одного из заряженных тел. При перемещении заряда Q из точки B в точку C совершается работа, т. к. разность потенциалов этих точек отлична от нуля. Точки B и C лежат в одной плоскости с бесконечно длинной нитью (с обеими нитями) и также в одной плоскости с центрами заряженных шаров или обоими точечными зарядами.

Во всех вариантах необходимо найти работу перемещения заряда Q между точками B и C . Исходные данные к этой задаче даны в табл. 3, 4.

Таблица 3

Исходные данные к задаче по теме № 2

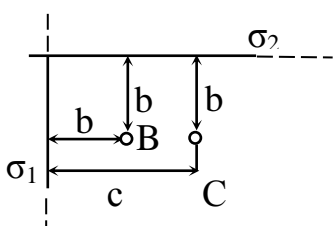
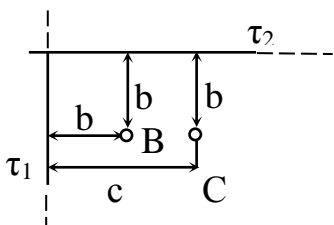
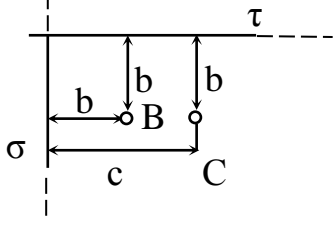
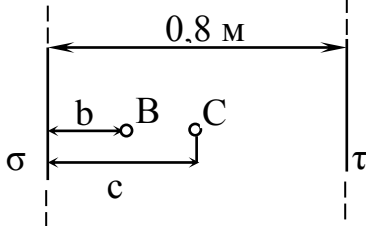
Вариант	Q, Кл	b, м	c, м	Вариант	Q, Кл	b, м	c, м
1.	$5 \cdot 10^{-9}$	0,05	0,1	14.	$8 \cdot 10^{-9}$	0,2	$\sqrt{2}b$
2.	$3 \cdot 10^{-9}$	0,1	0,2	15.	$5 \cdot 10^{-9}$	0,1	$\sqrt{5}b$
3.	$8 \cdot 10^{-9}$	0,1	0,3	16.	$6 \cdot 10^{-8}$	0,1	$\sqrt{5}b$
4.	$5 \cdot 10^{-9}$	0,05	0,1	17.	10^{-7}	0,05	$2b$
5.	10^{-9}	0,5	0,6	18.	$8 \cdot 10^{-7}$	0,1	$2b$

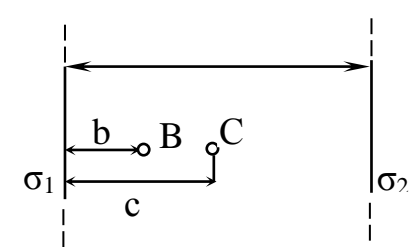
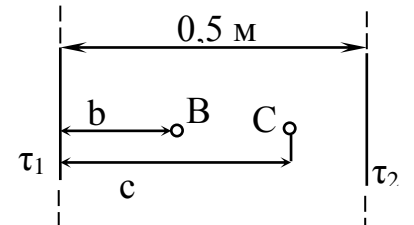
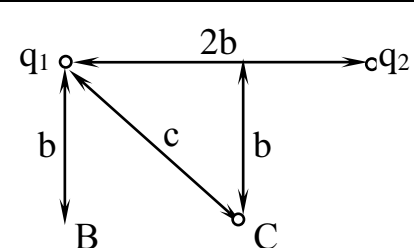
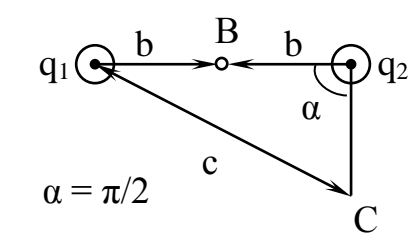
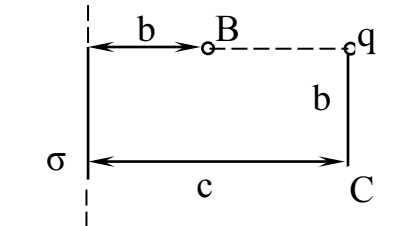
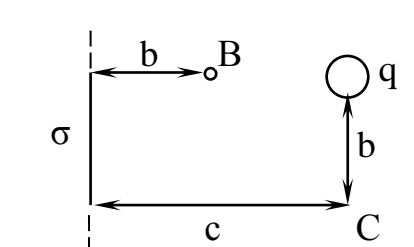
Продолжение табл. 3

