

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Кафедра физики

ФИЗИКА

**ЧАСТЬ 3
ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК**

Индивидуальные задания для расчетных работ

*Учебно-методическое пособие
для студентов всех факультетов*

**Санкт-Петербург
2019**

УДК 537(075)
ББК 22.3я7
Ф 503

ФИЗИКА. Часть 3. Электростатика. Постоянный ток.
Индивидуальные задания для расчетных работ: учебно-методическое пособие для студентов всех факультетов / сост.: А.Л. Ашкалунин, Е.А. Яшкевич, Т.С. Гусарова. - СПб., ВШТЭ СПбГУПТД, 2019.- 44 с.

Пособие содержит индивидуальные задания по разделам «Электростатика» и «Постоянный ток». Предназначено для студентов всех направлений очной и безотрывной форм обучения.

Рецензент: доцент кафедры физики ВШТЭ СПбГУПТД,
канд. физ.-мат. наук М.Н. Полянский

Подготовлено и рекомендовано к печати кафедрой физики ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 2 от 25.09.2019 г.).

Утверждено к изданию методической комиссией института энергетики и автоматизации ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 1 от 04.10.2019 г.).

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом СПбГУПТД в качестве учебно-методического пособия.

© Высшая школа технологии
и энергетики СПбГУПТД, 2019

© А.Л. Ашкалунин, Е.А. Яшкевич,
Т.С. Гусарова, 2019

Редактор и корректор В.А. Басова

Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2019 г., поз.114

Подп. к печати 25.09.2019. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.

Печать офсетная. Объем 2,5 печ. л.; 2,5 уч.-изд. л.

Изд. № 114. Тираж 300 экз. Цена «С». Заказ

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД,
198095, СПб., ул. И.Черных, 4.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Пособие содержит индивидуальные задания по шести темам, которые кратко изложены авторами-составителями, то есть пособие имеет теоретическую часть. Каждый студент выполняет, как правило, по одной задаче из каждой темы. Каждая тема (кроме тем 1 и 6) содержит 10 задач. Каждая задача имеет 10 вариантов условия. Студенту дается двухзначный номер, *вторая цифра которого дает номер задачи из каждой темы, а первая – номер варианта условия задачи.* Перед решением задачи следует переписать условие задачи в том варианте, который следует решить. Темы 1 и 6 содержат по 100 вариантов одного задания. Порядок выбора условия задания указан в тексте этих заданий.

Наименования единиц измерения в условиях задач указываются только в том случае, если они не совпадают с единицами системы СИ. Стандартные приставки к наименованиям единиц: п – 10^{-12} , н – 10^{-9} , мк – 10^{-6} , м – 10^{-3} , к – 10^3 , М – 10^6 .

Задания выполняются в *отдельной тетради объемом 12 листов.* При сдаче заданий студент должен уметь объяснить решение любой задачи, знать определения и свойства используемых физических величин и формулировки используемых законов.

ТЕМЫ 1, 2, 3. НАПРЯЖЕННОСТЬ И ПОТЕНЦИАЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Каждый электрический заряд создает вокруг себя электростатическое поле. Силовой характеристикой поля является векторная величина, называемая напряженностью. **Напряженность электрического поля** – это векторная физическая величина, численно равная отношению силы, действующей со стороны поля на неподвижный точечный пробный заряд $q_{пр}$, помещенный в данную точку поля, к этому заряду:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{пр}}.$$

Напряженность электростатического поля точечного заряда q можно найти из **закона Кулона**:

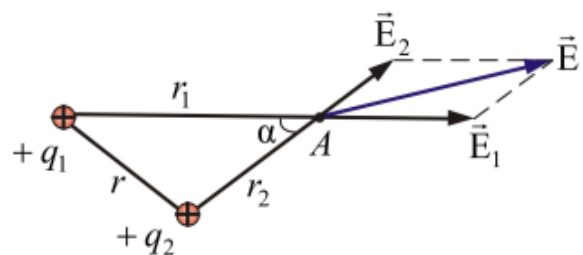
$$E = \frac{F}{q_{пр}} = \frac{qq_{пр}}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2 q_{пр}} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} = k \frac{q}{\epsilon r^2},$$

где r - расстояние от заряда до точки поля; ϵ - диэлектрическая проницаемость среды; показывающая, во сколько раз среда уменьшает поле; $\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ Кл²/(Н·м²) - электрическая постоянная. При вычислениях удобно использовать

$$k = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2.$$

Направление вектора напряженности электрического поля в каждой точке пространства совпадает с направлением силы, действующей на положительный пробный заряд.

Принцип суперпозиции полей: напряженность электрического поля, создаваемого системой зарядов в данной точке пространства, равна векторной сумме напряженностей электрических полей, создаваемых в той же



точке зарядами в отдельности: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N$.
Рис. 1.

На рис. 1 показан пример сложения двух напряженностей. Абсолютное значение напряженности результирующего поля можно найти по теореме косинусов:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 \cos(\pi - \alpha)}.$$

Потенциал в какой-либо точке электростатического поля численно равен работе, совершаемой полем при перемещении пробного положительного единичного заряда q из этой точки поля на бесконечность ($\varphi_\infty=0$):

$$\varphi_1 = \frac{A_{1\infty}}{q}.$$

Потенциал поля точечного заряда q_0 в точке на расстоянии r

от него численно равен $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$.

Поскольку электростатическое поле является потенциальным, работа по перемещению заряда в таком поле может быть представлена как разность потенциальных энергий заряда в начальной и конечной точках пути:

$$A = -\Delta W_{Пот} = W_1 - W_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Потенциал поля, создаваемого системой зарядов, определяется как алгебраическая сумма потенциалов, создаваемых в этой же точке каждым зарядом в отдельности:

$$\varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i.$$

Связь между напряженностью \vec{E} и потенциалом φ :

$$\vec{E} = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}\right) \text{ или } \vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}\varphi.$$

Напряженность поля равна градиенту потенциала, взятому со знаком «минус». Градиент потенциала показывает, как меняется потенциал на единицу длины. Градиент

перпендикулярен функции и направлен в сторону возрастания функции. Следовательно, вектор напряженности перпендикулярен эквипотенциальной поверхности и направлен в сторону убывания потенциала.

Теорема о циркуляции вектора напряженности электрического поля. Циркуляция вектора напряженности электростатического поля, взятая по произвольному замкнутому контуру всегда равна нулю:

$$\oint_L E_t dl = 0.$$

Теорема Гаусса для вектора напряженности электрического поля. Поток вектора напряженности электрического поля через произвольную замкнутую поверхность равен сумме зарядов, заключенных внутри этой поверхности, деленной на $\epsilon_0\epsilon$:

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{\sum_{i=0}^n q_i}{\epsilon\epsilon_0}.$$

Для удобства при расчете электрических полей в диэлектрике вводится вектор электрического смещения (или электрической индукции):

$$\vec{D} = \epsilon_0\vec{E} + \vec{P} = \epsilon\epsilon_0\vec{E}.$$

Теорема Гаусса для вектора электрической индукции. Поток вектора электрической индукции через произвольную замкнутую поверхность равен сумме зарядов, заключенных внутри этой поверхности:

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \sum_{i=0}^n q_i.$$

Формулы для расчета напряженности электрического поля,
создаваемого различными заряженными телами

Напряженность поля, создаваемая бесконечно протяженной однородно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда σ .	$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon}$
Напряженность поля, создаваемого бесконечно длинной нитью с линейной плотностью заряда τ на расстоянии r от нее.	$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 r}$
Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной сферой радиуса R на расстоянии r от нее.	$E = \begin{cases} k \frac{q}{\varepsilon r}, & r \geq R \\ 0, & r < R \end{cases}$
Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной сферой радиуса R на расстоянии r от нее.	$E = \begin{cases} k \frac{q}{\varepsilon r}, & r \geq R \\ k \frac{qr}{\varepsilon R^3}, & r < R \end{cases}$

ЗАДАНИЕ ПО ТЕМЕ 1

Два точечных заряда q_1 и q находятся в вакууме на расстоянии d друг от друга. Определить напряженность E и потенциал φ поля в точке, удаленной от первого заряда на расстояние r_1 и от второго заряда - на расстояние r_2 .

Рисунок выполнить в масштабе. Величины \vec{E}_1, \vec{E}_2 и \vec{E} определить аналитическим и графическим методами. На рисунке должны быть указаны масштабы для расстояний и напряженностей поля и величина E , определенная по построению. Данные берутся из табл.1 и 2. Первая цифра варианта дает номер строки данных из табл. 1, вторая цифра – номер строки из табл. 2.

Таблица 1

N_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$q_1 \cdot 10^8$	2	2	-3	4	-5	6	7	8	-9	-10
$q_2 \cdot 10^8$	5	-3	6	-8	-7	6	-5	4	-5	5

Таблица 2

N_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d	12	12	10	10	12	12	12	10	10	12
r_1	10	9	12	8	14	5	10	8	5	6
r_2	14	7	9	8	7	10	15	6	8	8

ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ 2

2.1. Два точечных заряда q_1 и q_2 находятся в вакууме на расстоянии d друг от друга. В точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, напряженность поля равна нулю. Расстояние от точки А до первого заряда равно r_1 , потенциал электрического поля в этой точке - φ_A . Сделать рисунок к решению задачи.

