

Федеральное агентство по образованию

*Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования*

*Санкт-Петербургский государственный
технологический университет растительных полимеров*

Кафедра физики

Ф И З И К А

Электростатика. Постоянный ток

Часть III

Методические указания

и индивидуальные задания для самостоятельной работы

Для студентов всех факультетов и специальностей

Санкт-Петербург

2009

УДК 53 (075.8)

Физика. Электростатика. Постоянный ток. Часть III: методические указания и индивидуальные задания для самостоятельной работы/ сост.: В.К. Козырев, В.М. Максимов, Т.С. Маркова, Б.И. Спесивцев, О.В. Януш; под общ. ред. проф. Валова П.М., Максимова В.М.; ГОУВПО СПб ГТУ РП. СПб., 2009. 43 с.: ил.7.

Методические указания содержат индивидуальные задания для самостоятельной работы студентов по разделам “Напряженность и потенциал электрического поля”, “Электроемкость. Энергия электрического поля” и “Законы постоянного тока”. Предназначаются для студентов всех факультетов и специальностей.

Рецензент: канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики ГОУВПО СПб ГТУ РП Полянский М.Н.

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой физики ГОУВПО СПб ГТУ РП (протокол № 1 от 5 октября 2009г.).

Утверждены к изданию методической комиссией факультета промышленной энергетики ГОУВПО СПб ГТУ РП (протокол № 3 от 16 ноября 2009г.).

© ГОУВПО Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Индивидуальные задания содержат шесть тем. 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 двузначный номер, вторая цифра которого означает 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 если они не совпадают с единицами системы СИ. Стандартные приставки к наименованиям единиц: $n-10^{-12}$, $n-10^{-9}$, $мк-10^{-6}$, $м-10^{-3}$, $к-10^3$, $М-10^6$.

Задания выполняются в отдельной тетради объемом 12 листов. При защите 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 численно 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:

$$E = \frac{F}{q^*} = \frac{qq^*}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2 q^*} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} , \text{ где } r - \text{расстояние от заряда}$$

до точки поля; ϵ - диэлектрическая проницаемость среды; показывающая, во сколько раз сила взаимодействия между зарядами в среде меньше, чем в вакууме;

$\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ Ф/м - электрическая постоянная, иногда удобно 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 и радиус-вектор \vec{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:

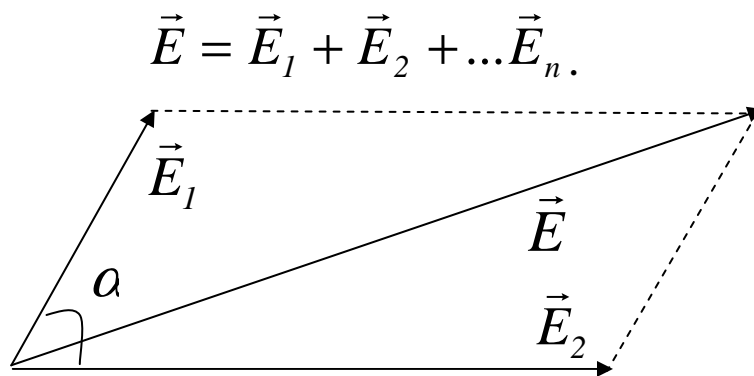


Рис.1

Абсолютное значение вектора напряженности \vec{E} , создаваемое двумя зарядами, можно найти по формуле:

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

где α - угол между векторами \vec{E}_1 и \vec{E}_2 (рис.1).

Потенциал электрического 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 по перемещению единичного положительного заряда из точки «1» в точку «2».

Если заряд перемещается из точки поля с потенциалом φ_1 в точку поля с потенциалом φ_2 , то при этом совершается работа:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

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:

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

Наоборот, по известному распределению 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 на любое направление равна:

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

Потенциал поля точечного заряда: $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$,

где r - расстояние от заряда до точки, в которой вычисляется потенциал.

Напряженность поля, заряженной бесконечной плоскости с

поверхностной плотностью заряда σ равна: $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon}$.

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

Напряженность поля заряженной сферы радиуса R равна:

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

Потенциал поля заряженной сферы радиуса R равен:

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

Поток N вектора напряженности электрического поля сквозь поверхность S равен: $N = \int \mathbf{E}_n dS$, где \mathbf{E}_n - проекция вектора \mathbf{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 сквозь произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме электрических зарядов, охватываемых этой поверхностью:

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

ЗАДАНИЕ К 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 \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 из табл.1, вторая цифра – номер строки из табл.2.