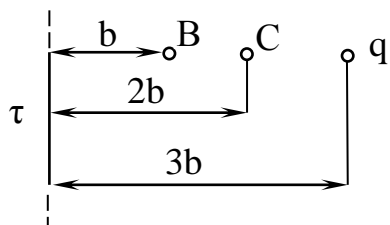
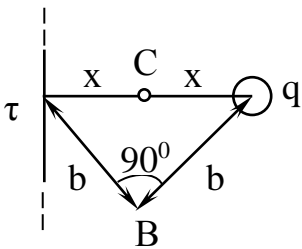
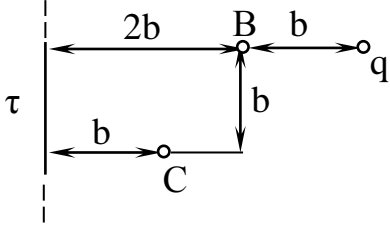
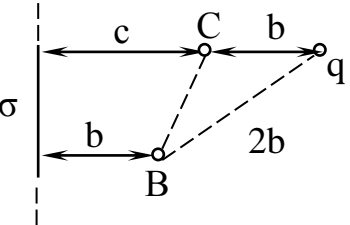
Вариант	Q, Кл	b, м	c, м	Вариант	Q, Кл	b, м	c, м
6.	$6 \cdot 10^{-9}$	0,1	0,2	19.	10^{-8}	0,1	2b
7.	10^{-8}	0,1	0,5	20.	$9 \cdot 10^{-8}$	0,05	2b
8.	10^{-8}	0,1	0,4	21.	10^{-8}	0,1	2b
9.	10^{-7}	0,3	0,6	22.	$5 \cdot 10^{-9}$	0,5	2b
10.	10^{-8}	0,3	0,8	23.	10^{-8}	0,1	-
11.	10^{-7}	0,1	0,4	24.	$6 \cdot 10^{-8}$	0,5	-
12.	$7 \cdot 10^{-7}$	0,1	0,2	25.	10^{-8}	0,1	-
13.	10^{-9}	0,1	$\sqrt{2} b$	26.	10^{-6}	0,1	$\sqrt{3} b$

Таблица 4

Схема расположения тел и их параметры к задаче по теме № 2

Вариант	Заряженные тела	Заряд или плотность зарядов	
1.	Бесконечные, ортогональные друг другу плоскости		$\sigma_1 = \sigma_2 = 10^{-6}$ Кл/м ²
2.		$\sigma_1 = 2\sigma_2 = 10^{-6}$ Кл/м ²	
3.	Бесконечные, ортогональные друг другу нити		$\tau_1 = \tau_2 = 3 \cdot 10^{-8}$ Кл/м
4.		$\tau_1 = 2\tau_2 = 3 \cdot 10^{-8}$ Кл/м	
5.	Нить, ортогональная плоскости		$\sigma = 10^{-5}$ Кл/м ² $\tau = 10^{-7}$ Кл/м
6.		$\sigma = 2 \cdot 10^{-5}$ Кл/м ² $\tau = 10^{-7}$ Кл/м	
7.	Нить, параллельная плоскости		$\sigma = 10^{-5}$ Кл/м ² $\tau = 5 \cdot 10^{-7}$ Кл/м
8.		$\sigma = 2 \cdot 10^{-5}$ Кл/м ² $\tau = 4 \cdot 10^{-6}$ Кл/м	