№	Найти	Дано			
		$q_1, \text{нКл}$	$q_2, \text{нКл}$	d	r_1
0	$\varphi_A; r_1$	-80	-20	2,5	-
1	$\varphi_A; d$	6	2,9	-	0,18
2	$\varphi_A; r_1$	0,67	-0,33	0,1	-
3	$\varphi_A; q_1$	-	1,3	3	1
4	$\varphi_A; r_1$	6	-0,7	0,08	-
5	$\varphi_A; q_2$	50	-	0,08	0,04
6	$\varphi_A; r_1$	-0,6	0,7	0,08	-
7	$\varphi_A; q_2$	-6	-	0,03	0,18
8	$\varphi_A; d$	-0,33	0,67	-	0,24
9	$\varphi_A; q_1$	-	-1,3	3	1

2.2. Металлическому полому шару радиуса R сообщен заряд. Поверхностная плотность заряда шара - σ , потенциал внутри шара - φ , напряженность на поверхности шара - E_1 , диэлектрическая проницаемость среды - ε . Шар действует на заряд q , помещенный в точку А на расстоянии от центра шара r_A с силой F_A , напряженность электрического поля в точке А, создаваемая шаром, - E_A , потенциал - φ_A .

№	Найти	Дано								
		σ нКл/м ²	R	φ	q нКл	r_A	F_A мН	E_A В/см	φ_A	ε
0	$E_I; q; \varphi$	15	0,2	-	-	-	-	-	-	2
1	$q; \sigma; E_I$	-	0,04	-	-	0,2	-	23	460	1
2	$E_A; E_I; \varphi_A$	-	0,1	300	-	0,2	-	-	-	1
3	$F_A; \varphi_A; E_I$	8.0	0,09	-	30	1	-	-	-	8
4	$R; E_A; \sigma$	-	-	120	-	0,2	-	-	60	1
5	$R; \sigma; \varphi_A$	-	-	75	-	0,5	-	0,45	-	1
6	$\sigma; \varphi; E_I$	-	0,12	-	50	1	5	100	-	1
7	$F_A; \varphi_A; E_I$	0,2	0,2	-	8	2	-	-	-	2
8	$E_A; E_I; \varphi$	16	0,1	-	-	0,1	-	-	-	2
9	$\varepsilon; E_A; \varphi$	6,5	0,15	-	30	2	25	-	-	-

2.3. Две сферы радиусами R_1 и R_2 расположены концентрично. Заряды сфер - q_1 и q_2 . Потенциалы в точках A , B и C равны $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$, напряженность электрического поля в этих точках - E_A, E_B, E_C .

Расстояние точек от центра сфер - r_A, r_B, r_C .

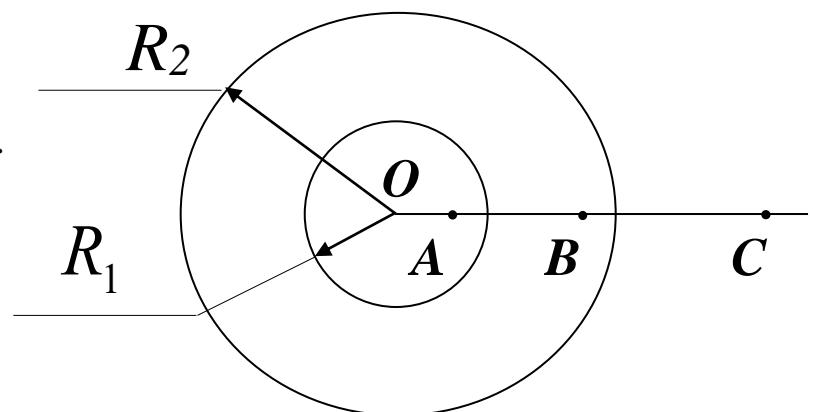


Рис. 2

№	Найти	Дано									
		q_1 нКл	q_2 нКл	R_1 см	R_2 см	r_A см	r_B см	r_C см	E_C	φ_A В	φ_B В
0	$\varphi_A; \varphi_C;$ $E_B; E_C$	90	-6	2	5	1	3	7	-	-	-
1	$q_2; \varphi_A;$ $\varphi_C; \varphi_B$	0,33	-	2	4	1	3	5	-1,2	-	-
2	$q_1; \varphi_B;$ $\varphi_C; E_B$	-	-50	10	30	5	20	40	-	12	-
3	$q_2; q_1;$ $\varphi_A; E_B$	-	-	10	30	5	20	40	-10	-	-1,5
4	$R_1; R_2$ $E_B; E_C$	90	17	-	-	1	10	20	-	19	12
5	$\varphi_A; \varphi_B;$ E_B	30	-50	10	30	2	20	-	-	-	-
6	$q_1; E_B;$ φ_C	-	-	2	8	1	5	10	24	5	-
7	$\varphi_A; \varphi_C;$ $E_B; E_C$	4,8	7	4	9	3	6	50	-	-	-
8	$q_2; R_2;$ E_B	-5	-	5	-	3	6	15	20	-8	-
9	$r_B; r_C;$ $R_1; E_B$	-2	6	-	20	1	-	-	100	-90	60

2.4. Две большие параллельные пластины площадью S находятся на расстоянии d друг от друга и заряжены зарядами q_1 и q_2 . Напряженность поля между пластинами - E , вне пластин - E_0 . Разность потенциалов между ними - U . Сила отталкивания пластин - F (отрицательный знак F - сила притяжения). Диэлектрическая проницаемость среды - ε . В таблице заряды даны в нКл, напряженности поля - в кВ/м, сила - в мкН, площадь пластин - в дм^2 , напряжение - в В и расстояние - в мм. Среда заполняет все пространство между пластинами и вне их.

№	Найти	Дано								
		S	d	q_1	q_2	E	$E_0,$	U	F	ε
0	$E_0; F$	1	3	2	-	8	-	-	-	2
1	$q_1; q_2$	4	2	-	-	-	2	20	-	1
2	$S; U$	-	2	2	-3	-	6	-	-	2
3	$U; F$	2	3	-2	1	-	-	-	-	6
4	$\varepsilon; q_2$	3	4	5	-	-	3	20	-	-
5	$d; q_2$	2	-	2	-	-	-	40	-30	1
6	$U; F$	3	5	-	-	8	2	-	-	2
7	$q_1; q_2$	2	2	-	-	-	4	20	-	1
8	$S; F$	-	2	3	5	-	-	40	-	2
9	$E; E_0$	2	5	-	2	-	-	50	-	2

2.5. К бесконечной равномерно заряженной вертикальной плоскости с поверхностной плотностью заряда σ (мкКл/м²) подвешен на нити одноименно заряженный шарик массой m (г) и зарядом q (нКл). При равновесии сила натяжения нити - F (мН), угол между плоскостью и нитью - α градусов.

№	Найти	Дано				
		σ	m	q	F	α
0	σ	-	0,5	0,60	7	-
1	α	30	0,5	0,10	-	-
2	σ	-	1,0	0,10	-	10
3	m	7	-	0,70	3	-
4	q	10	5,0	-	-	15
5	F	44	1,0	1,0	-	13
6	F	1,5	4	0,8	-	-
7	q	80	0,5	-	1	-
8	m	50	-	1,0	-	20
9	F	6	-	9	-	30

2.6. Две заряженные пластины площадью S с поверхностной плотностью заряда σ_1 и σ_2 , зарядами Q_1 и Q_2 взаимодействуют с силой F в среде с диэлектрической проницаемостью ε . Расстояние между пластинами равно d , разность потенциалов - U . Заряды даны в мкКл, напряжение - в кВ, расстояние - в мм, площадь - в дм², поверхностная плотность заряда - в мкКл/м².

№	Найти	Дано								
		Q_1	Q_2	S	σ_1	σ_2	F	ε	U	d
0	$F; U$	4	-2	4	-	-	-	1	-	3
1	$Q_2; \sigma_1$	2	-	3	-	-	3	2	-	-
2	$\varepsilon; U$	-2	+3	2	-	-	13	-	-	-
3	$Q_1; U$	-	-	2	-	-	4	2	-	2
4	$F; U$	-	-	4	50	50	-	1	-	4
5	$S; U$	-	-	-	50	20	2	1	-	-
6	$U; F$	-	-	3	20	-80	-	2	-	5
7	$d; F$	-	-	2	-100	60	-	4	10	-
8	$U; \sigma_1$	-	-	1	-	-	8	1	-	2
9	$Q_1; F$	-	-	2	-30	40	-	2	10	4

2.7. Три плоскопараллельные пластины, расположенные на малом расстоянии друг от друга, равномерно заряжены с поверхностной плотностью σ_1 , σ_2 и σ_3 . Напряженность поля в точках А, В, С равна E_A , E_B , E_C . Решение сопроводить графиком зависимости напряженности поля от расстояния x , отсчитываемого от первой пластины. Напряженность поля дана в кВ/м, плотность заряда - в нКл/м².

