

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ»

Кафедра физики

Ф И З И К А

Ч.III. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Индивидуальные задания для расчетных работ

*Учебно-методическое пособие
для студентов всех факультетов*

Санкт-Петербург
2014

УДК 537 (072)

Ф 503

ББК 22.3я7

ФИЗИКА. Ч. II. Электростатика. Постоянный ток. Индивидуальные задания для расчетных работ: учебно-методическое пособие для студентов всех факультетов/ сост.: А. Л. Ашкалунин, Т.С. Маркова, В. К. Козырев, В. М. Максимов, О. В. Януш.– СПб.: СПбГТУРП, 2014. - 41 с.

Пособие содержит индивидуальные задания по разделам "Электростатика" и "Постоянный ток". Предназначено для студентов всех направлений очной и очно-заочной форм обучения.

Рецензент: профессор кафедры физики СПбГТУРП,
д-р физ.-мат. наук В. И. Лейман.

Подготовлено и рекомендовано к печати кафедрой физики Санкт-Петербургского технологического университета растительных полимеров (протокол № 2 от 17 сентября 2014 г.).

Утверждены к изданию методической комиссией факультета АСУТП СПбГТУРП (протокол № 2 от 17 сентября 2014 г.).

Рекомендованы к изданию Редакционно-издательским советом университета в качестве учебно-методического пособия.

© Санкт-Петербургский государственный
технологический университет
растительных полимеров, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Пособие содержит индивидуальные задания по шести темам. Каждый студент выполняет как правило по одной задаче по каждой теме. 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 электрическое поле. Силовой характеристикой поля является векторная величина, называемая напряженностью. *Напряженность электрического поля равна силе, действующей на единичный пробный положительный заряд q^* , помещенный в данную точку поля:*

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q^*}.$$

Выражение для напряженности электрического поля E точечного заряда q можно получить из закона Кулона: $E = \frac{F}{q^*} = \frac{qq^*}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2 q^*} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$, где r - расстояние от заряда до точки поля;

ϵ - диэлектрическая проницаемость среды, показывающая, во сколько раз среда уменьшает электрическое поле; $\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ Ф/м - электрическая постоянная, иногда удобнее использовать $k = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9$ м/Ф.

Если заряд положителен, то вектор напряженности направлен в ту же сторону, что радиус-вектор r , а при отрицательном заряде - в противоположную сторону.

Напряженность электрического поля E , создаваемая несколькими зарядами, согласно *принципу суперпозиции*, равна векторной сумме напряженностей $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots, \vec{E}_n$, создаваемых каждым зарядом в этой точке поля в отдельности.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n.$$

Сложение двух напряженностей поля изображено на рис. 1.

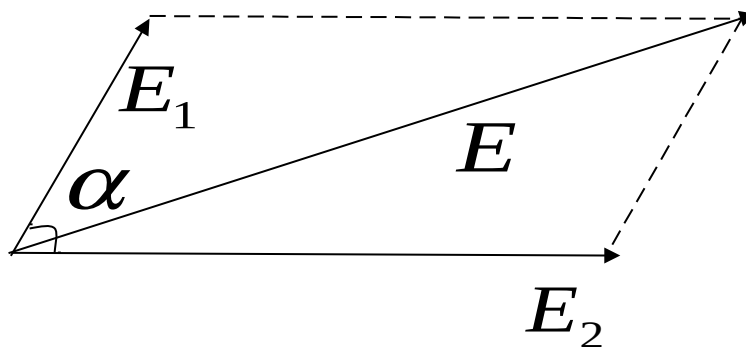


Рис.1

Абсолютное значение вектора напряженности E , в этом случае, можно найти по теореме косинусов для дополнительного угла:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha},$$

где α - угол между векторами E_1 и E_2 (рис.1).

Потенциал электростатического поля равен работе, совершаемой полем при перемещении пробного положительного единичного заряда из данной точки поля «1» на бесконечность:

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

Разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ (или напряжение U) между двумя точками «1» и «2» электрического поля определяется как работа, совершаемая полем при перемещении единичного положительного заряда из точки «1» в точку «2».

Знание потенциала позволяет находить работу, совершаемую полем. Если заряд перемещается из точки с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2 , то при этом совершается работа $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$.

Для потенциала также выполняется *принцип суперпозиции*: потенциал точки электрического поля, создаваемого несколькими зарядами, равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых каждым зарядом в отдельности в данной точке:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n.$$

Потенциальная энергия точечного заряда в электрическом поле

$W_p = q \cdot \varphi$, где φ - потенциал точки поля в которой находится заряд. Потенциальная энергия взаимодействия системы точечных зарядов

$$W_p = \frac{1}{2} \sum q_i \varphi_i.$$

Здесь φ_i – потенциал, создаваемый всеми остальными зарядами в точке нахождения заряда q_i .