Вариант	Заряженные тела	Заряд или плотность зарядов
9.	Параллельные друг другу плоскости	
10.		$\sigma_1 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}^2$ $\sigma_2 = 2 \sigma_1$ $\sigma_1 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}^2$ $\sigma_2 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}^2$
11.	Параллельные друг другу нити	
12.		$\tau_1 = 3 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}$ $\tau_2 = 2 \tau_1$ $\tau_1 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}$ $\tau_2 = 3 \tau_1$
13.	Два точечных заряда	
14.		$q_1 = 10^{-8} \text{ Кл}$ $q_2 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ $q_1 = 10^{-8} \text{ Кл}$ $q_2 = q_1$
15.	Два заряженных шара	
16.		$q_1 = 10^{-7} \text{ Кл}$ $q_2 = q_1$ $q_1 = 10^{-8} \text{ Кл}$ $q_2 = 2 q_1$
17.	Плоскость и точечный заряд	
18.		$\sigma = 10^{-5} \text{ Кл/м}^2$ $q = 10^{-8} \text{ Кл}$ $\sigma = 10^{-5} \text{ Кл/м}^2$ $q = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$
19.	Плоскость и заряженный шар	
20.		$\sigma = 10^{-5} \text{ Кл/м}^2$ $q = 10^{-7} \text{ Кл}$ $\sigma = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}^2$ $q = 10^{-6} \text{ Кл}$

Вариант	Заряженные тела		Заряд или плотность зарядов
21.	Нить и точечный заряд		$\tau = 5 \cdot 10^{-8}$ Кл/м $q = 10^{-9}$ Кл
22.			$\tau = 10^{-8}$ Кл/м $q = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл
23.	Нить и заряженный шар		$\tau = 10^{-8}$ Кл/м $q = 5 \cdot 10^{-9}$ Кл
24.			$\tau = 5 \cdot 10^{-8}$ Кл/м $q = 5 \cdot 10^{-8}$ Кл
25.	Нить и точечный заряд		$\tau = 10^{-8}$ Кл/м $q = 5 \cdot 10^{-8}$ Кл
26.	Плоскость и точечный заряд		$\sigma = 10^{-6}$ Кл/м ² $q = 10^{-7}$ Кл

Пример решения 26-го варианта

В поле, созданном бесконечной равномерно заряженной плоскостью с плотностью заряда $\sigma = 10^{-6}$ Кл/м² и точечным зарядом $q = 10^{-7}$ Кл, на расстоянии $b = 0,1$ м от плоскости в точке В находится точечный заряд $Q = 10^{-6}$ Кл. Расстояние между зарядами $2b$. Найти работу перемещения заряда Q в точку С, лежащую на расстоянии $\sqrt{3}b$ от плоскости и на расстоянии b от заряда q на перпендикуляре, восстановленном из этого заряда к плоскости.

Дано:
 $\sigma = 10^{-6}$ Кл/м²
 $q = 10^{-7}$ Кл
 $Q = 10^{-6}$ Кл
 $b = 0,1$ м
 $c = \sqrt{3}b$

A - ?

Решение:

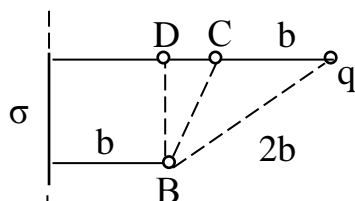


Рис. 3

Работу перемещения найдем из формулы $A = q(\varphi_B - \varphi_C)$. Разность потенциалов ($\varphi_B - \varphi_C$) равна алгебраической сумме разностей потенциалов плоскости $\Delta\varphi_\sigma$ и заряда q $\Delta\varphi_q$. $\Delta\varphi_\sigma$, созданную плоскостью, найдем по формуле

$$\Delta\varphi_\sigma = \int_B^C \vec{E} d\vec{r}, \text{ где}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}, \quad \int_B^C \vec{E} d\vec{r} = \int_B^D \vec{E} d\vec{r} + \int_D^C \vec{E} d\vec{r}. \quad \int_B^D \vec{E} d\vec{r} = 0 \text{ (потенциалы поля, созданного}$$

плоскостью в точках D и B, равны). Теперь $\int_B^C \vec{E} d\vec{r} = (\sigma/2\varepsilon_0)\Delta r$, где

$$\Delta r = DC. \quad DC = c - b = b(\sqrt{3} - 1).$$

$$\Delta\varphi_\sigma = 10^{-6} / (2 \cdot 8,82 \cdot 10^{-12}) \cdot 0,073 = 4,14 \cdot 10^3 \text{ В.}$$

Потенциал точечного заряда вычисляется по формуле $\varphi = q/(4\pi\varepsilon_0 r)$.