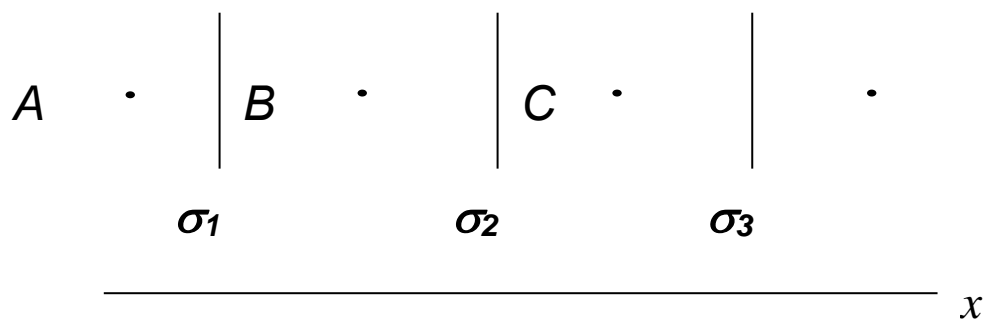


Рис. 3

№	Найти	Дано					
		σ_1	σ_2	σ_3	E_A	E_B	E_C
0	$E_A; E_B; E_C$	80	-50	40	-	-	-
1	$E_A; \sigma_2; \sigma_3$	20	-	-	-	-2	3
2	$\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3$	-	-	-	-2	5	3
3	$\sigma_2; \sigma_3; E_C$	80	-	-	3,4	-2	0
4	$E_B; E_C; \sigma_1$	-	40	-60	2,8	-	-
5	$E_A; E_B; E_C$	-70	-30	90	-	-	-
6	$E_C; E_A; \sigma_2$	20	-	12	-	3	-
7	$\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3$	-	-	-	-1,7	-2,8	0
8	$E_B; E_A; \sigma_1$	-	-40	60	-	-	7,3
9	$E_A; E_B; E_C$	10	-50	40	-	-	-

2.8. Две концентрические металлические сферы радиусов R_1 и R_2 заряжены зарядами q_1 и q_2 . Потенциалы сфер - φ_1 и φ_2 . Найти напряженность и потенциал в точке, отстоящей на расстояние r от центра сфер. Сферы находятся в вакууме. Заряды даны в нКл.

№	Дано						
	R_1	R_2	r	q_1	q_2	φ_1	φ_2
0	0,2	0,5	0,4	2	-5	-	-
1	0,2	0,5	0,6	2	-	-	-36
2	0,1	0,4	0,7	-	-	90	45
3	0,2	0,5	0,1	2	3	-	-
4	0,3	0,7	0,5	-	2	45	-
5	0,2	0,8	0,4	2	-2	-	-
6	0,2	0,5	0,4	-	-	45	0
7	0,3	0,5	0,7	-	-	90	36
8	0,5	1,0	0,7	-2	5	-	-
9	0,5	0,8	0,6	-	5	-	0

2.9. Применяя теорему Гаусса, найти поток вектора напряженности электрического поля через сферу радиуса r . Имеются равномерно заряженные тела: шар радиуса R с зарядом q ; нить с линейной плотностью заряда τ ; плоскость с поверхностной плотностью заряда σ . Центры сферы и шара совпадают. Нить и плоскость проходят на расстоянии a от центра сферы. При наличии двух тел они расположены симметрично относительно центра сферы.

№	Тело	Дано					
		r	R	a	$q \cdot 10^8$	$\tau \cdot 10^8$	$\sigma \cdot 10^8$
0	Шар	2	0,5	-	3	-	-
1	Нить	5	-	4	-	2	-
2	Плоскость	5	-	4	-	-	2
3	Шар и нить	5	0,5	4	-3	1	-
4	Шар и плоск.	4	1	3	2	-	0,5
5	Нить и плоск.	5	-	3	-	-2	0,5
6	Две нити	3	-	1	-	+2, -1	-
7	Две плоскости	3	-	2	-	-	+2,-3
8	Шар	2	4	-	5	-	-
9	Шар и нить	2	3	3	4	-1	-

2.10. Внутри горизонтально расположенного плоского конденсатора с разностью потенциалов U , напряженностью электрического поля E , расстоянием между пластинами d находится в равновесии заряженная частица с зарядом q , массой m , диаметром D , плотностью материала частицы ρ . Сила, с которой электрическое поле конденсатора действует на заряд внутри конденсатора, $-F$.

№	Найти	Дано						
		U	E , кВ/м	d , мм	q , нКл	m , мг	D , мм	ρ , г/см ³
0	m, U	-	20	4	4,9	-	-	-
1	m, F	50	-	2	-2	-	-	-
2	E, U	-	-	4	2	-	2,1	0,8
3	U, E	-	-	5	0,2	1	-	-
4	q, E	100	-	5	-	0,5	-	-
5	m, E	50	-	4	5	-	-	-
6	U, E	-	-	2	4	-	0,5	0,9
7	D, E	360	-	1,8	3	2	-	0,9
8	d, E	200	-	-	0,4	0,2	-	-
9	q, U	-	5	6	3	4	-	-

ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ 3

3.1. Два иона, находившихся на расстоянии r друг от друга, начинают двигаться навстречу друг другу со скоростями v_1 и v_2 . На какое минимальное расстояние они смогут сблизиться? Кинетическая энергия ионов - W_1 и W_2 эВ.

№	Дано						
	Ион 1	Ион 2	v_1	v_2	W_1	W_2	r
0	Li ⁺	He ⁺⁺	2,8	2,2	-	-	8
1	C ⁺⁺	Ne ⁺	-	-	10	0	9
2	B ⁺⁺⁺	Li ⁺	-	-0,2	6	-	7
3	Na ⁺	C ⁺	0,3	-0,15	-	-	6
4	Li ⁺⁺⁺	C ⁺	-	-	16	8	10
5	F ⁺	Si ⁺⁺⁺	0,3	0	-	-	5
6	Mg ⁺⁺	N ⁺⁺	1,2	0,9	-	-	6
7	Ne ⁺⁺	Si ⁺	-	-	20	10	1000
8	Li ⁺⁺⁺	C ⁺	-	-0,2	4	-	18
9	He ⁺⁺	Be ⁺⁺	2,5	2,2	-	-	1000

3.2. Шарик массы m с зарядом q имеет в точке с потенциалом φ_1 скорость v_1 . В точке с потенциалом φ_2 его скорость - v_2 .

№	Найти	Дано					
		$m, \text{г}$	v_1	v_2	$q, \text{нКл}$	φ_1	φ_2
0	v_1	1	-	0,20	-10	600	0
1	v_2	2	0,15	-	10	500	100
2	m	-	0,20	0,30	20	900	300
3	q	2	0,10	0,30	-	700	100
4	φ_1	1	0,20	0,80	-30	-	0
5	φ_2	2	0,10	0,70	20	800	-
6	v_2	3	0,30	-	20	900	100
7	v_1	2	-	0,40	30	800	100
8	q	1	0,20	0,90	-	700	0
9	m	-	0,10	0,50	10	800	200

3.3. Ионы двух элементов проходят ускоряющую разность потенциалов U_1 и U_2 . Отношение их скоростей $k = \frac{v_1}{v_2}$.

№	Найти	Дано				
		Ион-1	Ион-2	U_1	U_2	k
0	k	Mg^{++}	Na^+	200	200	-
1	k	Li^+	Cu^{++}	400	500	-
2	U_2	Mg^{++}	Ag^{++}	200	-	3
3	U_2	Li^+	Ca^{++}	200	-	1
4	k	K^+	Ag^{++}	400	600	-
5	k	Li^+	K^+	300	200	-
6	U_1	H^+	He^{++}	-	100	$\sqrt{2}$
7	k	Mg^{++}	Na^+	300	400	-
8	U_1	Mg^{++}	Ag^{++}	-	200	3
9	U_2	Li^+	Cu^{++}	400	-	0,8

3.4. При переносе точечного заряда q из точки М, расположенной на расстоянии l от поверхности заряженного металлического шара, в бесконечность была совершена работа A . Радиус шара - R , заряд шара - q_0 , потенциал шара - φ_0 , диэлектрическая проницаемость среды - ϵ .

№	Найти	Дано						
		$A,$ <i>мкДж</i>	$q_0,$ <i>нКл</i>	$q,$ <i>нКл</i>	φ_0	ϵ	$R,$ <i>см</i>	$l,$ <i>см</i>
0	A	-	-	10	175	1	4	10
1	q_0	0,5	-	8	-	2	5	12
2	q	0,3	-	-	150	1	2	8
3	φ_0	0,6	-	9	-	2	3	10
4	ϵ	0,6	2	7	-	-	2	12
5	R	1	3	9	-	2	-	15
6	l	0,7	4	11	-	1,5	3	-
7	q_0	0,9	-	12	-	1,9	4	8
8	q	0,7	-	-	120	1,8	3	11
9	φ_0	0,8	-	7	-	1,5	4	13

3.5. На рис.4 изображены небольшие участки трех близких эквипотенциальных поверхностей электрического поля. Потенциалы поверхностей - $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$. Расстояние между ними по нормали - Δl_1 и Δl_2 . Средние напряженности полей между соседними эквипотенциальными поверхностями в данной области - E_1 и E_2 . A_{12}, A_{23}, A_{13} – работа переноса заряда q из точки 1 в точку 2, из точки 2 в точку 3, из точки 1 в точку 3. Работа дана в *мкДж*, заряд - в *нКл*, расстояние - в *см* и напряженность поля - в *В/см*.