Зная напряженность поля, можно найти потенциал

$$\varphi = \int_{(1)}^{\infty} E_l dl.$$

Наоборот, по известному закону распределения потенциала можно найти напряженность поля: вектор напряженности всегда направлен перпендикулярно к эквипотенциальной поверхности в сторону уменьшения потенциала и равен изменению потенциала на единицу длины в этом направлении: $E = \partial \varphi / \partial n$.

Проекция напряженности поля на любое направление

$$E_l = -\partial \varphi / \partial l.$$

Потенциал поля точечного заряда $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$, где r - расстояние от заряда до точки, в которой вычисляется потенциал.

Для тел правильной формы известны формулы напряженности. Напряженность поля заряженной бесконечной плоскости с поверхностной плотностью заряда $\sigma = q/S$, : $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon}$.

Напряженность поля внутри плоского конденсатора $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon}$.

Напряженность поля заряженной сферы радиуса R :

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}, \quad \text{при } r > R \text{ и } E = 0, \text{ при } r < R.$$

Потенциал поля заряженной сферы радиуса R :

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}, \text{ при } r > R, \text{ и } \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R} \text{ при } r < R.$$

Поток N вектора напряженности электрического поля сквозь поверхность S - : $N = \int E_n dS$, где E_n - проекция вектора E на направление нормали к площадке dS .

Индукция электрического поля $D = \epsilon\epsilon_0 E$. Линии индукции непрерывны на границе диэлектриков. Поток вектора индукции определяется аналогично потоку напряженности. Непрерывность линий индукции отражена в теореме Гаусса.

Теорема Гаусса-Остроградского: *поток вектора электрической индукции через произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме электрических зарядов, охватываемых этой поверхностью*

$$\int D_n dS = \sum q_i .$$

ЗАДАНИЕ ПО ТЕМЕ 1

Два точечных заряда q_1 и q_2 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 E_1, E_2 и 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 (номер условия) соответствует номеру строки данных из табл.1, вторая цифра (номер задачи) – номеру 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 , потенциал его поверхности - φ_1 , 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	$E_1; q; \varphi$	15	0,2	-	-	-	-	-	-	2
1	$\varphi_1; \sigma; E_1$	-	0,04	-	-	0,2	-	23	-	1
2	$E_A; E_1; \varphi_A$	-	0,1	300	-	0,2	-	-	-	1
3	$F_A; \varphi_A; E_1$	8.0	0,09	-	30	1	-	-	-	8
4	$R; E_A; \varphi_1;$	-	-	120	-	0,2	-	-	60	1
5	$R; \sigma; \varphi_1$	-	-	75	-	0,5	-	0,45	-	1
6	$\sigma; \varphi_A; E_1$	-	0,12	-	50	1	5	-	-	1

7	$F_A; \varphi_1; E_1$	0,2	0,2	-	8	2	-	-	-	2
8	$E_A; E_1; \varphi_1$	16	0,1	-	-	0,4	-	-	-	2
9	$\varepsilon; q; \varphi_1$	6,5	0,15	-	-	2	25	-	-	-

2.3. Два полых металлических шара радиусами R_1 и R_2 расположены концентрично. Заряды шаров - q_1 и q_2 . Потенциалы точек А, В и С равны $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$, напряженность электрического поля в этих точках - E_A, E_B, E_C . Расстояние точек от центра шаров - r_A, r_B, r_C .

Заряды даны в нКл, расстояния и радиусы – в см.

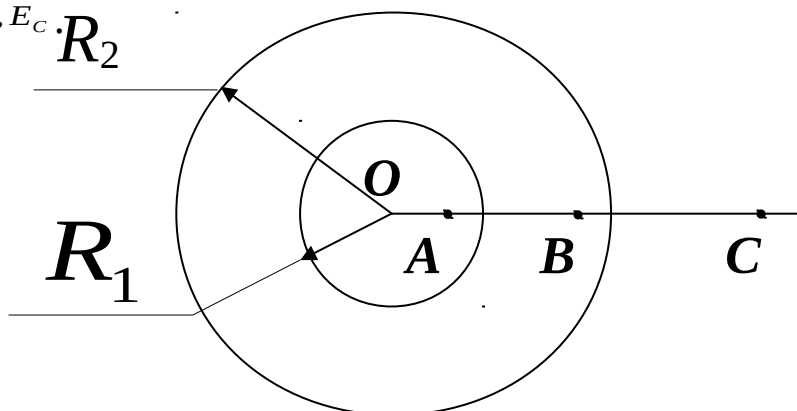


Рис. 2

№	Найти	Дано									
		q_1	q_2	R_1	R_2	r_A	r_B	r_C	E_C	φ_A	φ_B
0	$\varphi_A; \varphi_C;$ $E_B; E_C$	90	-6	2	5	1	3	7	-	-	-
1	$q_2; \varphi_A;$ $\varphi_C; \varphi_B$	0,3 3	-	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 дм², 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	$\epsilon; q_2$	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 поверхностными плотностями 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	$\epsilon; U$	-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 кВ/м, плотность заряда - в нКл/м².