Таблица 1

\underline{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

\underline{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 К ТЕМЕ 2

2.1. Два точечных заряда q_1 и q_2 находятся в вакууме на расстоянии d друг от друга. В точке A , расположенной на прямой, соединяющей заряды, напряженность поля E равна нулю. Расстояние от точки A 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

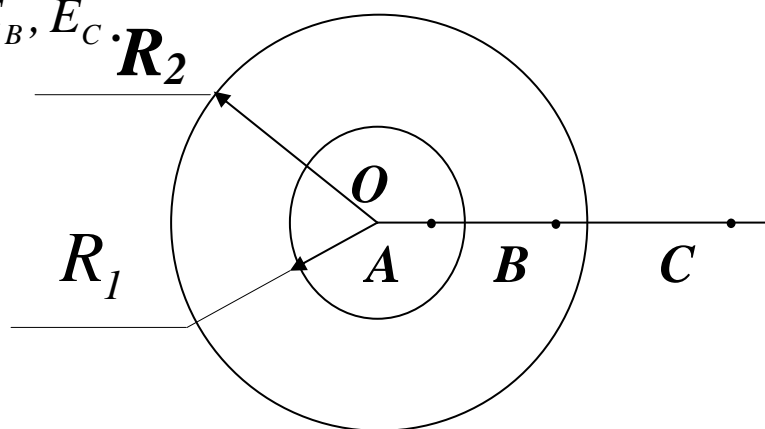
2.2. Металлическому полому шару радиуса R сообщен заряд. Поверхностная плотность заряда шара σ потенциал внутри шара φ , потенциал его поверхности φ_1 , напряженность на поверхности шара E_1 , диэлектрическая проницаемость среды ϵ . Шар действует на заряд q , помещенный в точку A на расстоянии от

центра шара r_A с силой F_A , напряженность электрического поля в точке A , 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	$\varphi_I; \sigma; E_I$	-	0,04	-	-	0,2	-	23	460	1
2	$E_A; \sigma E_I; \varphi_A$	-	0,1	300	-	0,2	-	-	-	1
3	$F_A; \varphi_I; \varphi_A; E_I$	8,0	0,09	-	30	1	-	-	-	8
4	$R; E_A; \varphi_I; \sigma$	-	-	120	-	0,2	-	-	60	1
5	$R; \sigma; \varphi_A; \varphi_I$	-	-	75	-	0,5	-	0,45	-	1
6	$\sigma \varphi_A; \varphi_I; E_I$	-	0,12	-	50	1	5	100	-	1
7	$F_A; \varphi_A; \varphi_I; E_I$	0,2	0,2	-	8	2	-	-	-	2
8	$\varphi_A; E_A; E_I; \varphi_I$	16	0,1	-	-	0,1	-	-	-	2
9	$\varepsilon; E_A; \varphi_A; \varphi_I$	6,5	0,15	-	30	2	25	-	-	-

2.3. Два полых металлических шара радиусами R_1 и R_2 расположены concentрично. Заряды шаров q_1 и q_2 . Потенциалы точек 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 шаров 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	$\varphi; \varphi_C; E_B; E_C$	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	$q_1; E_B; \varphi_C$	-	-	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	-	10	-	-	-	100	-120	60

2.4. 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. Сила натяжения нити F мН, угол между плоскостью и нитью α .

№	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

2.5. 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 у F - сила притяжения). Диэлектрическая проницаемость среды ϵ . В таблице заряды даны в нКл, напряженности поля в кВ/м, сила мкН, площадь пластин 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	$\epsilon; q_2$	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

2.6. 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 дм^2 .

№	Найти	Дано								
		Q_1	Q_2	S	φ_1	φ_2	F	ε	U	d
0	$F; U$	4	-2	4	-	-	-	1	-	3
1	$Q_2; \varphi_1$	2	-	3	-	-	3	2	-	-
2	$\varepsilon; U$	-2	+3	2	-	-	13	-	-	-
3	$Q_1; U$	-	-	2	-	-	4	2	-	2
4	$F; U$	-	-	4	5	5	-	1	-	4
5	$S; U$	-	-	-	5	2	2	1	-	-
6	$U; F$	-	-	3	2	-8	-	2	-	5
7	$d; F$	-	-	2	-10	6	-	4	10	-
8	$U; \varphi_1$	-	-	1	-	-	8	1	-	2
9	$Q_1; F$	-	-	2	-3	23	-	2	10	4

2.7. 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. Между сферами имеется диэлектрик, вне сфер - вакуум. Заряды даны в нКл.

