МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(Наименование факультета, структурного подразделения)

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине

«Электричество и магнетизм»

Кафедра общей физики физического факультета

Образовательная программа бакалавриата

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) программы:

Фундаментальная физика, Медицинская физика

Форма обучения:
очная

Статус дисциплины:

входит в обязательную часть

Махачкала, 2022 год

Фонд оценочных средств по дисциплине **«Электричество и магнетизм»** составлен в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриата по направлению подготовки 03.03.02 Физика

от «07» августа 2020 г. №891 (с изменениями и дополнениями от: 26 ноября 2020 г.)

Разработчик: кафедра общей физики,

Курбанисмаилов В.С., д.ф.-м.н., профессор

Фонд оценочных средств по дисциплине «Электричество и магнетизм» одобрен: на заседании кафедры от «15» марта 2022г., г., протокол № 2

И.о. зав. кафедрой Курбанисмаилов В.С.

На заседании Методической комиссии Физического факультета

от «23» марта 2022 г., протокол №7

Председатель Мурлиева Ж.Х.

Фонд оценочных средств «Электричество и магнетизм» согласован с

учебно-методическим управлением «31» марта 2022 г.

Начальник УМУ Гасангаджиева А.Г.

Рецензент (эксперт):

Зав кафедрой инженерной физики,

д.ф.-м.н., профессор С.А. Садыков

1. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине
«Электричество и магнетизм»

1.1. Основные сведения о дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет _5_ зачетных единиц (180 академических часов).

Вид работы	Трудоемкость, академических часов	
	_3__ семестр	всего
Общая трудоёмкость	**180**	**180**
Контактная работа:	**108**	
Лекции (Л)	54	54
Практические занятия (ПЗ)	54	54
Консультации		
Промежуточная аттестация (зачет, экзамен)		экзамен
Самостоятельная работа *(указать виды работ, предусмотренные рабочей программой дисциплины (практики))*: *- выполнение индивидуального творческого задания (ИТЗ);* *- выполнение расчетно-графического задания (РГЗ);* *- написание реферата (Р);* *- написание эссе (Э);* *- самостоятельное изучение разделов (перечислить);* *- самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий;* *- подготовка к практическим занятиям;* *- подготовка к коллоквиумам;* *- подготовка к рубежному контролю и т.п.)*	**72**	**72**

1.2. Требования к результатам обучения по дисциплине, формы их контроля и виды оценочных средств

ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
*по дисциплине **«Электричество и магнетизм»***

№ п/п	Контролируемые модули, разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или её части)	Оценочные средства		Способ контроля
			наименование	№№ заданий	
1	Электростатика. Постоянное электрическое поле	ОПК-1 ПК-3	Кейс - задача	Разделы 1.1., 1.2. (14 задач)	Письменно

			Расчетно-графические работы	№1-№4	Устно
			Контрольная работа	Раздел I. пп. 1.1-1.4	Письменно
2	Вещества в электрическом поле. Энергия электростатического поля	ОПК-1 ПК-3	Кейс задача	Разделы 1.3., 1.4. (15 задач)	Письменно
			Темы эссе	№1 - №7	Устно
3	Постоянный электрический ток	ОПК-1 ПК-3	Кейс - задача	Разделы 2.1., 2.2. (14 задач)	Письменно
			Первый коллоквиум	№1 - №28	Письменно, устно
			Контрольная работа	Раздел I I. пп. 2.1-2.2	Письменно
4	Электропроводность твердых, жидких и газообразных тел	ОПК-1 ПК-3	Тесты по теме	№1 - №27	Письменно, компьютерное тестирование
			Темы рефератов	№1 - №9	Письменно
5	Контактные явления в твердом теле	ОПК-1 ПК-3	Расчетно-графические работы	№5 - №8	Устно
6	Стационарное магнитное поле	ОПК-1 ПК-3	Кейс - задача	Раздел 3.1. (6 задач)	Письменно
			Темы эссе	№8 - №14	Устно
7	Магнетики	ОПК-1 ПК-3	Второй коллоквиум	№1-№28	Письменно, устно
			Контрольная работа	Раздел III. пп. 3.1-3.2	Письменно
8	Явления электромагнитной индукции. Уравнения Максвелла	ОПК-1 ПК-3	Кейс - задача	Раздел 3.2. (8 задач)	Письменно
9	Электромагнитные колебания и волны.	ОПК-1 ПК-3	Тесты по теме	№28-№54	Письменно, компьютерное тестирование
10	Переменный ток	ОПК-1 ПК-3	Третий коллоквиум	№1-№28	Письменно, устно
			Темы рефератов	№10 - №18	Письменно