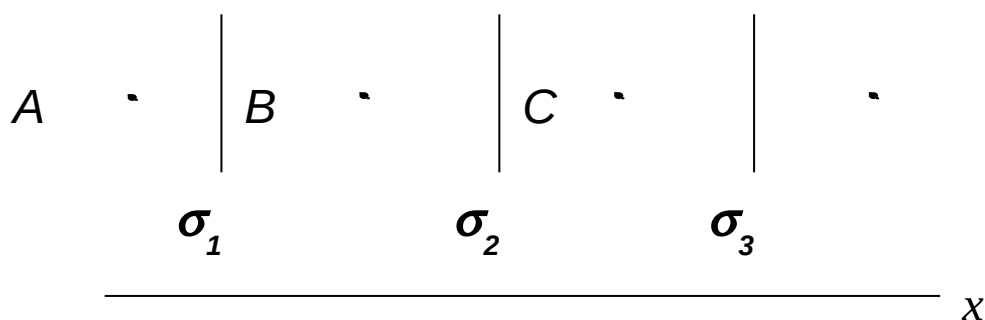


Рис. 3

№	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 с 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 индукции 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 воздушного конденсатора с расстоянием между пластинами d (мм) находится заряженная частица с зарядом q (нКл) и массой m (мкг). При отсутствии напряжения частица падает равномерно со скоростью v_0 . При напряжении U_1 частица падает со скоростью v_1 , а при U_2 -

со скоростью v_2 . Сила сопротивления пропорциональна скорости. Напряжение отсчитывается от верхней пластины.

№	Найти	Дано							
		m	q	v_0	v_1	v_2	U_1	U_2	d
0	v_1, U_2	1,5	0,1	0,25	-	0	100	-	2,0
1	q, v_2	2,0	-	0,5	0,2	-	200	400	3,0
2	m, v_0	-	0,2	-	0,1	-0,3	150	300	1,5
3	U_1, U_2	0,8	0,15	0,2	0,1	-0,1	-	-	2,0
4	d, v_2	1,2	0,25	0,3	0	-	200	100	-
5	U_1, U_2	2,0	0,3	0,25	-0,2	0,1	-	-	2,0
6	m, U_2	-	0,25	0,4	0,3	0	200	-	2,5
7	v_0, U_2	3,0	0,5	-	-0,2	0,1	300	-	2,0
8	v_1, v_2	2,0	0,35	0,25	-	-	70	250	2,5
9	q, v_0	2,5	-	-	0,3	0,1	100	200	2,0

ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ 3

3.1. Два иона двигаются вдоль одной прямой со скоростями v_1 и v_2 Мм/с на расстоянии r_{12} Å (ангстрем) между ними. Найти минимальное расстояние при их сближении. Кинетическая энергия ионов W_1 и W_2 эВ. Если дана кинетическая энергия, то скорость иона считать положительной.

№	Дано						
	Ион 1	Ион 2	v_1	v_2	W_1	W_2	r_{12}
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 массой 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. Шарик массой m с положительным зарядом q , на расстоянии r от точечного заряда движется со скоростью v по направлению к нему. Минимальное расстояние, на которое он может приблизиться к положительному точечному заряду q_0 , равно a . Заряды даны в мкКл.

№	Найти						
		$m, \text{ г}$	r	$q,$	$q_0,$	v	a
0	a	2	0,8	2	10	20	-
1	q_0	1	1,0	3	-	10	0,2
2	q	1	5,0	-	20	15	0,1
3	a	1,5	2,0	3	25	10	-
4	v	1	0,5	4	15	-	0,2
5	m	-	1,0	2	20	15	0,3
6	q_0	0,5	10	5	-	20	0,25
7	v	1,5	3,0	2	5	-	0,05
8	r	1	-	3	10	5	0,2
9	q	1	0.5	-	15	25	0,20

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.

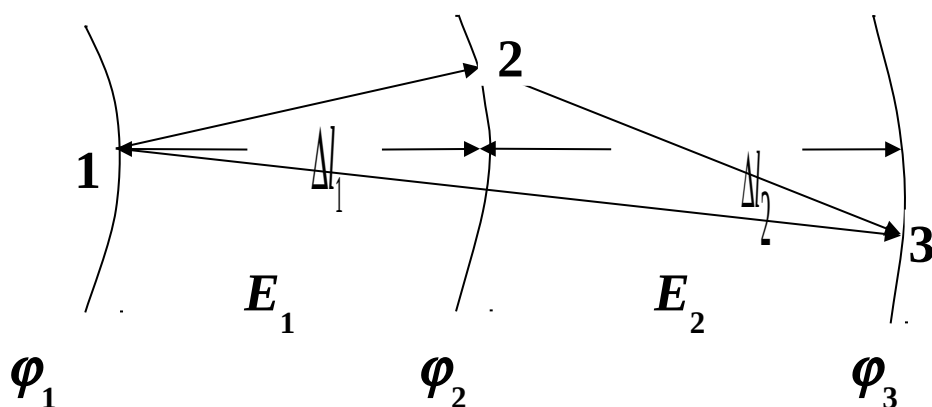


Рис. 4

№	Найти										
		q	φ_1	φ_2	φ_3	A_{12}	A_{23}	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 на 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. Заряженный металлический шар радиусом R_1 окружен заряженной сферой из металлической сетки радиусом R_2 . С поверхности шара перпендикулярно к ней вылетает электрон со скоростью v_0 . Потенциалы шара и сферы равны $\varphi_{\text{ш}}$ и $\varphi_{\text{сф}}$. Найти скорость электрона на расстоянии r от центра шара и максимальное расстояние, на которое он может удалиться от центра. Электрон свободно пролетает сквозь сферу.