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

2.8. Три плоскопараллельные пластины расположены на малом расстоянии друг от друга, равномерно заряжены с поверхностной

плотностью σ_1 , σ_2 и σ_3 . Напряженность электрического поля в точках A , B , C , D равна E_A , E_B , E_C , E_D . Решение сопровождается графиком зависимости напряженности электрического поля E от расстояния x , отсчитываемого от первой пластины. Напряженности поля даны кВ/м, плотность заряда в нКл/м².

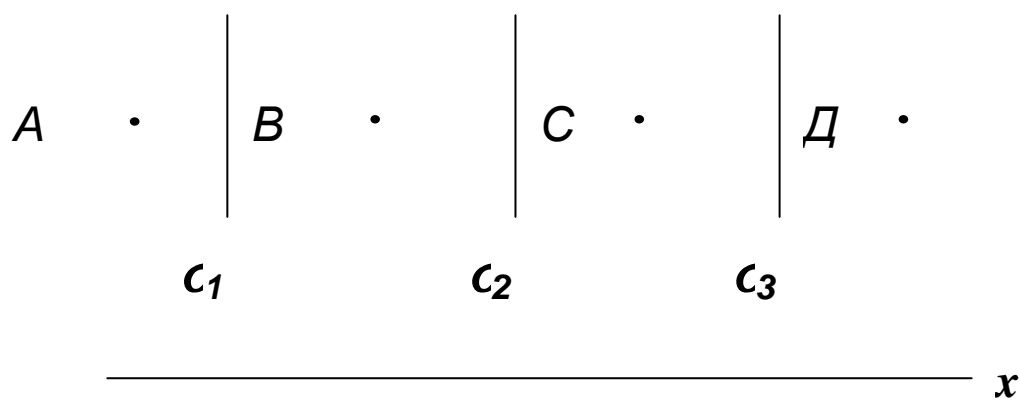


Рис.3

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

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 плоскость	4	1	3	2	-	0,5
5	Нить и плоскость	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	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.

№	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 К ТЕМЕ 3

3.1. Два иона движутся вдоль одной прямой со скоростями v_1 и v_2 Мм/с на расстоянии r_{12} между ними. Найти минимальное расстояние при их сближении. Кинетические энергии ионов W_1 и W_2 эВ. Минимальное расстояние выразить в ангстремах. 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 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. Шарик массой m , имеющий положительный заряд q , движется вдали (считать «бесконечно далеко») от точечного заряда со скоростью v . Расстояние, на которое шарик может приблизиться к положительному точечному заряду q_0 , равно r .

№	Найти	Дано				
		m г	q , мкКл	q_0 , мкКл	v	r см
0	r	2	2	10	20	-
1	q_0	1	3	-	10	20
2	q	1	-	20	15	10
3	r	1,5	3	25	10	-
4	v	1	4	15	-	20
5	m	-	2	20	15	30
6	q_0	0,5	5	-	20	25
7	v	1,5	2	5	-	5
8	r	1	3	10	5	-
9	q	1	-	15	25	20

3.4. 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					
		$T, \text{эВ}$	R	$Q, \text{нКл}$	a	r	$v \cdot 10^{-6}$
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

3.5. 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	-	-

3.6. Ионы двух элементов проходят ускоряющую разность потенциалов U_1 и U_2 . Отношение их скоростей $K = v_1/v_2$.

№	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

3.7. На рис.4 изображены небольшие участки трех близких эквипотенциальных поверхностей электрического поля.

Потенциалы поверхностей Φ_1, Φ_2, Φ_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.