1.3. Показатели и критерии определения уровня сформированности компетенций

№ п/п	Код компетенции	Уровни сформированности компетенции			
		Недостаточный	**Удовлетворительный (достаточный)**	**Базовый**	**Повышенный**
1	ОПК-1	**Знать:** Демонстрирует частичные знания с грубыми ошибками уровня применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности. **Уметь:** Демонстрирует частичные умения с грубыми ошибками применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности. **Владеть:** Демонстрирует частичные владения с грубыми ошибками применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.	**Знать:** Демонстрирует частичные знания без грубых ошибок применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук, необходимые для решения задач профессиональной деятельности. **Умеет:** Демонстрирует частичные умения без грубых ошибок выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности. **Владеет:** Навыками без грубых ошибок находить и критически анализировать информацию, выявлять естественнонаучную сущность проблем в области электричество и магнетизма, необходимые для решения задач в профессиональной деятельности.	**Знать:** Знает достаточно в базовом объёме применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности. **Уметь:** Демонстрирует базовые умения применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности. **Владеть:** Владеет базовыми приёмами применять базовые знания в области физико-математических и наук в сфере своей профессиональной деятельности.	**Знать:** Демонстрирует высокий уровень знаний в области физико-математических и (или) естественных наук, необходимые для решения задач в профессиональной деятельности. **Уметь:** Демонстрирует высокий уровень умений применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности. **Владеть:** Демонстрирует владения на высоком уровне базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук, необходимые для решения задач профессиональной деятельности.
2	ПК-3	**Знать:** Демонстрирует частичные умения с грубыми ошибками или не знает осваивать и	**Знать:** Демонстрирует частичные знания без грубых ошибок осваивать и использовать	**Знать:** Знает достаточно в базовом объёме осваивать и использовать	**Знать:** Демонстрирует высокий уровень знаний осваивать и использовать базовые научно-

		использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по предмету в профессиональной деятельности. **Уметь:** Демонстрирует частичные умения с грубыми ошибками или не знает осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по предмету в профессиональной деятельности. **Владеть:** Демонстрирует частичные владения с грубыми ошибками или не владеет осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по предмету в профессиональной деятельности.	базовые научно-теоретические знания и практические умения по предмету в профессиональной деятельности. **Уметь:** Демонстрирует частичные умения без грубых ошибок осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по предмету в профессиональ-ной деятельности. **Владеть:** Демонстрирует частичные владения без грубых ошибок осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по предмету в профессиональной деятельности.	базовые научно-теоретические знания и практические умения по предмету в профессиональной деятельности. **Уметь:** Демонстрирует базовые умения осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по предмету в профессиональной деятельности. **Владеть:** Владеет базовыми приёмами осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по предмету в профессиональной деятельности.	теоретические знания и практические умения по предмету в профессиональной деятельности. **Уметь:** Демонстрирует высокий уровень умений осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по предмету в профессиональной деятельности. **Владеть:** Демонстрирует владения на высоком уровне осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по предмету в профессиональной деятельности.

2. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ИНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОЦЕНКИ знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины «Электричество и магнетизм»

К **оценочным средствам** результатов обучения по данной дисциплине относятся:

Устный опрос (экзамен) – диалог преподавателя со студентом, цель которого – систематизация и уточнение имеющихся у студента знаний, проверка его индивидуальных возможностей усвоения материала.

Рекомендуется для оценки знаний обучающихся.

Коллоквиум – способ промежуточной проверки знаний, умений, навыков студента в середине семестра по пройденным темам изучаемого предмета. Рекомендуется для оценки знаний обучающихся.

Тесты – инструмент, с помощью которого педагог оценивает степень достижения студентом требуемых знаний, умений, навыков. Составление теста включает в себя создание выверенной системы вопросов, собственно процедуру проведения тестирования и способ измерения полученных результатов.

Рекомендуется для оценки знаний и умений студентов.

Контрольная работа – средство промежуточного контроля остаточных знаний и умений, обычно состоящее из нескольких вопросов или заданий, которые студент должен решить, выполнить.

Рекомендуется для оценки знаний и умений студентов.

Проектная деятельность – воплощение имеющегося замысла, идеи, образа решения какой-либо проблемы в подходящей для этого форме (описание, обоснование, расчеты, чертежи).