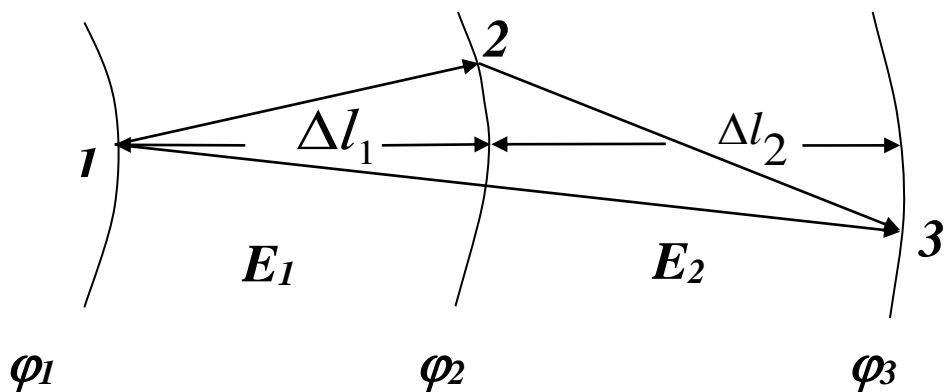


Рис. 4

№	Найти	Дано										
		q	φ_1	φ_2	φ_3	A_{12}	A_{23}	A_{13}	E_1	E_2	Δl_1	Δl_2
0	$\varphi_2; E_1$	20	100	-	30	0,6	-	-	-	-	2	-
1	$A_{13}; \varphi_3$	10	200	-	-	-	-	-	80	30	3	5
2	$\varphi_1; E_2$	30	-	200	100	0,8	-	-	-	-	-	3
3	$A_{13}; \varphi_1$	20	-	150	-	-	-	-	60	40	2	4
4	$\varphi_2; A_{23}$	10	100	-	-	0,4	-	-	-	50	-	5
5	$A_{12}; \varphi_3$	30	200	150	-	-	-	-	-	30	-	3
6	$q; \varphi_1$	-	-	100	50	-	0,5	-	60	-	2	-
7	$\varphi_2; E_1$	20	200	-	-	0,8	-	-	-	-	3	-
8	$A_{13}; \varphi_3$	30	100	-	-	-	-	-	60	30	2	4
9	$\varphi_1; E_2$	20	-	180	120	0,6	-	-	-	-	-	4

3.6. Электрон с кинетической энергией T (в бесконечности) движется вдоль силовой линии по направлению к поверхности металлической заряженной сферы радиусом R . Заряд сферы Q , минимальное расстояние, на которое может приблизиться

электрон к поверхности сферы, равно a . Скорость электрона на расстоянии r от центра сферы равна v .

№	Найти	Дано					
		T , эВ	R	Q , нКл	a	r	v , Мм/с
0	a	400	0,10	-10	-	-	-
1	Q	600	0,15	-	0,30	-	-
2	R	800	-	-20	0,15	-	-
3	T	-	0,20	-10	0,25	-	-
4	v	-	0,10	-10	0,20	0,5	-
5	a	-	0,05	-30	-	-	14
6	T	-	0,10	-20	0,5	-	-
7	R	-	-	-50	0,40	-	8
8	a	-	0,15	-5	-	-	0,5
9	Q	-	0,05	-	0,50	-	6

3.7. Три точечных заряда 10, 15 и 20 нКл находятся в вершинах треугольника со сторонами a_1, b_1, c_1 . При увеличении сторон до a_2, b_2, c_2 поле совершает работу A . Работа поля при удалении одного из зарядов от начального положения в бесконечность равна A_1, A_2, A_3 , соответственно. Работа дана в мкДж.

№	Найти	Дано									
		a_1	b_1	c_1	a_2	b_2	c_2	A_1	A_2	A_3	A
0	A, A_1	0,3	0,4	0,5	0,4	0,6	0,8	-	-	-	-
1	A, c_1	-	-	-	0,5	0,6	0,9	6	7	4	-
2	A, A_2	0,4	0,5	-	0,6	0,6	0,9	-	-	8	-
3	A	-	-	-	8	8	8	5	8	4	-
4	A, A_3	0,4	0,6	0,5	0,4	0,6	1,5	-	-	-	-
5	a_1, b_1, c_1	-	-	-	8	8	8	8	10	-	16
6	A_1, c_2	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	-	-	-	-	7
7	A, A_2	0,4	0,5	0,3	0,5	0,6	0,8	-	-	-	-
8	a_1, c_2	-	-	-	0,5	0,6	-	7	9	8	5

9	A, A_1	0,3	-	0,4	0,6	0,6	0,9	-	9	-	-
---	----------	-----	---	-----	-----	-----	-----	---	---	---	---

3.8. Заряженная частица массой m и зарядом q пролетела в горизонтальном направлении по силовой линии однородного электрического поля из точки 1 с потенциалом φ_1 , двигаясь со скоростью v_1 из точки 1 в точку 2 с потенциалом φ_2 . Скорость частицы - v_2 в точке 2, изменение её кинетической энергии - ΔW_k , изменение её потенциальной энергии - ΔW_n .

№	Найти	Дано					
		φ_1	φ_2	v_1	v_2	$m, г$	$q, нКл$
0	φ_1	-	600	0,1	0,5	1,6	9
1	φ_2	400	-	0,2	0,7	2	8
2	v_1	200	100	-	0,3	1,5	9
3	v_2	500	100	0,6	-	2,5	7
4	m	600	200	0,3	0,9	-	6
5	q	800	300	0,4	1	1,6	-
6	ΔW_k	900	500	-	-	-	6
7	ΔW_n	-	-	0,2	0,8	2	-
8	φ_2	300	-	0,3	0,7	1,5	7
9	v_1	600	100	-	0,9	2	9

3.9. Положительный ион, пройдя ускоряющую разность потенциалов U_0 , приобретает скорость v_0 и влетает в плоский конденсатор параллельно пластинам. К пластинам приложено напряжение U . Смещение иона к моменту вылета из конденсатора - X . Расстояние между пластинами - d , длина пластин - l (рис. 5).

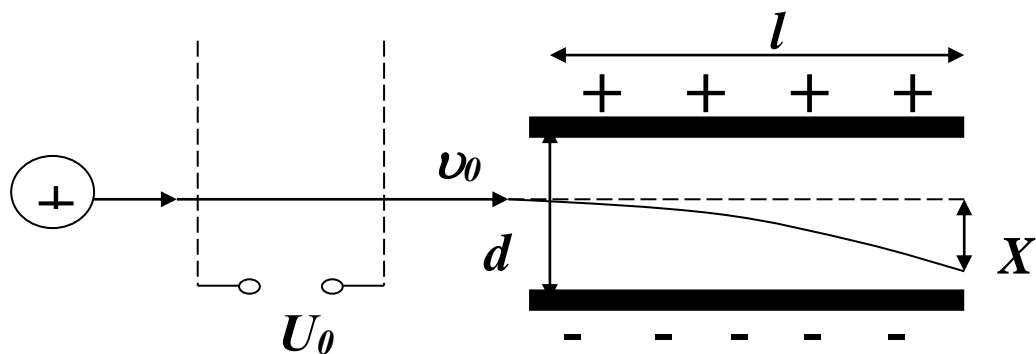


Рис. 5

№	Найти	Дано						
		Ион	U_0 , кВ	ν_0 , ММ/с	U	d , см	l , см	X , мм
0	$X; \nu_0$	He ⁺⁺	10	-	20	2	10	-
1	$U; U_0$	H ⁺	-	1,0	-	3	12	2,5
2	$d; \nu_0$	Li ⁺	15	-	30	-	10	1,5
3	$l; U_0$	K ⁺	-	0,5	40	2	-	2,0
4	$\nu_0; U$	H ⁺	10	-	-	2	20	8,0
5	$U_0; X$	Mg ⁺⁺	-	0,5	50	3	15	-
6	$\nu_0; l$	He ⁺⁺	20	-	40	1	-	12,0
7	$U_0; d$	Na ⁺	-	0,7	100	-	12	7,0
8	$X; U_0$	Ag ⁺	-	0,4	150	2	20	-
9	$U; \nu_0$	Cu ⁺⁺	40	-	-	1	20	4,0

3.10. На оси ОХ симметрично относительно начала координат на расстоянии a от него расположены два одинаковых точечных заряда Q (нКл). Вдоль оси ОУ движется маленький заряженный шарик массой m (мкг) и зарядом q (нКл). В точке с координатой y_1 его скорость - ν_1 , а в точке с координатой y_2 скорость шарика равна ν_2 .

№	Найти	Дано							
		Q	a	m	q	y_1	ν_1	y_2	ν_2
0	ν_2	2,0	0,1	20	1,5	0,0	0,01	0,1	-
1	ν_1	1,5	0,2	50	2,0	0,3	-	1,0	5,0
2	y_2	2,5	0,3	10	3,0	0,2	2,0	-	5,0
3	y_1	2,0	0,15	25	1,4	-	2,0	0,3	4,0
4	Q	-	0,12	40	1,2	0,16	1,0	0,3	3,0
5	m	2,5	0,07	-	2,0	0,07	2,0	0,2	5,0
6	q	1,2	0,1	60	-	0,15	3,0	0,3	10,0
7	ν_2	1,5	0,14	70	3,0	0,1	1,0	0,3	-
8	y_2	0,5	0,2	80	4,0	0,0	0,5	-	3,0
9	q	2,0	0,25	40	-	0,1	4,0	0,5	8,0

ТЕМА 4. ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ. ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Емкостью *уединенного проводника* называется величина, численно равная отношению заряда проводника q к его потенциалу φ :

$$C = \frac{q}{\varphi}.$$

Емкость проводника зависит от его размеров, формы и от диэлектрических свойств окружающей среды. Например, емкость уединенной проводящей сферы радиуса R , находящейся в среде с диэлектрической проницаемостью ε :

$$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R.$$

Конденсатор (плоский) – система из двух плоских проводящих пластин (обкладок), расположенных параллельно друг другу на малом по сравнению с размерами пластин расстоянии, разделенных слоем диэлектрика.