№	Дано					
	$v_0, \text{Мм/с}$	R_1	R_2	$\varphi_{\text{ш}}$	$\varphi_{\text{сф}}$	r
0	8,0	0,1	0,2	300	250	0,15
1	6,0	0,15	0,25	200	150	0,3
2	3,0	0,2	0,5	150	70	0,3
3	10,0	0,3	0,5	500	300	0,4
4	9,0	0,15	0,4	300	200	0,5
5	4,0	0,1	0,3	200	100	0,2
6	5,0	0,05	0,2	450	400	0,1
7	7,0	0,15	0,45	400	200	0,25
8	12,0	0,2	0,4	600	300	0,3
9	9,0	0,3	0,5	300	200	0,45

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).

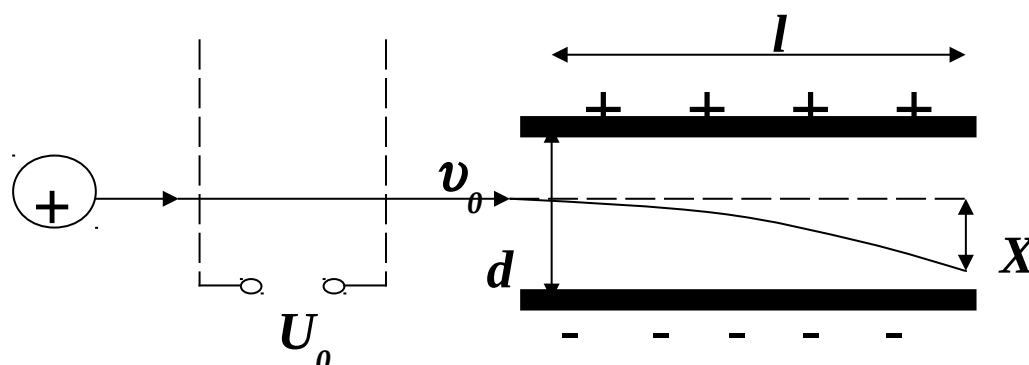


Рис. 5

№	Найти	Дано						
		Ион	U_0 , кВ	v_0 , Мм/с	U	d , см	l , см	X , мм
0	$X; v_0$	He ⁺⁺	10	-	20	2	10	-
1	$U; U_0$	H ⁺	-	1,0	-	3	12	2,5
2	$d; v_0$	Li ⁺	15	-	30	-	10	1,5
3	$l; U_0$	K ⁺	-	0,5	40	2	-	2,0
4	$v_0; U$	H ⁺	10	-	-	2	20	8,0
5	$U_0; X$	Mg ⁺⁺	-	0,5	50	3	15	-
6	$v_0; l$	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	$U; v_0$	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 - v_1 , а в точке с координатой y_2 равна v_2 .

		Дано
--	--	------

№	Найти	Q	a	m	q	y_1	v_1	y_2	v_2
0	v_2	2,0	0,1	20	1,5	0,0	0,01	0,1	-
1	v_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	30	2,0	0,07	2,0	0,2	5,0
6	q	1,2	0,1	60	2,5	0,15	3,0	0,3	10,0
7	v_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

Емкость проводника - это заряд, который нужно сообщить ему, чтобы увеличить его потенциал на единицу:

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

Емкость C уединенной металлической сферы радиуса R , находящейся в бесконечной среде с диэлектрической проницаемостью ϵ :

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R.$$

Емкость C плоского конденсатора, площадь каждой пластины которого - S , а расстояние между ними - d :

$$C = \epsilon\epsilon_0 \frac{S}{d},$$

где ϵ - диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами. Если плоский конденсатор содержит несколько слоев диэлектрика, то при решении задач следует учитывать, что индукция электрического поля в этом случае не зависит от наличия диэлектриков и одинакова во всех слоях.

При *параллельном* соединении конденсаторов, при котором соединяются одноименно заряженные обкладки, общая емкость $C = \sum_{i=1}^n C_i$, где C_i - емкость i -го конденсатора.

При *последовательном* соединении конденсаторов общая емкость

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}.$$

Энергия заряженного уединенного проводника

$$W = \frac{q\varphi}{2},$$

где q , φ и C - заряд, потенциал и емкость проводника. Эта же формула справедлива для конденсатора, если потенциал заменить напряжением U между обкладками.