Тогда $\varphi_B = q/(4\pi\varepsilon_0 \cdot 2b)$, $\varphi_C = q/(4\pi\varepsilon_0 \cdot b)$ и

$$\Delta\varphi_q = q/(4\pi\varepsilon_0) \cdot (1/2b - 1/b) = -q/(4\pi\varepsilon_0 2b);$$

$$\Delta\varphi_q = -9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-7} / (2 \cdot 0,1) = -4,5 \cdot 10^3 \text{ В.}$$

Окончательно работа есть $A = 10^{-6} \cdot (4,14 \cdot 10^3 - 4,5 \cdot 10^3) = -0,36 \cdot 10^3$ Дж.

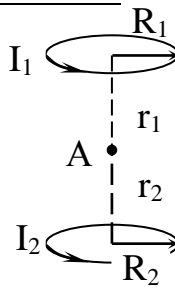
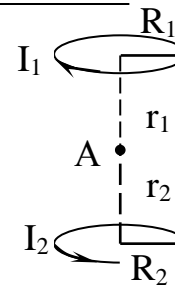
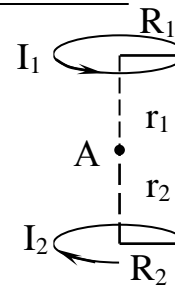
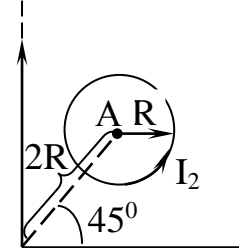
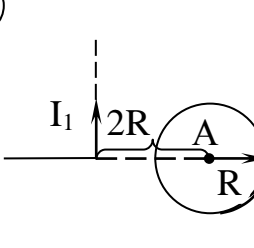
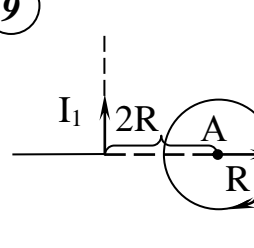
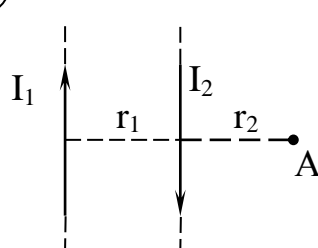
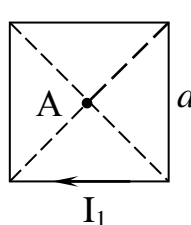
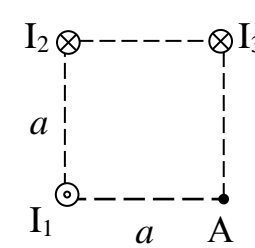
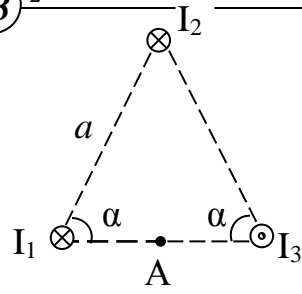
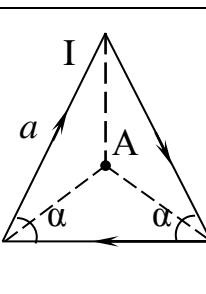
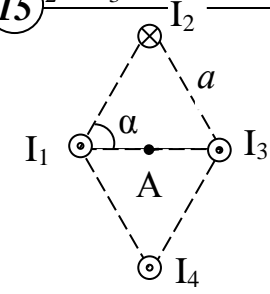
Ответ: $A = -0,36 \cdot 10^3$ Дж.

Проверим размерность: $[A] = [\text{Кл}] \cdot [\text{В}] = [\text{Дж}]$.

ЗАДАЧА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТОКОВ

Найти магнитную индукцию в точке A. Номера вариантов проставлены в левом верхнем углу приведенных ниже рисунков.

<p>1</p>	<p>2</p>	<p>3</p>
$I_1 = I_2 = 1 \text{ A}$	$I_1 = I_2 = 0,5 \text{ A}$	$I_1 = I_2 = 1 \text{ A}$