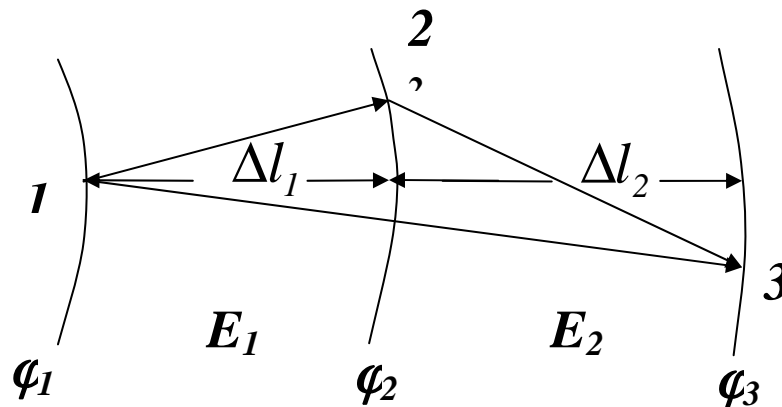


Рис.4

№	Найти	Дано										
		q	φ_1	φ_2	φ_3	A_{12}	A_{23}	A_1	E_1	E_2	Δ_1	Δ_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

3.8. Заряженный металлический шар радиусом R_1 окружен заряженной сферой из металлической сетки радиуса R_2 . С поверхности шара перпендикулярно к ней вылетает электрон со скоростью v_0 . Потенциалы шара и сферы равны $\varphi_{ш}$ и $\varphi_{сф}$. 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	$\varphi_{ш}$	$\varphi_{сф}$	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. На оси OX симметрично относительно начала координат на расстоянии a от него расположены два одинаковых точечных заряда Q (нКл). Вдоль оси OY 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 .

№	Найти	Дано							
		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

3.10. 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).

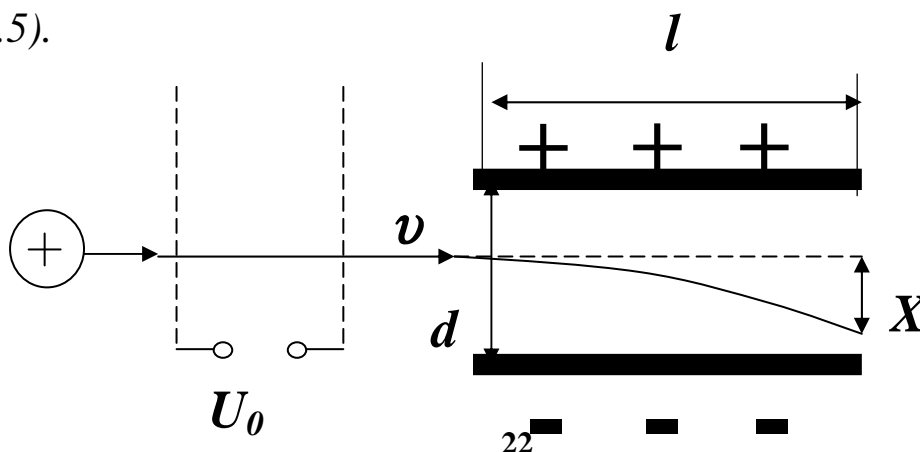


Рис. 5

№	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	-	3	12	0.25
2	$d; v_0$	Li^+	15	-	30	-	10	0.15
3	$l; U_0$	K^+	-	0.5	40	2	-	0.20
4	$v_0; U$	H^+	10	-	-	2	20	0.50
5	$U_0; X$	Mg^{++}	-	0.5	50	3	15	-
6	$v_0 ; l$	He^{++}	20	-	40	1	-	1
7	$U_0; d$	Na^+	-	0.7	100	-	12	0.20
8	$X; U_0$	Ag^{++}	-	0.8	150	2	10	-
9	$U; v_0$	Cu^{++}	30	-	-	1	20	0.15

ТЕМА 4. ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ. ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Отношение заряда q уединенного проводника к его потенциалу Φ называется емкостью (электроемкостью) данного проводника:

$$C = \frac{q}{\Phi}$$

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 диэлектрика, заполняющего 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 равна:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i, \quad \text{где } C_i - \text{емкость } i\text{-го конденсатора.}$$

При **последовательном** соединении конденсаторов общая емкость C соединенных конденсаторов:

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

Энергия заряженного уединенного проводника:

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

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

Объемная плотность энергии электрического поля:

$$\omega = \frac{\Delta W}{\Delta V} = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2}, \quad \text{где } \Delta V - \text{объем.}$$

ЗАДАЧИ К 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 , толщины диэлектриков d_1 и d_2 , их диэлектрические проницаемости ϵ_1 и ϵ_2 . Емкость дана в пФ, напряжение в кВ, напряженности поля в кВ/мм, плотность заряда в мкКл/м², площадь в см² 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 дано 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	-	4,4	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 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 .