Объемная плотность энергии электрического поля

$$\omega = \frac{\Delta W}{\Delta V} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2}, \quad \text{где } \Delta V - \text{объем.}$$

ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ 4

4.1. Конденсатор с двухслойным диэлектриком емкостью C заряжен до напряжения U . Напряженности 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 $\mu Kл/м^2$, 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. Параллельно обкладкам плоского воздушного конденсатора вставлена вплотную к одной из них металлическая пластина толщиной d_0 . При удалении пластины емкость конденсатора уменьшилась на ΔC и совершена работа A . Площадь обкладок конденсатора и пластины - S , расстояние между обкладками - d . Конденсатор заряжен до напряжения U и отключен от батареи. Расстояние и толщина даны в мм, площадь - в см^2 , работа - в мкДж, ΔC - в пФ.

№	Найти	Дано					
		d_0	ΔC	A	S	d	U
0	d_0	-	6,6	0,45	225	2,6	400
1	ΔC	1	-	0,4	-	4	300
2	A	2	8	-	-	9	600
3	S	-	4,4	0,3	-	6	400
4	d	2	6	0,16	-	-	300
5	U	1	4,4	0,3	150	-	-
6	d_0	-	4,4	0,2	-	6	260
7	A	2	6	-	200	-	450
8	S	2	4,5	0,3	-	-	400
9	U	-	4,0	0,3	150	6	-

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 равна 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 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	-	00-	4	120	-	40	-

4.5. При удалении диэлектрика из плоского конденсатора, подключенного к источнику тока, совершается работа A . Емкость конденсатора - C , расстояние между пластинами - d , их площадь - S . Диэлектрическая проницаемость диэлектрика - ε . Вначале заряд конденсатора - q , напряжение - U , энергия конденсатора - W_1 . После удаления диэлектрика его энергия - W_2 . При решении необходимо учитывать работу источника тока при изменении заряда конденсатора.

№	Найти	Дано							
		d , мм	S , см ²	C , пФ	ε	q , нКл	W_1 , мкДж	U	A , мкДж
0	A, q	-	-	200	3	-	30		-
1	S, U	0,5	-	-	2	30	-	-	1,3
2	C, W_2	-	-	-	4	-	-	200	3
3	ε, W_1	0,25	80	-	-	-	-	300	30
4	q, C	-	-	-	6	-	-	140	5
5	W_1, U	-		125	7	-	-	-	10
6	A, q	0,4	80	-	3	-	-	200	-
7	C, W_2	-	-	-	2,5	-	-	140	20
8	A, ε	0,5	50	250	-	40	-	-	-

9	W_2	-	-	-	3	-	-	-	80
---	-------	---	---	---	---	---	---	---	----

4.6. Заряженная металлическая сфера радиуса $R_1=5$ см окружена заряженным полым металлическим шаром с радиусами поверхностей R_2 и R_3 см. Заряд и потенциал сферы - q_1 и φ_1 , полный заряд и потенциал шара - q_2 и φ_2 . Энергия системы - W_0 . При соединении сферы и шара проводником выделяется количество тепла Q . Заряды даны в нКл, потенциалы - в кВ, энергия - в мкДж.

№	Найти	Дано							
		R_2	R_3	q_1	q_2	φ_1	φ_2	W_0	Q
0	Q	8	15	5	5	-	-	-	-
1	R_2	-	20	10	0	-	-	-	5
2	Q	10	20	-	-	2,0	1,2	-	-
3	q_1, q_2	6	12	-	-	-	-	2	1
4	W_0	9	18	3	-	-	0,8	-	-
5	W_0, Q	-	-	4	6	0,4	0,5	-	-
6	R_3, R_2	-	-	4	6	-	-	3	1,5
7	W_0	8	15	-	-	2,0	1,2	-	-
8	Q, R_3	-	-	6	8	0,4	0,6	-	-
9	R_2	-	18	10	5	-	-	-	5

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 емкостями 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 напряжения на конденсаторах - U_1, U_2, U_3 , 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 емкостями C_1 и C_2 зарядили до напряжений U_1 и U_2 . 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	-	0,2	-	320	1
1	U_2	-	20	15	-	0,3	-	280	-	2
2	d_1	-	9	20	20	-	-	500	-	5
3	S_2	10	-	22,6	10	-	0,1	-	-	4
4	ΔW	20	-	15	15	-	0,3	-	480	-
5	C_2	-	-	20	10	0,25	-	810	-	0.5
6	U_1	40	-	-	10	-	0,15	-	240	0.1
7	d_2	20	-	20	15	-	-	-	1290	0.2
8	S_1	-	30	30	20	0,25	-	-	-	0.4
9	ΔW	-	20	20	9,5	0,4	-	650	-	-

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, объемные плотности энергии - ω_1, ω_2 Дж/м³. Заряд, сообщенный конденсатору - q мкКл, энергия конденсатора -

W мДж. Площадь пластин - в 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

Ток – направленное движение электрических зарядов. *Сила тока* I - это заряд, переносимый через поперечное сечение проводника за единицу времени, $I = q/t$. *Плотность тока* $j = I/S$ – это ток, протекающий через единицу площади сечения проводника. Плотность тока – вектор, направленный как ток.