<p>$r_1 = r_2 = 2 \text{ cm}$</p> <p>4</p> 	<p>$r_1 = r_2 = 2 \text{ cm}$</p> <p>5</p> 	<p>$r_1 = r_2 = 5 \text{ cm}$</p> <p>6</p> 
<p>$r_1 = r_2 = 2 \text{ cm}$ $R_1 = R_2 = 2 \text{ cm}$ $I_1 = I_2 = 1 \text{ A}$</p> <p>7</p> 	<p>$r_1 = r_2 = 2 \text{ cm}$ $R_1 = R_2 = 3 \text{ cm}$ $I_1 = I_2 = 1 \text{ A}$</p> <p>8</p> 	<p>$r_1 = r_2 = 1 \text{ cm}$ $R_1 = R_2 = 2 \text{ cm}$ $I_1 = I_2 = 1 \text{ A}$</p> <p>9</p> 
<p>$R = 10 \text{ cm}$ $I_1 = I_2 = 0,5 \text{ A}$</p> <p>10</p> 	<p>$R = 1 \text{ cm}$ $I_1 = I_2 = 1 \text{ A}$</p> <p>11</p> 	<p>$R = 1 \text{ cm}$ $I_1 = I_2 = 1 \text{ A}$</p> <p>12</p> 
<p>$r_1 = r_2 = 2 \text{ cm}$ $I_1 = I_2 = 1 \text{ A}$</p> <p>13</p> 	<p>$l = 4a = 20 \text{ cm}$ $I_1 = 0,5 \text{ A}$</p> <p>14</p> 	<p>$a = 5 \text{ cm}$ $I_1 = I_2 = I_3 = 1 \text{ A}$</p> <p>15</p> 
<p>$a = 2 \text{ cm}$ $\alpha = 60^\circ$</p>	<p>$a = 2 \text{ cm}$ $\alpha = 60^\circ$</p>	<p>$a = 2 \text{ cm}$ $\alpha = 60^\circ$</p>

<p>16 $I_2 = I_3 = 1 \text{ A}$</p>	<p>17 $I_1 = 1 \text{ A}$</p>	<p>18 $I_2 = I_3 = I_4 = 1 \text{ A}$</p>
<p>$R = 2 \text{ cm}, r_1 = r_2 = 5 \text{ cm}$ $I_2 = I_3 = 1 \text{ A}$</p>	<p>$r_1 = r_2 = r_3/2 = 2 \text{ cm}$ $I_2 = I_3 = 0,5 \text{ A}$</p>	<p>$a = 3 \text{ cm}$ $I_2 = I_3 = I_4 = 1 \text{ A}$</p>
<p>19</p>	<p>20</p>	<p>21</p>
<p>$\alpha = 45^\circ, r_1 = r_2 = 5 \text{ cm}$ $I_2 = I_3 = 1 \text{ A}$</p>	<p>$r_1 = 5 \text{ cm}, r_2 = 4 \text{ cm}$ $I_2 = 0,5 \text{ A}$</p>	<p>$a = 5 \text{ cm}$ $I_2 = I_3 = 1 \text{ A}$</p>
<p>22</p>	<p>23</p>	<p>24</p>
<p>$a = 5 \text{ cm}, \alpha = 45^\circ$ $I_2 = I_3 = 1 \text{ A}$</p>	<p>$a = 5 \text{ cm}, \alpha = 45^\circ$ $I_2 = I_3 = I_4 = 1 \text{ A}$</p>	<p>$a = 2 \text{ cm}, \alpha = 45^\circ$ $I_1 = I_3 = 2I_2 = 0,2 \text{ A}$</p>
<p>25</p>	<p>26</p>	
<p>$a = 5 \text{ cm}, I_1 = I_4 = 0,5 \text{ A}$ $I_2 = I_3 = 1 \text{ A}$</p>	<p>$a = 3 \text{ cm}, I_2 = 4 \text{ A}$ $I_1 = I_3 = 1 \text{ A}$</p>	

Пример решения задачи 26-го варианта

Дано:
 $I_1 = I_3 = 1 \text{ A}$
 $I_2 = 4 \text{ A}$
 $a = 3 \text{ см}$

 $B = ?$

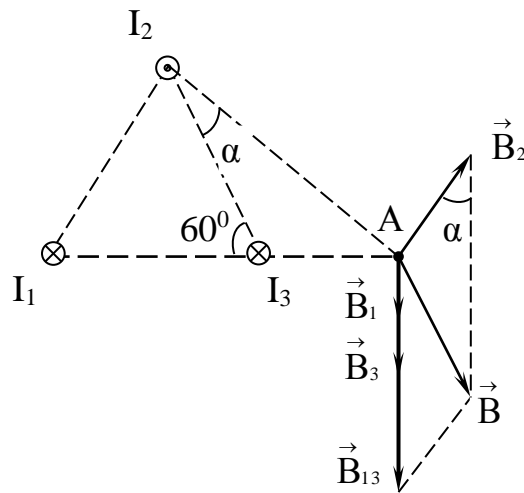


Рис. 4

Решение:
 Покажем направления векторов индукции магнитных полей. Магнитные поля B_1 и B_3 , направленные одинаково, найти просто по формуле для бесконечно длинного прямолинейного проводника:

$$B_1 = \frac{(\mu_0 I_1)}{(2\pi \cdot 2a)},$$

$$B_3 = \frac{(\mu_0 I_3)}{(2\pi a)}.$$

Магнитные поля подчиняются принципу суперпозиции. Поэтому равнодействующая полей B_1, B_2

$$B_{13} = \frac{(\mu_0 I_1)}{(2\pi a)} \cdot \frac{3}{2}.$$

Для нахождения B_2 надо знать расстояние до точки А от тока I_2 . Его, например, найдем по теореме косинусов $r = (a^2 + a^2 - 2a^2 \cos 120^\circ)^{1/2} = a\sqrt{3}$.

Теперь $B_2 = \frac{(\mu_0 I_2)}{(2\pi a \cdot \sqrt{3})}$. Построив равнодействующую из векторов B_2 и B_{13} ,

найдем ее длину. Вновь по теореме косинусов

$$B = (B_{13}^2 + B_2^2 - 2B_{13}B_2 \cos \alpha)^{1/2},$$

где $\alpha = 30^\circ$, как нетрудно найти.

С учетом того, что $I_2 = 4I_1$, получаем

$$B^2 = \frac{9}{4} \cdot \left(\frac{\mu_0 I_1}{2\pi a}\right)^2 + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{\mu_0 4I_1}{2\pi a}\right)^2 - 2 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\mu_0 4I_1}{2\pi a} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{73}{12} \cdot \left(\frac{\mu_0 I_1}{2\pi a}\right)^2;$$

$$B = \sqrt{\frac{73}{12}} \cdot \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a};$$

$$B = \sqrt{\frac{73}{12}} \cdot \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1}{2\pi \cdot 3 \cdot 10^{-2}} = 1,64 \cdot 10^{-5} \text{ Тл.}$$

Ответ: $B = 16,4 \text{ мкТл.}$

Проверка размерности достаточно очевидна.

ЗАДАЧА 4. СИЛА ЛОРЕНЦА, СИЛА АМПЕРА, ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ФАРАДЕЯ

Примечание: в вариантах, в которых рассматривается α -частица, считать ее массу равной четырем массам протона. Заряд α -частицы равен по модулю двум зарядам электрона.

1. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 100$ мкТл по винтовой линии движется электрон. Определить его скорость вращения, если шаг h винтовой линии равен 20 см, а радиус вращения $R = 5$ см.
 Ответ: $1,04 \cdot 10^6$ м/с.
2. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 20$ мкТл по винтовой линии движется электрон. Электрон влетел в поле под углом 30° к силовым линиям, имея импульс $p = 10^{-24}$ кг·м/с. Найти радиус вращения электрона.
 Ответ: 0,16 м.
3. Электрон влетает в однородное магнитное поле под углом 45° к силовым линиям, имея энергию $W = 5,5 \cdot 10^{-19}$ Дж. Магнитная индукция $B = 10$ мкТл. Найти радиус вращения электрона.
 Ответ: 0,44 м.
4. Электрон влетает под некоторым углом в однородное магнитное поле с индукцией $B = 30$ мкТл, имея импульс $p = 10^{-25}$ кг·м/с. Радиус вращения $R = 1,04$ см. Определить угол, под которым электрон влетел в поле.
 Ответ: $\alpha = 30^\circ$.
5. α -частица и протон вращаются по окружности с одинаковой скоростью в одном и том же однородном магнитном поле. Во сколько раз различаются их радиусы вращения?
 Ответ: в 2 раза.
6. α -частица и протон вращаются по окружности с одинаковой скоростью в одном и том же однородном магнитном поле. Во сколько раз различаются их периоды вращения?
 Ответ: в 2 раза.
7. Протон влетает перпендикулярно однородному магнитному полю. Во сколько раз и как изменится его радиус вращения, если поле увеличить в 2 раза, а протон влетит ортогонально этому полю с учетверенной энергией?
 Ответ: не изменится.
8. Протон влетает перпендикулярно однородному магнитному полю. Во сколько раз и как изменится его радиус вращения, если поле увеличить в 2 раза, а протон влетит ортогонально этому полю с учетверенной энергией? Как изменится его период вращения?
 Ответ: не изменится.
9. Протон прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 5 \cdot 10^4$ В и влетел ортогонально силовым линиям в однородное магнитное поле. Магнитная индукция $B = 0,1$ Тл. Найти радиус вращения протона.
 Ответ: 0,14 м.