Емкостью системы из двух проводников называется физическая величина, определяемая как отношение заряда q одного из проводников к разности потенциалов между ними:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}.$$

Разность потенциалов на обкладках конденсатора называется **напряжением**.

Емкость плоского конденсатора прямо пропорциональна площади пластин (обкладок) S и обратно пропорциональна расстоянию между ними d : $C = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{S}{d}$,

При **параллельном** соединении двух конденсаторов емкостью C_1 и C_2 напряжение на них одинаково и равно U , а заряды q_1 и q_2 различны. Понятно, что общий заряд батареи равен сумме зарядов конденсаторов $q = q_1 + q_2$, а её емкость: $C = C_1 + C_2$.

В обобщенном виде эта формула может быть записана

следующим образом: $C = \sum_{i=1}^n C_i$.

При *последовательном* соединении одинаковыми оказываются заряды обоих конденсаторов: $Q_1 = Q_2 = Q$, а величины напряжения на них равны U_1 и U_2 соответственно. Такую систему можно рассматривать как единый конденсатор, заряженный зарядом Q при напряжении между обкладками $U = U_1 + U_2$. Общая емкость при последовательном соединении:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

Или в общем виде $\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$.

Потенциальная энергия системы N зарядов: $W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i \varphi_i$, где

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

Энергия заряженного уединенного проводника:

$$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2} \varphi q,$$

Энергия заряженного конденсатора равна работе внешних сил, которую необходимо затратить, чтобы зарядить конденсатор:

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}.$$

Сила, с которой притягиваются друг к другу две противоположно заряженные пластины конденсатора $F = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2 S}{2}$,

где σ – поверхностная плотность заряда обкладок конденсатора, S – их площадь, E – напряженность поля внутри конденсатора.

Объемная плотность энергии (энергия единицы объема V):

$$\varpi = \frac{W}{V}; \varpi = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon_0\varepsilon}.$$

ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ 4

4.1. Конденсатор с двухслойным диэлектриком емкостью C заряжен до напряжения U . Напряженность поля в каждом диэлектрике - E_1 и E_2 . Поверхностная плотность заряда на пластинах - σ . Площадь пластин - S , толщина диэлектриков - d_1 и d_2 , их диэлектрическая проницаемость - ε_1 и ε_2 . Емкость дана в $n\Phi$, напряжение - в kB , напряженность поля - в kB/mm , плотность заряда - в $мкКл/м^2$, площадь - в $см^2$ и толщина - в $мм$.

№	Найти	Дано									
		C	U	d_1	d_2	ε_1	ε_2	E_1	E_2	σ	S
0	C, ε_1	-	-	0,2	0,3	-	-	4	3	80	200
1	σ, S	500	-	0,2	0,1	5	2	2	-	-	-
2	C, E_1	-	1,2	0,3	0,5	2	3	-	-	-	300
3	C, d_2	-	1,4	0,2	-	2	4	5	-	-	400
4	C, U	-	-	0,3	0,2	3	2	-	-	60	250
5	d_2, E_2	400	-	0,2	-	4	6	-	-	50	100
6	C, E_2	-	-	0,4	0,6	2	3	3	-	-	200
7	C, U	-	-	0,3	0,4	3	2	4	-	-	120
8	d_1, ε_2	800	-	-	0,2	2	-	3	2	-	200
9	d_2, ε_1	700	-	0,2	-	-	-	2	3	60	100

4.2. Между обкладками плоского конденсатора с площадью пластин S и расстоянием между ними d_1 находится пластинка диэлектрика, относительная диэлектрическая проницаемость которой - ε , целиком заполняет пространство между пластинами. Конденсатор зарядили до разности потенциалов U и отключили от источника напряжения. Для того чтобы раздвинуть пластины конденсатора до расстояния d_2 , требуется совершить работу, равную A .

№	Найти	Дано					
		$S, \text{ см}^2$	$d_1, \text{ см}$	ε	U	$d_2, \text{ см}$	$A, \text{ мкДж}$
0	S	-	0,1	2,6	100	0,7	9
1	ε	30	1,1	-	80	1,8	0,15
2	U	140	1,7	2,2	-	3	0,19
3	d_2	90	0,8	4	140	-	1,6
4	A	200	1	2	120	1,5	-
5	S	-	2	3,6	190	3	0,7
6	ε	240	1,6	-	210	2,2	1,75
7	U	50	0,3	2,5	-	0,9	3
8	d_2	150	1,8	7,3	200	-	3
9	A	400	0,2	6	120	0,8	-

4.3. Расстояние между пластинами конденсатора емкостью C_1 равно d_1 . Конденсатор зарядили до напряжения U_1 , сообщив ему заряд q , отключили от источника и увеличили расстояние между пластинами до d_2 . При этом емкость конденсатора стала C_2 , напряжение на конденсаторе - U_2 . При раздвижении пластин совершена работа A . Площадь пластин - S , пространство между пластинами заполнено диэлектриком (воздух или жидкость) с диэлектрической проницаемостью ε . Емкость дана в пФ, расстояние - в мм, напряжение - в кВ, заряд в - нК, площадь - в см^2 .

№	Найти	Дано									
		C_1	d_1	S	ε	U_1	q	d_2	C_2	U_2	A
0	C_1	-	-	450	1	-	90	5	-	-	30
1	d_1	-	-	500	1	-	80	6,5	-	-	20
2	S	350	-	-	2	-	80	4	-	-	15
3	ε	-	1	100	-	0,7	-	5	-	-	60
4	U_1	-	2	-	-	-	-	4	60	-	80
5	q	200	3	-	-	-	-	7	-	-	70
6	U_2	200	-	-	-	-	-	-	80	-	50
7	C_2	-	2	-	-	0,9	-	6	-	-	100
8	U_2	-	3	400	2	-	-	7	-	-	20
9	A	-	2	300	1	-	-	4	-	1,0	-

4.4. Воздушный конденсатор емкостью C зарядили до напряжения U_1 , отключили от источника и соединили параллельно с незаряженным конденсатором тех же размеров, но с диэлектриком. При этом выделилось количество тепла Q . Площадь пластин - S , расстояние между пластинами - d . Диэлектрическая проницаемость диэлектрика - ε . Напряжение на конденсаторах после соединения - U_2 .

№	Найти	Дано						
		S	d , мкм	C , мкФ	U_1	Q , мДж	U_2	ε
0	S	-	30	-	120	20	-	2
1	d	6,0	-	-	100	30	30	-
2	ε	3,0	20	-	200	20	-	-
3	C	-	-	-	-	20	60	5
4	ε	5,6	25	-	-	15	40	-
5	U_1	5	15	-	-	25	-	6
6	U_2	-	-	3	-	10	-	2
7	Q	4,5	40	-	80	-	-	3
8	U_2	2,5	10	-	90	20	-	-
9	Q	-	-	4	120	-	40	-

4.5. При соединении одноименно заряженных обкладок конденсаторов с емкостью C_1 и C_2 выделяется количество теплоты Q . Напряжения на конденсаторах до соединения были, соответственно, - U_1 и U_2 , заряды конденсаторов до соединения - q_1 и q_2 .

№	Найти	Дано						
		Q, мДж	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ	U_1	U_2	q_1 , мКл	q_2 , мКл
0	Q	-	180	140	100	200	24	120
1	U_1	225	150	130	-	220	-	-
2	U_2	200	160	120	180	-	-	-
3	Q	-	200	50	120	240	-	-
4	q_1	260	300	100	-	200	-	-
5	q_2	240	200	90	220	-	-	-
6	Q	-	250	80	100	-	-	12
7	U_1	250	160	150	-	110	-	-
8	U_2	280	170	120	120	-	-	-
9	Q	-	140	100	-	150	30	-

4.6. Один заряженный проводник обладает энергией W_1 , а второй – W_2 . Какое количество теплоты Q выделится, если их соединить проводником, емкостью которого можно пренебречь? Емкость первого проводника - C_1 , второго - C_2 , заряды проводников до соединения - q_1 и q_2 .

№	Дано					
	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ	W_1	W_2	q_1 , мКл	q_2 , мКл
0	-	200	16	-	-	32
1	200	-	-	9	60	-
2	-	-	9	4	-	-
3	150	100	-	-	50	30
4	-	200	25	-	-	80
5	100	-	-	16	60	-
6	-	-	25	4	-	-
7	150	200	-	-	50	40
8	-	900	16	-	-	30
9	800	-	-	1	40	-

4.7. При соединении двух заряженных металлических шариков радиусами R_1 и R_2 выделяется энергия Q . Емкости шариков - C_1 и C_2 , заряды - q_1 и q_2 , потенциалы - φ_1 и φ_2 соответственно.