Для большинства проводников выполняется закон Ома: сила тока в проводнике пропорциональна разности потенциалов U (напряжению) между концами проводника, $I = \Lambda U = \frac{U}{R}$. $\Lambda = \frac{1}{R}$ - проводимость, R - сопротивление проводника. Для проводов справедливо равенство $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$, где l - длина, S - площадь поперечного сечения провода, ρ - удельное сопротивление материала. Для металлов ρ зависит от температуры t (в °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.

Закон Ома в дифференциальной форме: плотность тока прямо пропорциональна напряженности электрического поля $\vec{j} = \lambda \vec{E}$, где $\lambda = 1/\rho$ – удельная проводимость.

Полная работа, совершаемая током на участке цепи $A = qU$, при этом всегда выделяется количество тепла $Q = I^2 R t$ (закон Джоуля-Ленца).

Замкнутая цепь всегда содержит источник тока с ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r . Закон Ома для полной цепи: сила тока в замкнутой цепи $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$, где R – внешнее сопротивление, т.е. сопротивление всех проводников, подключенных к источнику. Источник тока совершает работу $A_{\mathcal{E}} = q\mathcal{E} = I\mathcal{E}t$. Часть этой работы (полезная) расходуется во внешней цепи, остальная часть выделяется в виде тепла внутри источника. КПД источника:

$$\eta = \frac{A_{\text{полез}}}{A_{\mathcal{E}}}. \text{ Работа источника, полезная работа и КПД зависят}$$

от R и I . Полезная мощность достигает наибольшего значения, когда внешнее сопротивление равно внутреннему.

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

Для металлов классическая электронная теория дает для удельной проводимости:

$$\lambda = \frac{ne^2\tau}{2m},$$

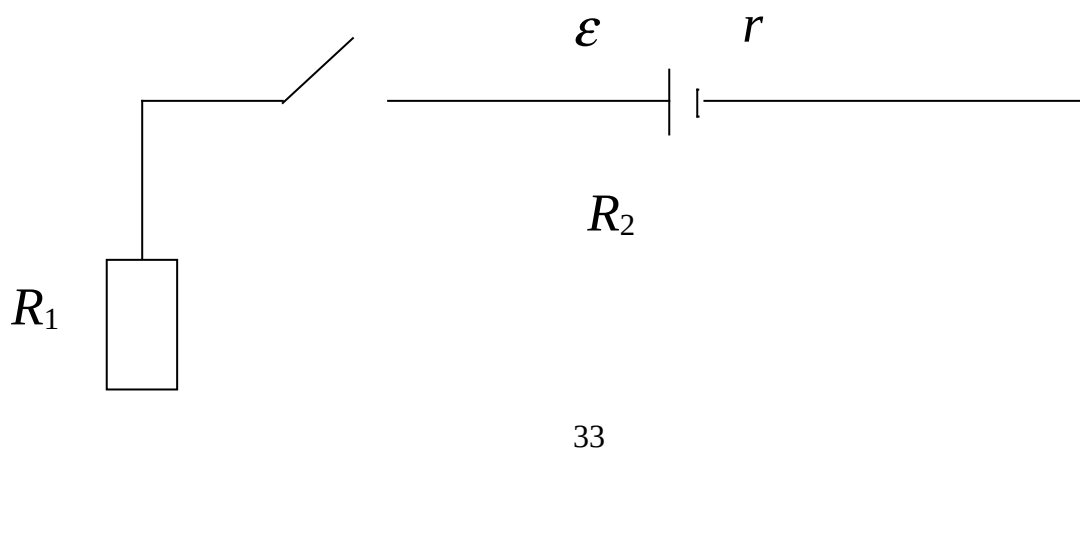
где $\tau = l/V_T$ – время свободного пробега электронов, l – длина свободного пробега, V_T – средняя скорость теплового движения электронов.

ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ 5

5.1. Электромотор работает при постоянном напряжении U . При токе I он развивает механическую мощность N . Ток и мощность зависят от нагрузки двигателя. При данном напряжении максимальный потребляемый ток равен I_m а максимальная механическая мощность - N_m . Сопротивление обмотки двигателя - R . Количество тепла, выделяемое в обмотке за единицу времени, - q .