№	Найт и	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	-	-	40
2	S	300	-	-	2	-	60	4	-	-	20
3	ε	-	1	346	-	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, площадью пластин S , расстоянием между пластинами d . Диэлектрическая проницаемость диэлектрика ε . При этом выделилось количество тепла Q . Напряжение на конденсаторах после соединения U_2 .

№	Найти	Дано						
		S	$d, \text{ мкм}$	$C, \text{ мкФ}$	U_1	$Q, \text{ мДж}$	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 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 . Заряд конденсатора в начале 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 э	U	A , мкДж	W_2 , мДж
0	A	-	-	200	3	-	30		-	-
1	S	0,5	-	-	2	30	-	-	1	-
2	C	-	-	-	4	-	-	200	2	-
3	ϵ	0,25	80	-	-	-	-	300	30	-
4	q	-	-	-	6	-	-	140	5	-
5	W_1	-		125	7	-	-	-	10	-
6	A	0,4	80	-	3	-	-	200	-	-
7	C	-	-	-	2,5	-	-	140	20	25
8	A	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 , мДж
0	R_1	-	-	-	16,7	20	-10	-	-	0,05
1	Q	-	-	5,6	11,1	40	-20	-	-	-
2	C_1	-	15	-	-	-	-	5,0	-0,6	0,05
3	φ_1	-	-	-	-	126	-10	-	-0,1	0,15
4	q_1	-	10	11,1	-	-	-10	-	-	0,15
5	R_2	-	-	5,6	-	-	-	7,2	-1,8	0,15
6	q_2	-	-	-	-	20	-	5,0	-5,0	0,1
7	φ_2	6	-	-	13,3	-	-	6,0	-	0,125
8	C_2	10	-	-	-	20	-20	-	-	0,1
9	Q	5	5	-	-	40	-7,5	-	-	-

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.

№	Найт и	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 . Толщины слоев $d_1=0,5$ и d_2 мм, диэлектрические проницаемости ϵ_1 и $\epsilon_2 = 3$. Напряженности поля в них E_1, E_2 кВ/мм, объемные плотности энергии ω, 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	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 является вектором.

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, а 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 ($^{\circ}\text{C}$) по закону $\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t)$, где ρ_0 – удельное сопротивление при 0°C .

Закон Ома в дифференциальной форме: плотность тока прямо пропорциональна напряженности электрического поля, $j = \lambda \cdot E$, где λ – удельная проводимость.

Полная работа, совершаемая током на участке цепи, $A = qU = IUt$, при этом всегда выделяется количество тепла $Q = I^2 Rt$ (**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: $\eta = \frac{A_{\text{полез}}}{A_{\mathcal{E}}}$.

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 $\mathbf{j} = n \cdot q \cdot \mathbf{v}$. Полная плотность тока равна сумме плотностей токов положительных и отрицательных носителей тока $\mathbf{j} = \mathbf{j}_+ + \mathbf{j}_-$.

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 К 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.б, содержащей сопротивления R_1, R_2, R_3 . Амперметр показывает ток I , сопротивлением амперметра можно пренебречь.