№	Найти	Дано								
		R_1 , см	R_2 , см	C_1 , пФ	C_2 , пФ	q_1 , нКл	q_2 , нКл	φ_1 , кВ	φ_2 , кВ	Q , мкДж
0	R_1	-	-	-	20	20	-10	-	-	20
1	Q	-	-	5	10	40	-20	-	-	-
2	C_1	-	15	-	-	-	-	6,0	2,5	30
3	Q	-	-	10	-	60	-15	-	-3	-
4	q_1	-	10	10	-	-	-10	-	-	60
5	R_2	-	-	5	-	-	-	8	-2	150
6	q_2	-	-	-	-	20	-	5,0	-5,0	120
7	φ_2	6	-	-	13	-	-	6,0	-	125
8	C_2	10	-	-	-	20	-10	-	-	100
9	Q	5	5	-	-	40	-10	-	-	-

4.8. Два последовательно соединенных конденсатора с емкостью C_1 и C_2 подключены параллельно конденсатору емкостью C_3 . Батарея конденсаторов заряжена до напряжения U и отключена от источника тока. Затем второй конденсатор замыкают, при этом энергия батареи уменьшается на ΔW . Вначале значения напряжения на конденсаторах - U_1 , U_2 , заряды равны q_1 , q_2 , q_3 . Емкости даны в мкФ, заряды - в мКл.

№	Найти	Дано								
		U	C_1	C_2	C_3	q_1	q_2	q_3	U_1	U_2
0	$\Delta W, U_1$	800	3	3	2	-	-	-	-	-
1	$\Delta W, C_3$	-	4	6	-	-	-	2	600	-
2	$\Delta W, U$	-	5	7	-	2	-	2	-	-
3	$\Delta W, C_1$	-	-	-	-	-	3	4	400	700
4	$\Delta W, C_2$	-	-	-	-	2	-	1,5	300	500
5	$\Delta W, C_3$	-	2	3	-	-	1,5	3	-	-
6	$\Delta W, U_2$	-	3	5	4	2	-	-	-	-
7	$\Delta W, q_1$	600	5	-	5	-	-	-	-	200
8	$\Delta W, C_2$	-	2,5	-	5	-	2	4	-	-
9	$\Delta W, U$	-	-	4	-	2	-	3	400	-

4.9. Два слюдяных конденсатора с емкостью C_1 и C_2 зарядили до значений напряжения U_1 и U_2 и отключили от источника тока. Конденсаторы соединяют между собой. При перезарядке конденсаторов выделяется энергия ΔW . В задачах № 0-4 конденсаторы соединены разноименно заряженными пластинами, а в задачах № 5-9 - одноименно заряженными пластинами. Расстояние между пластинами - d_1 и d_2 , площади пластин - S_1 и S_2 , диэлектрическая проницаемость слюды $\epsilon = 7$. Емкости конденсаторов даны в пФ, напряжение - в кВ, расстояние - в мм, площадь - в см² и энергия - в мДж.

№	Найти	Дано								
		C_1	C_2	U_1	U_2	d_1	d_2	S_1	S_2	ΔW
0	C_1	-	-	10	10	-	2	-	3,2	1
1	U_2	-	20	15	-	3	-	2,8	-	2
2	d_1	-	9	20	20	-	-	5	-	5
3	S_2	10	-	22,6	10	-	1	-	-	4
4	ΔW	20	-	15	15	-	3	-	4,8	-
5	C_2	-	-	20	10	2,5	-	8,1	-	0,5
6	U_1	40	-	-	10	-	1,5	-	2,4	0,1
7	d_2	20	-	20	15	-	-	-	12,9	0,2
8	S_1	-	30	30	20	2,5	-	-	-	0,4
9	ΔW	-	20	20	9,5	4	-	6,5	-	-

4.10. Плоский конденсатор с двухслойным диэлектриком заряжен до напряжения U . Толщина слоев - $d_1=0,5$ и d_2 мм, их диэлектрическая проницаемость ϵ_1 и $\epsilon_2 = 3$. Напряженность поля в них - E_1, E_2 кВ/мм, объемная плотность энергии - ω_1, ω_2 Дж/м³. Заряд, сообщенный конденсатору - q мкКл, энергия конденсатора - W мДж. Площадь пластин - S см². Емкость конденсатора - C пФ.

№	Найти	Дано									
		d_2	ϵ_1	ω_1	ω_2	E_1	E_2	S	C	W	q
0	C, S	0,3	-	-	-	3	2	-	-	0,5	-
1	C, W	0,2	2	-	-	3	-	-	-	-	3,0
2	C, U	-	-	-	32	3	2	300	-	1,2	-
3	W, U	0,5	2	24	-	-	-	250	-	-	-
4	C, U	0,4	2	-	24	-	-	-	-	-	4,0
5	q, U	0,3	-	30	40	-	-	-	-	2,0	-
6	S, W	0,4	1	-	-	3,0	-	-	-	-	2,4
7	ϵ_1, d_2	-	-	-	-	2	4	-	500	2,5	-
8	E_2, d_2	-	4	-	-	2,4	-	-	300	-	1,0
9	C, U	0,8	-	-	-	3	2	300	-	1,2	-

ТЕМЫ 5, 6. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Электрическим током называют упорядоченное движение заряженных частиц. **Сила тока** I - скалярная физическая величина, численно равная отношению заряда, переносимого через поперечное сечение проводника за единицу времени:

$$I = \frac{dq}{dt}.$$

Плотность электрического тока \vec{j} называется вектор, совпадающий с направлением электрического тока в рассматриваемой точке и численно равный отношению силы тока dI через малую площадку dS , к величине этой площадки. Силу тока можно записать:

$$I = \int_S \vec{j} d\vec{S}.$$

Плотность тока в проводнике с концентрацией носителей тока n пропорциональна их заряду q и скорости их направленного движения v : $\vec{j} = n \cdot q \cdot v$. Полная плотность тока равна сумме плотностей токов положительных и отрицательных носителей тока:

$$\vec{j} = \vec{j}_+ + \vec{j}_-.$$

Величина, численно равная работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда, называется **электродвижущей силой (ЭДС)**, действующей в электрической

цепи или на ее участке $\varepsilon = \frac{A_{стор}}{q}$. Сторонними называются силы неэлектростатического происхождения.

Величина, численно равная работе, совершаемой электростатическими и сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда, называется **напряжением** на

данном участке цепи: $U = \frac{A_{эл} + A_{стор}}{q} = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon$.

Участок цепи, на котором не действуют сторонние силы, называется однородным (рис. 6), а участок цепи, содержащий ЭДС, называется неоднородным (рис. 7).

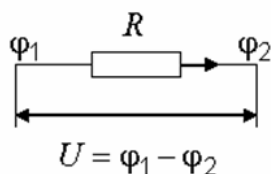


Рис. 6. Однородный участок цепи

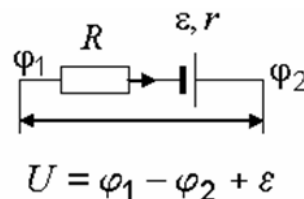


Рис. 7. Неоднородный участок цепи

Закон Ома для однородного участка цепи (интегральный

вид):
$$I = \frac{U}{R} .$$

Закон Ома для неоднородного участка цепи (интегральный вид):

$$I = \frac{U_{12}}{R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}}{R} .$$

Закон Ома для полной цепи:
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} .$$

Сопротивление проводника:
$$R = \rho \frac{l}{S} ,$$
 где l – длина, S –

площадь поперечного сечения провода, ρ – удельное сопротивление материала проводника. Для металлов ρ зависит от температуры t (в $^{\circ}\text{C}$) по закону:

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t) ,$$

где ρ_0 – удельное сопротивление при 0°C , α – температурный коэффициент сопротивления, зависящий от металла. Величина обратная удельному сопротивлению, называется **удельной проводимостью** $\lambda = 1/\rho$.

Согласно классической электронной теории металлов, удельная проводимость:
$$\lambda = \frac{ne^2\tau}{2m} ,$$
 где e – заряд электрона,

равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, $\tau = l/V_T$ – время свободного пробега электронов, l – длина свободного пробега, V_T – средняя скорость теплового движения электронов, $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг – масса покоя электрона.

Закон Ома в дифференциальной форме: плотность тока прямо пропорциональна напряженности электрического поля: $\vec{j} = \lambda \vec{E}$.

Закон Джоуля-Ленца: количество теплоты, выделяемое постоянным электрическим током на участке цепи, равно произведению квадрата силы тока на время его прохождения и электрическое сопротивление этого участка цепи: $Q = I^2 R t$.

Тепло, выделившееся в единицу времени, дает **мощность** электрического тока: $P = I^2 R$.

Полная мощность источника, то есть работа, совершаемая сторонними силами за единицу времени:

$$P_{ист} = \varepsilon I = \frac{\varepsilon^2}{R + r}.$$

Во внешней цепи выделяется мощность:

$$P = RI^2 = \varepsilon I - rI^2 = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}.$$

Мощность, выделяющаяся на сопротивлении нагрузки максимальна, когда внешнее сопротивление равно внутреннему. В этом случае говорят, что нагрузка согласована с внутренним сопротивлением источника тока.

ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ 5

5.1. Электрический кипятильник мощностью N рассчитан на напряжение U при токе I . Длина провода кипятильника – l , его сечение – S , а удельное сопротивление провода – ρ .

№	Найти	Дано					
		N , кВт	U	I	l	S , мм ²	$\rho \cdot 10^7$
0	S	-	120	4	9	-	13
1	l	0,6	120	-	-	0,4	13
2	U	-	-	3	10	0,4	13
3	I	-	220	-	20	0,8	5,0
4	N	-	-	4	8	0,6	4,0
5	ρ	0,8	-	4	10	0,4	-
6	S	0,5	100	-	10	-	3,4
7	l	-	200	3	-	0,5	3,4
8	N	-	-	7	20	0,35	3,5
9	N	-	120	-	5	0,3	11

5.2. Батарея аккумуляторов с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r включена в цепь по схеме, изображенной на рис. 8, содержащей сопротивления R_1 , R_2 , R_3 . Амперметр показывает ток I , сопротивлением амперметра можно пренебречь.