№	Найти	Дано						
		N	U	I	R	q	N_m	I_m
0	N, N_m	-	50	1	10	-	-	-
1	U, q	80	-	2	-	-	160	8
2	N, I_m	-	60	-	12	48	-	-
3	R, I	120	60	-	-	30	-	-
4	N, U	-	-	-	10	20	160	-
5	U, N_m	200	-	2	15	-	-	-
6	N, R	-	120	-	-	20	-	6
7	N, I_m	-	-	1	25	-	100	-
8	q, N_m	100	50	2,4	-	-	-	-
9	N, q	-	-	2	-	-	250	10

5.2. Батарея аккумуляторов с ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r включена в цепь по схеме, изображенной на рис. 6, содержащей сопротивления R_1, R_2, R_3 . Амперметр показывает ток I , сопротивлением амперметра можно пренебречь.



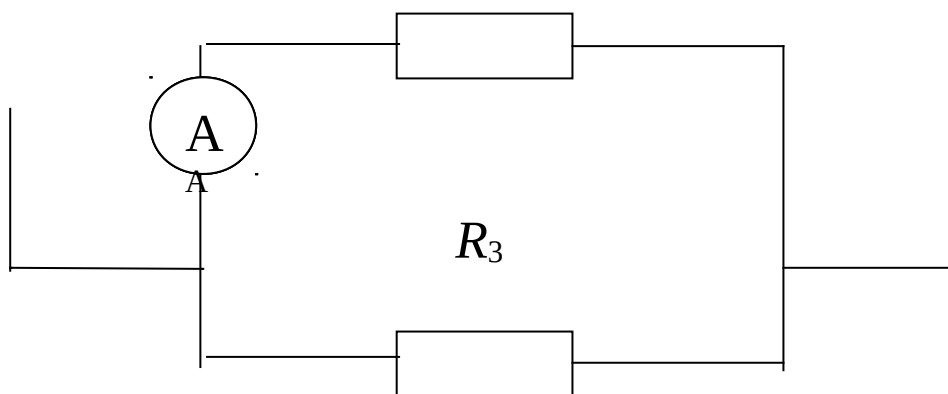


Рис. 6

№	Найти	Дано					
		$\mathcal{E}$	r	R_1	R_2	R_3	I
0	r	2,8	-	1,8	2,0	3,0	0,48
1	$\mathcal{E}$	-	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	$\mathcal{E}$	-	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 с 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

5.6. По металлическому проводу сечением S и длиной L течет ток силой I при приложенном напряжении U . При этом средняя скорость направленного движения электронов проводимости - V . Концентрация электронов проводимости $n=8 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$, средняя скорость теплового движения $V_T=110 \text{ км/с}$, длина и время свободного пробега электронов равны l и τ .

№	Найти	Дано						
		I	U	L	$S, \text{ мм}^2$	$l, \text{ нм}$	$\tau \cdot 10^{14}$	$v, \text{ мм/с}$
0	I	-	0,4	2	0,6	1,8	-	-
1	L	3	0,5	-	0,8	-	2	-
2	S	4	-	-	-	-	-	0,4
3	l	5	0,8	2,2	0,7	-	-	-
4	I	-	1,5	2,5	0,4	-	1,8	-
5	U	-	-	4	-	2,0	-	0,6
6	v, I	-	0,6	1,5	1,2	-	2,2	-
7	U, I	-	-	2	0,8	-	2,0	0,8
8	I	-	-	-	2,0	-	-	0,3
9	τ	3	0,5	1,5	0,5	-	-	-

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	$I; \varepsilon$	-	-	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. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено водородом, который частично ионизирован. Площадь пластин S , расстояние между ними d . Напряжение между пластинами U , ток, протекающий через конденсатор, I , концентрация пар однозарядных (положительных и отрицательных) ионов в газе - n . При движении на ионы действует средняя сила сопротивления пропорциональная скорости их направленного движения. Коэффициенты сопротивления для ионов $r_+ = 3 \cdot 10^{-16}$ и $r_- = 2,2 \cdot 10^{-16}$ кг/с. Скорости направленного движения ионов v_+ и v_- . Ток дан в мА.

№	Найти	Дано						
		d	S	U	I	$n \cdot 10^{-14}$	v_+	v_-
0	I	0,02	0,015	120	-	0,6	-	-
1	U, I	0,01	0,02	-	-	0,3	5,3	-
2	d	-	0,03	50	1,0	0,6	-	-
3	S	0,03	-	100	2,0	0,4	-	-
4	I	-	0,02	-	-	1,2	-	3
5	n	0,02	0,03	80	1,6	-	-	-
6	U	0,04	0,05	-	5,0	2	-	-

7	S	-	-	-	3,0	1,5	8,0	-
8	I	0,02	0,05	200	-	0,7	-	-
9	d, I	-	0,03	150	-	1,7	-	11

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_{ε} . 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_{ε}	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	$N; N_{\varepsilon}$	-	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	-	-

5.9. 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 .

		Дано
--	--	------

№	Найти	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. 7) $R_1 = R_2 = R_4 = 200 \text{ Ом}$, $R_3 = 300 \text{ Ом}$, $R_5 = 100 \text{ Ом}$, $R_6 = 400 \text{ Ом}$, ЭДС батареи $\mathcal{E} = 100 \text{ В}$, внутреннее сопротивление $r = 50 \text{ Ом}$. Между точками, указанными в табл. (с. 42), включены вольтметр (первая пара точек) с сопротивлением 1000 Ом и сопротивление $R_7 = 500 \text{ Ом}$ (вторая пара точек). Найти показания вольтметра, ток через сопротивление R_7 и мощность, выделяющуюся на сопротивлении R_5 . Первая цифра М-варианта указывает номер столбца, вторая – номер строки.