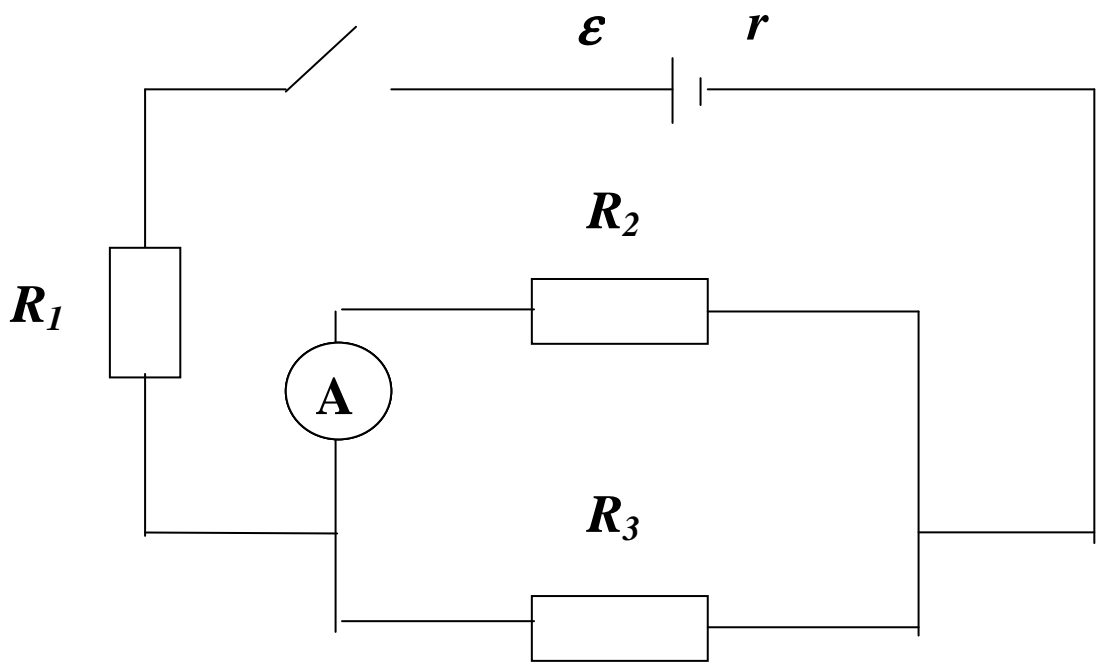


Рис. 6

№	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 , - ток I_2 . Полезные мощности при этом N_1 и N_2 , коэффициенты полезного действия η и η . Ток короткого замыкания батареи I_m .

№	Найти	Дано							
		R_1	R_2	I_1	I_2	N_1	N_2	η	η
0	$I_m; \eta$	3	1	1	2	-	-	-	-
1	$\eta; \eta$	-	-	1	3	2	2	-	-
2	$R_1; \eta$	-	5	2	1	4	-	-	-
3	$R_1; R_2$	-	-	1,6	2	-	12	-	0,75
4	$I_1; \eta$	3	1,5	-	-	-	6	-	0,75
5	$I_2; R_2$	4	-	-	-	36	-	0,5	0,9
6	$N_1; \eta$	3	1	2	3	-	-	-	-
7	$I_2; \eta$	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 длинами l_1, l_2 и сечениями S_1, S_2 соединены последовательно и по ним протекает ток I при напряжении U . Плотности тока в них j_1, j_2 , а напряженности 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, плотности 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 l и τ .

№	Найти u	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							
		ϵ	r	N_m	I_m	I_0	R	I	η
0	$\epsilon; I_m$	-	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	$I; \epsilon$	-	-	18	-	6	2,5	-	-
7	$U; N_m$	24	-	-	-	-	8	-	0,8
8	ηr	-	-	18	-	3	6	-	-
9	$U; I_0$	-	-	40	-	-	12	-	0,75

5.8. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено водородом, который частично ионизован. Площадь пластин S , расстояние между ними d . Напряжение между пластинами U , ток, протекающий через конденсатор, I , концентрация пар ионов в газе n . При движении ионов на них действует средняя сила сопротивления, пропорциональная скорости направленного движения. Коэффициенты сопротивления для ионов $r_+ = 3 \cdot 10^{-16}$ и $r_- = 2,2 \cdot 10^{-16}$. Скорости направленного движения ионов v_+ и v_- . Ток дан в мкА.

№	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. 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	-	3	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	-	10	2	5	500	-

5.10. При силе тока I и напряжении на зажимах источника U он отдает во внешнюю цепь с сопротивлением R полезную мощность N . Полная мощность источника 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	-	-

ЗАДАНИЕ К ТЕМЕ 6

В 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, выделяемую на сопротивлении R_5 . Первая цифра варианта указывает номер столбца, вторая – номер строки.