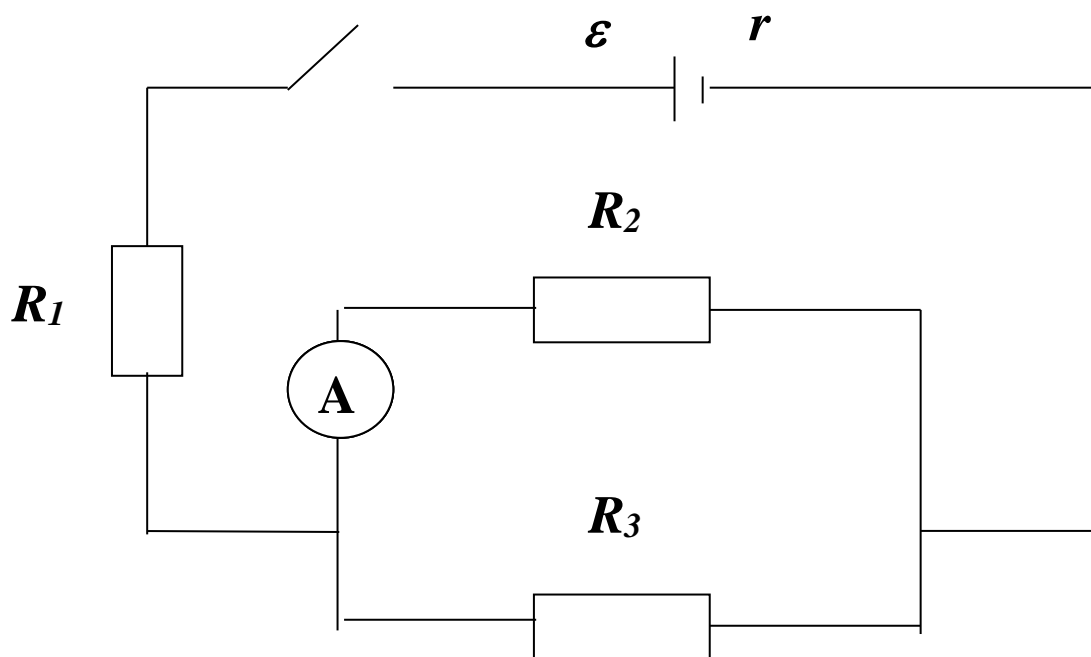


Рис. 8

№	Найти	Дано					
		ε	r	R_1	R_2	R_3	I
0	r	2,8	-	1,8	2,0	3,0	0,48
1	ε	-	1,0	1,5	2,5	2,5	0,6
2	R_1	3,0	0,5	-	2,0	3,0	0,5
3	R_2	3,0	1,0	1,5	-	2,5	0,4
4	R_3	2,0	0,5	2,0	2,0	-	0,4
5	I	1,5	0,5	2,5	2,0	3,0	-
6	r	2,0	-	1,0	2,5	3,0	0,7
7	ε	-	0,5	1,5	2,0	3,5	0,6
8	R_1	3,0	1,0	-	2,4	2,8	0,5
9	R_2	3,0	0,5	1,6	-	3,0	0,4

5.3. Батарея, замкнутая на сопротивление R_1 , дает ток I_1 , а замкнутая на сопротивление R_2 дает ток I_2 . Полезные мощности при этом - N_1 и N_2 , коэффициенты полезного действия - η_1 и η_2 . Ток короткого замыкания батареи - I_m .

№	Найти	Дано							
		R_1	R_2	I_1	I_2	N_1	N_2	η_1	η_2
0	$I_m; \eta_1$	3	1	1	2	-	-	-	-
1	$\eta_1; \eta_2$	-	-	1	3	2	2	-	-
2	$R_1; \eta_2$	-	5	2	1	4	-	-	-
3	$R_1; R_2$	-	-	1,6	2	-	12	-	0,75
4	$I_1; \eta_1$	3	1,5	-	-	-	6	-	0,75
5	$I_2; R_2$	4	-	-	-	36	-	0,5	0,9
6	$N_1; \eta_1$	3	1	2	3	-	-	-	-
7	$I_2; \eta_2$	3	2	-	-	12	8	-	-
8	$N_1; R_2$	2	-	-	-	-	24	0,4	0,66
9	$N_1; N_2$	1	7	-	0,5	-	-	0,33	-

5.4. Две металлические проволоки длиной l_1 , l_2 и сечениями S_1 , S_2 соединены последовательно, и по ним протекает ток I при напряжении U . Плотность тока в них – j_1 , j_2 , а напряженность поля – E_1 и E_2 . Удельное сопротивление проводов $\rho_1 = 20$ и $\rho_2 = 30$ мкОм·см. Общее сопротивление – R . Сечение проводов дано в мм², плотность тока – в А/мм².

№	Найти	Дано									
		l_1	l_2	S_1	S_2	j_1	j_2	E_1	E_2	U	I
0	U, I	0,4	0,6	2	4	2	-	-	-	-	-
1	l_2, E_1	0,5	-	0,5	1,0	-	-	-	-	0,5	3
2	l_2, S_2	0,3	-	2	-	2,5	4	-	-	0,6	-
3	U, R	0,5	0,3	2	4	-	-	0,5	-	-	-
4	U, S_1	0,5	0,4	-	-	-	-	0,4	0,9	-	2
5	l_2, R	0,3	-	0,4	1,0	2	-	-	-	0,7	-
6	l_1, E_1	-	0,6	0,8	2	-	-	-	-	1,0	4
7	U, S_1	0,5	0,4	-	3	-	-	0,4	-	-	2
8	U, R	0,6	0,8	-	-	2	1,5	-	-	-	3
9	l_2, E_2	0,7	-	-	2	-	-	0,3	-	0,5	3

5.5. Длина металлической проволоки – l , удельное сопротивление $\rho=1,13$ мкОм·м, сечение проводника – S , напряжение источника тока – U . Нагреватель, сделанный из этой проволоки, нагревает объем воды V от температуры T_0 до кипения за время Δt . КПД нагревателя – η .

№	Найти	Дано						
		l	$S, \text{ мм}^2$	U	V	T_0, K	Δt	η
0	l	-	80	220	2	293	600	0,8
1	S	80	-	110	2	293	600	0,6
2	U	70	80	-	2	293	600	0,4
3	V	60	80	110	-	303	500	0,7
4	Δt	50	80	220	3	303	-	0,5
5	η	90	70	220	2	310	650	-
6	l	-	60	110	1	300	600	0,3
7	S	90	-	220	4	323	300	0,5
8	U	70	60	-	3	313	600	0,4
9	V	80	70	200	-	293	600	0,7

5.6. Электрическая плитка мощностью P с нихромовой спиралью включена в сеть с напряжением U . Удельное сопротивление нихрома при 0°C равно $\rho_0=100 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$, температурный коэффициент сопротивления $\alpha=0,4\cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Длина проволоки – l , диаметр проволоки – d , температура нити спирали – T .

№	Найти	Дано				
		$P, \text{ кВт}$	U	$d, \text{ мм}$	l	$t, ^\circ\text{C}$
0	l	1	220	0,5	-	900
1	P	-	110	0,4	6	800
2	U	1,2	-	0,6	5,5	750
3	d	1,5	230	-	6,2	820
4	t	1	220	0,4	7	-
5	l	1,1	110	0,3	-	850
6	P	-	200	0,6	5	750
7	U	1,2	-	0,5	7	850
8	d	1,3	220	-	6,5	770
9	t	1	110	0,4	5,8	-

5.7. Источник тока с ЭДС \mathcal{E} и сопротивлением r имеет ток короткого замыкания I_m . Максимальная полезная мощность, которая может быть получена от него, равна N_m при токе I_0 . При внешнем сопротивлении R идет ток I , и напряжение на зажимах источника равно U , КПД источника при этом – η .

№	Найти	Дано							
		\mathcal{E}	r	N_m	I_m	I_0	R	I	η
0	$\mathcal{E}; I_m$	-	2	-	-	-	4	2	-
1	$r; U$	-	-	18	4	-	10	-	-
2	$N_m; I_m$	-	-	-	-	-	12	2	0,8
3	$I_m; U$	12	-	24	-	-	7,5	-	-
4	$I_0; N_m$	18	-	-	-	-	4	3	-
5	$R; I_m$	-	4	36	-	-	-	2	-
6	$I; \mathcal{E}$	-	-	18	-	6	2,5	-	-
7	$U; N_m$	24	-	-	-	-	8	-	0,8
8	$\eta; r$	-	-	18	-	3	6	-	-
9	$U; I_0$	-	-	40	-	-	12	-	0,75

5.8. При внешнем сопротивлении R_1 ток в цепи – I_1 , при внешнем сопротивлении R_2 ток в цепи – I_2 . В первом случае во внешней цепи развивается мощность P_1 , во втором – P_2 . ЭДС источника тока – \mathcal{E} , внутреннее сопротивление – r , ток короткого замыкания – $I_{кз}$.