Рекомендуется для оценки умений и владений студентов.

Презентация – представление студентом наработанной информации по заданной тематике в виде набора слайдов и спецэффектов, подготовленных в выбранной программе.

Кейс-задача – проблемное задание, в котором обучающемуся предлагают осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию, необходимую для решения данной проблемы. Студент самостоятельно формулирует цель, находит и собирает информацию, анализирует ее, выдвигает гипотезы, ищет варианты решения проблемы, формулирует выводы, обосновывает оптимальное решение ситуации.

Рекомендуется для оценки знаний, умений и владений, а также отдельных дисциплинарных компетенций студентов.

Реферат – продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемого вопроса, приводит различные точки зрения, а также собственное понимание проблемы.

Рекомендуется для оценки знаний и умений студентов.

Кейс-задача

Раздел I. Электростатика

1.1. Постоянное электростатическое поле. Закон Кулона

Задача 1. Найти силу F притяжения между ядром атома водорода и электроном. Радиус атома водорода $r = 0{,}5 \cdot 10^{-10}$м; заряд ядра равен по модулю и противоположен по знаку заряду электрона. (Ответ: $F = 92{,}3 \cdot 10^{-9}$Н).

Задача 2. Во сколько раз сила кулоновского отталкивания двух электронов больше их гравитационного притяжения? (Ответ: $\frac{F_{\text{кул}}}{F_{\text{грав}}} = 26 \cdot 10^{42}$).

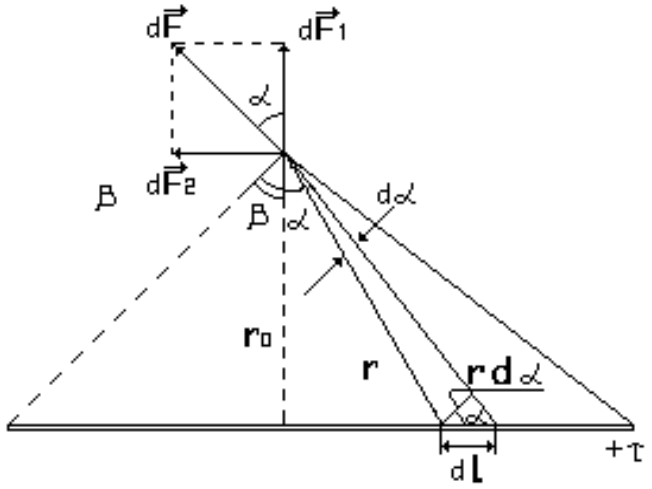
Задача 3. Два точечных заряда, находясь в воздухе ($\varepsilon = 1$) на расстоянии $r_1 = 20$ см друг от друга, взаимодействуют с некоторой силой. На каком расстоянии r_2 нужно поместить эти заряды в масле, чтобы получить ту же силу взаимодействия? Диэлектрическая проницаемость масла $\varepsilon_2 = 5$. (Ответ: $r_2 = 8{,}94 \cdot 10^{-2}$ м).

Задача 4. В центр квадрата, в каждой вершине которого находится заряд $q = 2{,}33$ нКл, помещен отрицательный заряд q_0. Найти этот заряд, если на каждый заряд q действует результирующая сила $F = 0$. (Ответ: $|q_0| = \frac{q}{4}\left(1 + 2\sqrt{2}\right) = 0{,}95q;\ q_0 = -2{,}23 \cdot 10^{-9}$ Кл).

Задача 5. Тонкий стержень длиной $\ell = 30$ см несет равномерно распределенный по длине заряд с линейной плотностью $\tau = 1$ мкКл/м. На расстоянии $r_0 = 20$ см от стержня находится заряд $q_1 = 10$ нКл. Заряд равноудален от концов стержня. Определить силу F взаимодействия точечного заряда с заряженным стержнем.

Решение

Физическая система состоит из точечного и линейно распределенного заряда стержня. Для решения задачи применим метод ДИ (дифференцирования и интегрирования). Для этого разделим стержень на столь малые элементы dl, чтобы заряд $dq = \tau \cdot dl$ можно было рассматривать как точечный. Тогда сила взаимодействия между зарядами q_1 и dq может быть определена по закону Кулона



$$dF = \frac{q_1 \tau \cdot dl}{r^2}, \quad (1)$$

где r – расстояние от выделенного элемента до заряда q_1. Из рисунка следует, что

$$r = \frac{r_0}{\cos\alpha} \quad \text{и} \quad dl = \frac{r d\alpha}{\cos\alpha}.$$