10. Протон прошел ускоряющую разность потенциалов и влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,1$ Тл под углом 60° к силовым линиям. Шаг винтовой линии $h = 0,454$ м. Найти ускоряющую разность потенциалов. Ответ: 10^4 В.
11. Электрон прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 10^4$ В и влетел в однородное магнитное поле под углом 30° к силовым линиям. Радиус вращения 1 см. Найти магнитную индукцию. Ответ: 16,9 мТл.
12. α -частица прошла ускоряющую разность потенциалов $U = 10^4$ В и влетела в однородное магнитное поле под углом 60° к силовым линиям. Магнитная индукция 1 Тл. Найти шаг винтовой линии. Ответ: 6,42 см.
13. Под влиянием однородного магнитного поля направленного вертикально, параллельно поверхности земли с ускорением $a = 0,2$ м/с² движется алюминиевый проводник сечением $S = 1$ мм². Проводник движется по направляющим без трения. По проводнику течет ток $I = 5$ А и его направление перпендикулярно полю. Найти индукцию поля В. Ответ: 0,108 мТл.
14. Медный прямолинейный проводник с током I сечением $S = 0,5$ мм² движется параллельно поверхности земли в однородном магнитном поле с индукцией $B = 2$ мТл перпендикулярно силовым линиям с ускорением $a = 0,5$ м/с². Найти ток, текущий в проводнике, если сам проводник перпендикулярен полю и движется по направляющим без трения. Индукционный ток не учитывать. Ответ: 1,12 А.
15. Прямой проводник длиной $l = 10$ см, по которому течет ток силой $I = 5$ А, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,01$ Тл. На провод действует сила Ампера $F = 2,5$ мН. Найти угол между направлениями вектора \vec{B} и тока. Ответ: 30° .
16. Прямой алюминиевый провод некоторой длины, по которому протекает ток I , расположен в горизонтальном однородном магнитном поле перпендикулярно его силовым линиям. Провод находится во взвешенном состоянии. Индукция поля $B = 0,1$ Тл, сечение провода $S = 2$ мм². Найти ток в проводе. Ответ: 0,53 А.
17. Прямой медный провод, по которому течет ток $I = 5$ А, расположен в горизонтальном однородном магнитном поле перпендикулярно его силовым линиям. Провод находится во взвешенном состоянии. Сечение провода $S = 3$ мм². Найти индукцию поля. Ответ: 53 мТл.
18. Прямой никелевый провод, по которому течет ток $I = 2$ А, расположен в горизонтальном однородном магнитном поле перпендикулярно его силовым линиям. Провод находится во взвешенном состоянии. Индукция поля $B = 1$ Тл. Найти площадь поперечного сечения провода. Ответ: 23 мм².