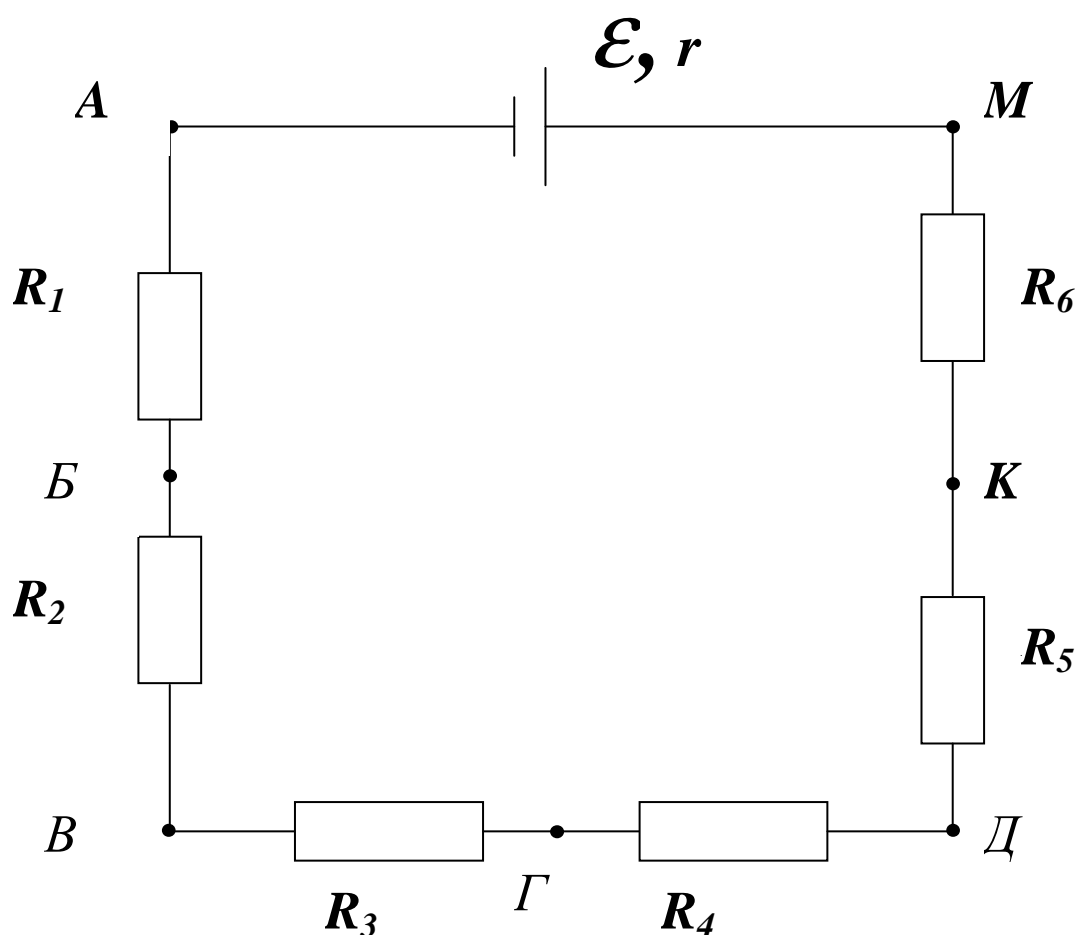


Рис. 7

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Часть II. М.: Наука, 1972.

Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма. М.: Высшая школа, 1983.

Боровой А.А., Финкельштейн Э.Б., Херувимов А.Н. Законы электромагнетизма. М.: Наука, 1970.

Бутиков Е.И., Быков А.А., Кондратьев А.С. Физика в задачах. Л.: Изд.- во ЛГУ, 1976.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Темы 1,2,3. Напряженность и потенциал электрического поля....	4
Задание к теме 1.....	8
Задачи к теме 2.....	9
Задачи к теме 3.....	16
Тема 4. Емкость. Энергия электрического поля.....	22
Задачи к теме 4.....	24
Темы 5,6. Законы постоянного тока.....	31
Задачи к теме 5.....	33
Задание к теме 6.....	39
Библиографический список.....	41

Владимир Константинович Козырев

Владимир Михайлович Максимов

Татьяна Сергеевна Маркова

Борис Иванович Спесивцев

Олег Вячеславович Януш

**ФИЗИКА
ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК
ЧАСТЬ III**

**Методические указания
и индивидуальные задания для самостоятельной работы.
Для студентов всех факультетов и специальностей.**

Редактор и корректор В.А. Басова, Т.А. Смирнова

Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2009г., поз.

Подп. к печати	2009.	Формат 60x84/16.	Бумага тип. № 1.
Печать офсетная.		Объем 2,75 печ. л.	Уч.-изд. л. 2,75.
Изд. № 138		Тираж 350 экз.	Цена «С» .
Заказ			

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