Подставив эти выражения в (1), получим

$$dF = \frac{q_1 \tau \cdot d\alpha}{4\pi\varepsilon_0 r_0}. \quad (2)$$

Далее разложим силу dF на нормальную $d\vec{F}_1$ и тангенциальную $d\vec{F}_2$ составляющие. С учетом выражения (2) из рисунка следует, что

$$dF_1 = dF\cos\alpha = \frac{q_1 \tau \cos\alpha \cdot d\alpha}{4\pi\varepsilon_0 r_0};$$

$$dF_2 = dF\sin\alpha = \frac{q_1 \tau \sin\alpha \cdot d\alpha}{4\pi\varepsilon_0 r_0}. \quad (3)$$

Очевидно, что для нахождения силы необходимо проинтегрировать последние выражения (3). Поскольку положение выделенного заряда на стержне определяется углом α, этот угол и следует взять в качестве переменной

интегрирования.

Из рисунка видно, что угол меняется в пределах от $-\beta$ до $+\beta$. С учетом этого получим

$$F_1 = \int_{-\beta}^{+\beta} \frac{kq_1\tau}{r_0} \cdot cos\,\alpha \cdot d\alpha = \frac{kq_1\tau}{r_0} \cdot sin\,\beta. \quad (4)$$

В силу симметрии расположение заряда q_1 относительно стержня интегрирование второго выражения дает ноль:

$$F_1 = \int_{-\beta}^{+\beta} \frac{kq_1\tau}{r_0} \cdot sin\,\alpha \cdot d\alpha = \frac{kq_1\tau}{r_0} \cdot (cos\,\beta - cos\,\beta) = 0.$$

Таким образом, сила, действующая на заряд q_1, будет определяться выражением (4)

$$F = F_1 = \frac{kq_1\tau}{r_0} \cdot sin\,\beta. \quad (5)$$

Из рисунка видно, что

$$sin\,\beta = \frac{1}{2\sqrt{r_0^2 + l^2/4}} = \frac{1}{\sqrt{4r_0^2 + l^2}}. \quad (6)$$

Подставив (6) в (5), окончательно получим

$$F = \frac{kq_1\tau}{r_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{4r_0^2 + l^2}}$$

Подставим числовые значения:

Ответ: $F = \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{-6}}{0{,}2\sqrt{4 \cdot 0{,}2^2 + 0{,}3^2}} = 54 \cdot 10^{-2}$ Кл.

Задача 6. На нитях одинаковой длины подвешены металлические шары так, что их поверхности соприкасаются. После сообщения шарикам заряда $q_0 = 0{,}4$ мкКл они оттолкнулись друг от друга и разошлись на угол $2\alpha = 60^0$. Найти массу m каждого шарика, если расстояние от центра шарика до точки подвеса $l = 20$ см.

(Ответ: $m = \frac{q^2}{4\varepsilon\varepsilon_0 4l^2 sin^2\alpha} = 15{,}6 \cdot 10^{-3}$ кг).

1.2. Напряженность электростатического поля. Теорема Остроградского – Гаусса

Задача 1. Найти напряженность E электрического поля в точке, лежащей посередине между точечными зарядами $q_1 = 8$ нКл и $q_2 = -6$ нКл. Расстояние между зарядами r=10 см; $\varepsilon = 1$.

(Ответ: $E = \frac{q_1 + |q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = 50{,}4$ кВ/м).

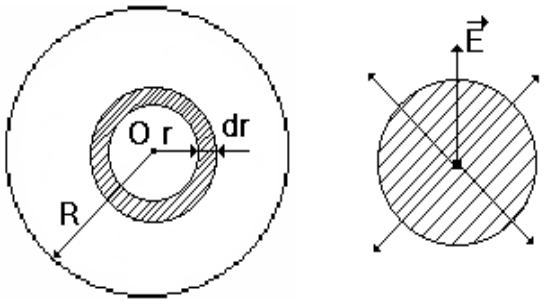
Задача 2. Два точечных заряда $q_1 = 7{,}5$ нКл и $q_1 = -14{,}7$ нКл расположены на расстоянии $r = 5$ см. Найти напряжённость E электрического поля в точке, находящейся на расстояниях $a = 3$ см от положительного заряда и $b = 4$ см от отрицательного заряда. (Ответ: $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\sqrt{\frac{q_1^2}{a^4} + \frac{q_2^2}{b^4}} = 112$ кВ/м).