19. Прямой провод некоторой длины, по которому течет ток $I = 1$ А, расположен в горизонтальном однородном магнитном поле перпендикулярно его силовым линиям. Провод находится во взвешенном состоянии. Индукция поля $B = 0,1$ Тл, сечение провода $S = 3,78$ мм². Из какого металла сделан провод? Ответ: алюминий.
20. Параллельно поверхности земли расположен бесконечно длинный проводник, по которому течет некоторый ток I_1 . Над этим проводником на расстоянии $r = 1$ см от него расположен отрезок алюминиевого проводника сечением $S = 1$ мм², находящийся в равновесии. Проводники параллельны друг другу. Найти ток I_1 . Ответ: 66 А.
21. Проводник длиной $l = 20$ см и сопротивлением $R = 2$ Ом согнут в виде квадрата, и концы его замкнуты. Квадрат помещен в однородное магнитное поле с индукцией 1 Тл так, что плоскость его перпендикулярна линиям индукции. Какой ток протечет по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные вершины, за время $t = 1$ с вытянуть в линию? Ответ: 1,25 мА.
22. Проводящее кольцо сопротивлением $R = 4$ Ом расположено в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл перпендикулярно силовым линиям. Взявшись за диаметрально противоположные точки кольца, его за 1 с вытянули в линию. При этом по кольцу протек ток $I = 0,314$ мА. Найти радиус кольца. Ответ: 2 см.
23. Имеется проводящее кольцо сопротивлением $R = 5$ Ом с площадью $S = 10$ см². В некоторый момент в пространстве возникает магнитное поле, которое изменяется со временем по закону $B = At$, где $A = 50$ Тл/с. При этом линии индукции перпендикулярны плоскости кольца. Какой ток будет протекать по кольцу? Ответ: 10 мА.
24. Имеется проводящее кольцо сопротивлением $R = 4$ Ом. В некоторый момент в пространстве возникает магнитное поле, которое начинает изменяться со временем по закону $B = At$, где $A = 40$ Тл/с. Линии индукции перпендикулярны плоскости кольца. При этом в кольце течет ток $I = 50$ мА. Определить площадь кольца. Ответ: $5 \cdot 10^{-3}$ м².
25. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,5$ Тл равномерно с частотой $\nu = 10$ с⁻¹ вращается рамка площадью $S = 5 \cdot 10^{-3}$ м². Ось вращения перпендикулярна силовым линиям. Найти максимальную ЭДС, возникающую в рамке. Ответ: 15,7 мВ.
26. В пространстве параллельно поверхности земли расположен бесконечно длинный прямолинейный проводник, по которому течет ток $I_1 = 10$ А. Над этим проводником на расстоянии $r = 1$ см от него расположен отрезок никелевого проводника сечением $S = 0,1$ мм², находящийся в равновесии. Проводники параллельны друг другу. Найти ток I_2 в никелевом проводнике. Ответ: 43,1 А.

Дано:

$$I_1 = 10 \text{ А}$$

$$r = 1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м}$$

$$S = 0,1 \text{ мм}^2 = 10^{-7} \text{ м}^2$$

$$\rho = 8,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$I_2 = ?$$

Пример решения задачи 26-го варианта

Решение:

Сделаем рисунок. Так как никелевый проводник

находится в равновесии, это означает, что сила тяжести $P =$

mg уравновешена силой Ампера F , то есть $I_2 l B = mg$.

По закону Био-Савара-Лапласа найдем индукцию B , со-

здаваемую током I_1 : $B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$, а массу m отрезка длиной l

распишем так: $m = \rho S l$. Теперь $I_2 l \cdot \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1}{r} = \rho S l g$ или

$I_2 = \rho S g \cdot \frac{2\pi r}{\mu_0 I_1}$. Вычислим значение I_2 (плотность ρ берем из таблицы [1]):

$$I_2 = \frac{(8,8 \cdot 10^3 \cdot 10^{-7} \cdot 9,8 \cdot 2\pi \cdot 10^{-2})}{(2 \cdot 2\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10)} = 43,1 \text{ А}.$$

Ответ: $I_2 = 43,1 \text{ А}$.

Проверка размерности:

$$[I_2] = \frac{(\text{кг/м}^3 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{м/с}^2 \cdot \text{м})}{(\text{Гн/м} \cdot \text{А})} = \frac{(\text{кг} \cdot \text{м}^2)}{(\text{с}^2 \cdot \text{Гн} \cdot \text{А})} = \frac{(\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{А} \cdot \text{с}^2)}{(\text{с}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{м})} = \text{А}.$$

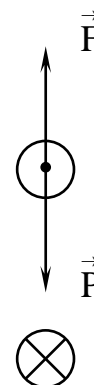


Рис. 5

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чертов А. Г. Задачник по физике / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. – М.: Высш. шк., 1988. – 527 с.
2. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики / В. С. Волькенштейн. – СПб.: Книжный мир, 2003. – 327 с.
3. Детлаф А. А. Курс физики: уч. пособ. для втузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М.: Высш. шк., 2002. – 718 с.
4. Трофимова Т. И. Курс физики: уч. пособ. для вузов / Т. И. Трофимова. – М.: Высш. шк., 2000. – 542 с.