№	Найт и	Дано								
		$I_{кз}$	I_1	I_2	R_1	R_2	P_1	P_2	\mathcal{E}	r
0	$I_{кз}$	-	4	2	50	110	-	-	-	-
1	r	1,2	3	4	60	100	-	-	-	-
2	\mathcal{E}	-	3,5	2	-	-	10	8	-	-
3	$I_{кз}$	-	-	-	40	-	14	-	7	0,5
4	r	-	-	4	-	-	-	12	4	-
5	$I_{кз}$	-	-	5	-	-	-	13	3	0,2
6	r	-	2	3,5			12	15	-	-
7	\mathcal{E}	-	3	2,5	-	-	11	7	-	-
8	r	-	1	-	-	-	12	-	6	-
9	$I_{кз}$	-	1,5	-	40	-	-	-	-	0,7

5.9. При силе тока I и напряжении на зажимах источника U он отдает во внешнюю цепь с сопротивлением R полезную мощность N , его полная мощность при этом – $N_{\mathcal{E}}$. ЭДС источника – \mathcal{E} , внутреннее сопротивление – r . Максимальная полезная мощность источника - N_m . Ток короткого замыкания – I_m .

№	Найти	Дано									
		U	I	R	\mathcal{E}	r	$N_{\mathcal{E}}$	N	N_m	I_m	η
0	$\mathcal{E}; N_m$	-	-	4	-	1	-	16	-	-	-
1	$U; I_m$	-	2	-	-	-	15	-	-	-	0,8
2	$R; N_m$	12	-	-	-	4	-	-	-	-	0,75
3	$\mathcal{E}; r$	-	-	6	-	-	40	24	-	-	-
4	$N; N_{\mathcal{E}}$	-	6	-	-	2,5	-	-	40	-	-
5	$U; I$	-	-	-	10	-	-	10	-	5	-
6	$N_m; I_m$	12	-	3	-	-	64	-	-	-	-
7	$N; I$	-	-	-	-	2	-	-	-	5	0,8
8	$N; N_m$	20	-	-	-	-	-	-	-	5	0,8

9	$N; U$	-	-	7,5	20	-	-	-	40	-	-
---	--------	---	---	-----	----	---	---	---	----	---	---

5.10. Сила тока I в проводнике с сопротивлением R изменяется по линейному закону $I=I_0 + k \cdot t$. За время t_1 от начала выделилось количество теплоты Q_1 , и ток стал равен I_1 .

№	Найти	Дано					
		I_0	I_1	R	t_1	Q_1	k
0	I_1	2	-	10	3	60	-
1	Q_1	4	6	20	2	-	-
2	k	1	-	20	3	120	-
3	I_0	-	0	5	6	150	-
4	I_1	1	-	40	5	800	-
5	t_1	0	6	10	-	720	-
6	Q_1	2	-	10	4	-	0,5
7	R	2	6	-	4	800	-
8	Q_1	5	0	20	6	-	-
9	I_0	-	0	2	5	500	-

ЗАДАНИЕ ПО ТЕМЕ 6

На схеме (рис. 9) $R_1=R_2=R_4=200$ Ом, $R_3=300$ Ом, $R_5=100$ Ом, $R_6 = 400$ Ом, ЭДС батареи $\mathcal{E} = 100$ В, внутреннее сопротивление $r=50$ Ом. Между точками, указанными в табл. (с. 40), включены вольтметр (первая пара точек) с сопротивлением 1000 Ом и сопротивление $R_7 = 500$ Ом (вторая пара точек). Найти показания вольтметра, ток через сопротивление R_7 и мощность, выделяемую на сопротивлении R_5 . Первая цифра варианта указывает номер столбца, вторая – номер строки.

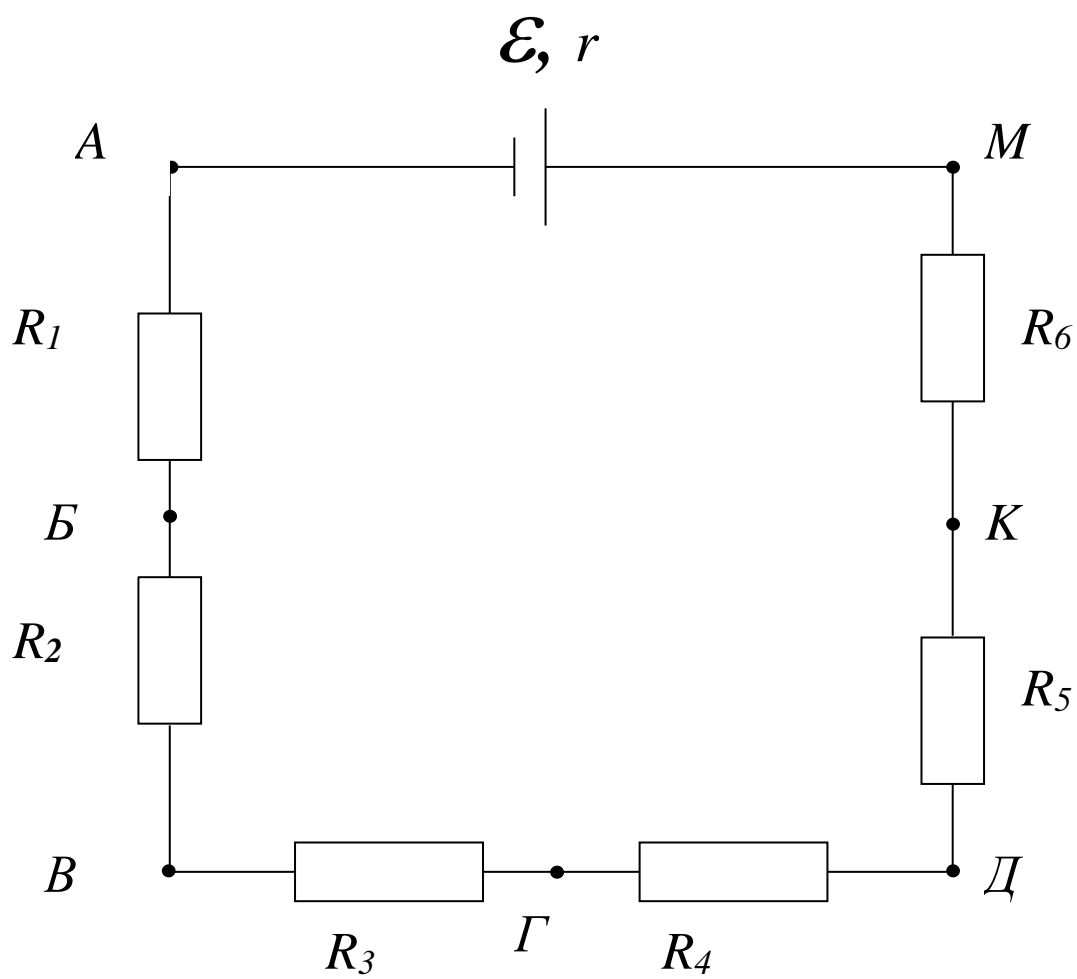


Рис. 9

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	АБ АМ	АГ АВ	АВ АД	АГ ГД	ВК ВД	АГ ДМ	АБ БД	АГ АК	ВК БА	ГМ АМ
1	АД АВ	БГ АБ	БД АД	ДМ АВ	АД ДМ	БД АМ	АД АК	АБ АБ	АГ АМ	АБ АВ
2	АБ АГ	АГ АБ	АК АВ	ВМ ВД	АБ БГ	ГМ МК	АБ БК	ДМ ВМ	ВК АБ	ВК АВ
3	ВК ВГ	АД АМ	ВК ВК	БД БВ	МК ГК	АД ДК	БК АМ	ГМ ГК	БК АК	АМ АК
4	БК БВ	АК АБ	ВМ КМ	АБ БВ	АГ ГК	БГ АГ	АД АГ	ВГ АД	АГ БВ	БГ АМ
5	БГ ГД	МК ГД	БМ ВД	ДМ АБ	АБ АК	БМ БВ	МК ВМ	ДМ АМ	АК АД	ГК ДМ
6	ДМ БМ	БК БК	ДМ АД	АГ АД	АК АГ	ГМ ДМ	АБ ВМ	АК АМ	АВ ВД	АМ АБ
7	АМ АВ	АВ ГК	АМ АД	ВК АМ	АМ АМ	БК АБ	ВК АК	ГМ ДК	ВМ ВК	ВМ БВ
8	ВМ ГК	АВ АМ	БГ ГК	ДМ КД	БК БД	МК ВК	АМ АГ	БК БГ	БД ГД	ГК ВГ
9	ГК ДК	АВ БВ	БГ ГМ	АК МК	АВ ГМ	БМ ГК	ГК БМ	ДМ АГ	ГК АМ	БМ ВК

Библиографический список

1. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. В 3 т. Т.2. Электричество и магнетизм.- СПб.: Лань, 2007. – 352 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3 т. Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика.- СПб.: Лань, 2008. – 500 с.
3. Трофимова Т.И., Фирсов А.В. Курс физики. Задачи и решения. – М.: Академия, 2011. – 592 с.

Содержание

Предисловие.....	3
Темы 1, 2, 3. Напряженность и потенциал электрического поля.....	4
Задание по теме 1.....	7
Задачи по теме 2	8
Задачи по теме 3	16
Тема 4. Емкость. Энергия электрического поля	23
Задачи по теме 4	25
Темы 5, 6. Законы постоянного тока	32
Задачи по теме 5	34
Задание по теме 6	41
Библиографический список	44