Задача 3. Эбонитовый простой шар ($\varepsilon = 3$) радиусом R = 5 см несет заряд, равномерно распределенный с объемной плотностью $\rho = 10$ нКл/м^3. Определить напряженность электрического поля E в точках: 1) на расстоянии

$r_1 =$ 3 см от центра сферы; 2) на поверхности сферы; 3) на расстоянии $r_2 = 10$ см от центра сферы. Построить график зависимости E(r).

Решение:

Применим метод Гаусса. Ввиду сферически симметричного распределения заряда ρ можно утверждать, что линии вектора $\vec{E}$ в любой точке направлены вдоль радиусов из точки O, и модуль вектора $\vec{E}$ имеет одинаковое значение на равных расстояниях от центра шара O. Следовательно, в качестве гауссовых поверхностей следует выбрать сферы радиусом r с центром в точке O.



Рассмотрим две области пространства:

Первая область: $r \leq R$.

Поток вектора напряженности через гауссову сферу

$$N_E = \oint_S (\vec{E} \cdot d\vec{S}) = \oint_S (E \cdot dS) = E \oint_S dS = ES = E \cdot 4\pi r^2 \quad . (1)$$

Заряд, попавший внутрь гауссовой сферы $q = \rho V'$, где V' - объём гауссовой сферы.

$$q = 4\pi r^3 \rho / 3. \quad (2)$$

Объединим выражения (1) и (2) теоремой Гаусса:

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{\rho \cdot 4\pi r^3}{3\varepsilon_0 \varepsilon},$$

откуда $$E = \frac{\rho r}{3\varepsilon\varepsilon_0}.$$

Вторая область: для точек, лежащих вне сферы, $r > R$. Поток вектора напряженности через сферу радиусом r (как и в предыдущем случае)

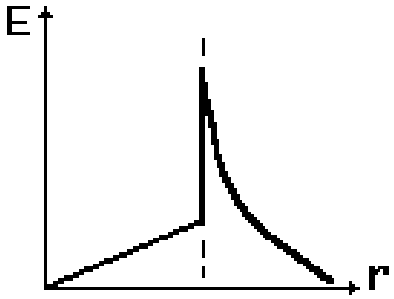
$$N_E = E \cdot 4\pi r^2.$$

Заряд, попавший внутрь сферы - это весь заряд шара $q = 4\pi R^3 \rho / 3$.

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{\rho \cdot 4\pi R^3}{3\varepsilon\varepsilon_0},$$

откуда $$E = \frac{\rho R^3}{3\varepsilon\varepsilon_0 r^2}.$$

Построим график зависимости E(r).



Отметим, что на границе перехода из эбонита в воздух происходит скачок напряженности. Она увеличивается в ε раз.

Ответы:

1. $E_{(r1)} = \frac{\rho r_1}{3\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{10\cdot10^{-9}\cdot3\cdot10^{-2}}{3\cdot33\cdot8{,}85\cdot10^{-12}} = 3{,}37$ В/м.

2. $E(R)$ (два значения):

$$E_{R1} = \frac{\rho R}{3\varepsilon\varepsilon_0} = 6{,}28 \text{ В/м}, \quad E_{(R2)} = \frac{\rho R}{3\varepsilon\varepsilon_0} = 3E_{R1} = 18{,}8 \text{ В/м}.$$

3. $E_{(r2)} = \frac{\rho R^3}{3\varepsilon\varepsilon_0 r^2} = 6{,}3\cdot10^{-2}$ В/м.

Задача 4. Найти силу F, действующую на заряд $q = 2\cdot3{,}336\cdot10^{-10}$ Кл, если заряд помещен: а) на расстоянии $r = 2$ см от заряженной нити с линейной плотностью заряда $\tau = 0{,}2$ мКл/м; б) в поле плоскости с поверхностной плотность заряда $\sigma = 20$ мкКл/м^2; в) на расстоянии $r = 2$ см от поверхности заряженного шара с радиусом $R = 2$ см и поверхностной плотностью заряда $\sigma = 20$ мкКл/м^2. Диэлектрическая проницаемость среды $\varepsilon = 6$.

(Ответ: $F = \frac{q\sigma R^2}{\varepsilon\varepsilon_0(r+R)^2} = 63$ мкН).

Задача 5. С какой силой F_1 электрическое поле заряженной бесконечной плоскости действует на единицу длины заряженной бесконечно длинной нити, помещенной в это поле? Линейная плотность заряда на нити $\tau = 3$ мкКл/м и поверхностная плотность заряда на плоскости $\sigma = 20$ мкКл/м^2.