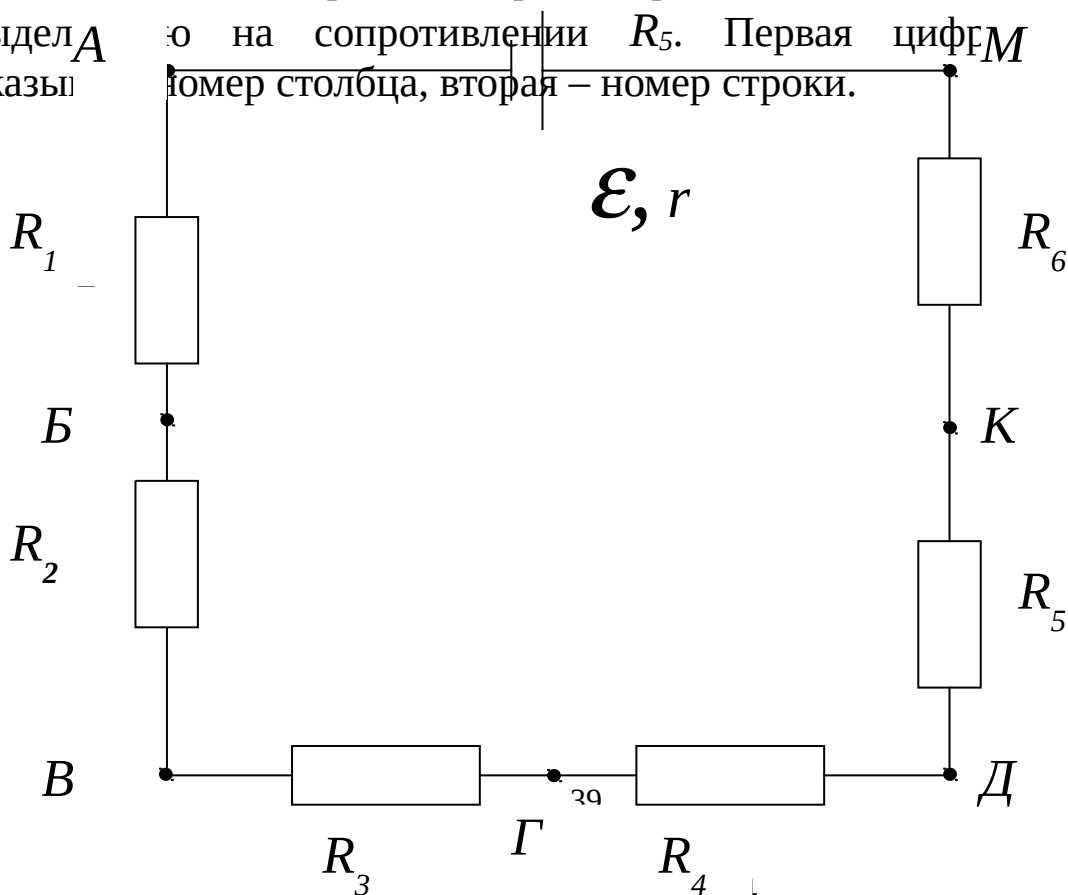


Рис.

Рис. 7

	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

Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. В 3 т. Т.2. Электричество и магнетизм.- СПб.: Лань, 2007.

Савельев И.В. Курс общей физики. В 5 т. Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика.- СПб.: Лань, 2011.

Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма.- М.: Высшая школа, 1991.

Содержание

Предисловие.....	3
Темы 1, 2, 3. Напряженность и потенциал электрического поля.....	4
Задание по теме 1.....	8
Задачи по теме 2	9
Задачи по теме 3	16
Тема 4. Емкость. Энергия электрического поля	23
Задачи по теме 4	24
Темы 5, 6. Законы постоянного тока	31
Задачи по теме 5	32
Задание по теме 6	39
Библиографический список	41

Учебное издание

ФИЗИКА
ЧАСТЬ III. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Индивидуальные задания для расчетных работ
Учебно-методическое пособие

Александр Леонидович Ашкалунин

Татьяна Сергеевна Маркова

Владимир Константинович Козырев

Владимир Михайлович Максимов

Олег Вячеславович Януш

Редактор и корректор В.А. Басова
Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2014 г., поз. 103

Подп. к печати 14.10.2014.	Формат 60x84/16.	Бумага тип. № 1.
Печать офсетная.	Объем 2,5 печ. л.;	2,5 уч.-изд. л.
Изд. № 103.	Тираж 300 экз.	Цена «С». Заказ.

Ризограф Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров, 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.