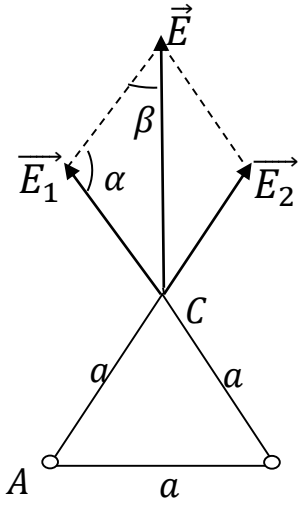
(Ответ: $F_1 = \frac{F}{l} = \frac{\sigma\tau}{2\varepsilon_0\varepsilon} = 3{,}4$ Н/м).

Задача 6. Две длинные одноименно заряженные нити расположены на расстоянии $r = 10$ см друг от друга. Линейная плотность заряда на нитях $\tau_1 = \tau_2 = 10$ мкКл/м. Найти модуль и направление напряженности $\vec{E}$ результирующего электрического поля в точке, находящаяся на расстоянии а $= 10$ см от каждой нити.

Решение:

Пусть $\tau_1 = \tau_2 = \tau$, следовательно напряженность поля каждой нити в точке С:

$$E_1 = E_2 = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon a}.$$



Тогда согласно принципу суперпозиции результирующая напряженность поля:

$$\vec{E} = \overrightarrow{E_1} + \overrightarrow{E_2}.$$

Так как по условию $r = a$, то треугольник АВС равносторонний, угол $\text{АСВ} = 60^0$. Прямая, на которой лежит вектор $\vec{E}$, перпендикулярна плоскости, проходящей через обе нити. По теореме синусов:

$$\frac{E}{sina} = \frac{E_1}{sin\beta},$$

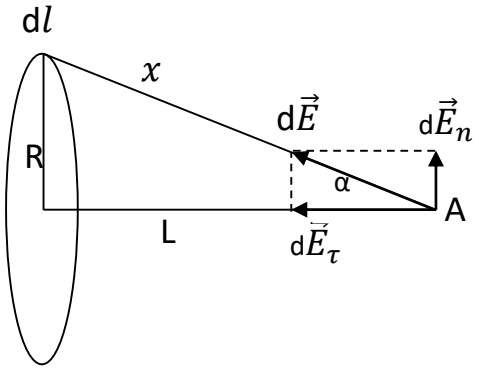
где $\alpha = 120^0, \beta = 30^0$.

(Ответ: $\mathrm{E} = \sqrt{3}E_1$; $E = \frac{\sqrt{3}\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon a} = 3{,}12 \cdot 10^6$ В/м).

Задача 7. С какой силой F_s на единицу площади отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно протяженные плоскости? Поверхностная плотность заряда на плоскостях $\sigma = 0{,}3$ мкКл/м^2.

(Ответ: $F_s = \frac{F}{S} = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0\varepsilon} = 5{,}1$ Н/м).

Задача 8. Кольцо из проволоки радиусом $R = 10$ см имеет отрицательный заряд $q = -5$ нКл. Найти напряженность E электрического поля на оси кольца.



Решение:

Возьмём элемент кольца dl. Этот элемент имеет заряд dq. Напряжённость электрического поля, созданная этим элементом в точке А, будет:

$dE = \frac{dq}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 x^2}$.

Вектор $\mathrm{d}\vec{E}$ направлен по линии x, соединяющей точку А с элементом кольца dl. Для нахождения напряженности поля всего кольца надо векторно сложить $\mathrm{d}\vec{E}$ от всех элементов. Вектор $d\vec{E}$ можно разложить на две составляющие dE_n и dE_τ. Составляющие dE_n каждых двух диаметрально расположенных элементов взаимно уничтожаются, поэтому $E = \int dE_\tau$.

Тангенциальную составляющую поля определяется:

$$dE_\tau = dE\cos a = dE\frac{L}{x} = \frac{Ldq}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 x^2},$$

что дает $E = \frac{L}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 x^3}\int dq = \frac{Lq}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 x^3}$. Учитывая, что $x = \sqrt{R^2 + L^2}$ по теореме Пифагора, имеем:

(Ответ: $E = \frac{Lq}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0(R^2+L^2)^3}$ – напряженность электрического поля на оси кольца).

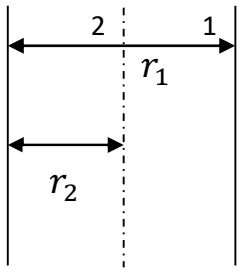
1.3. Потенциал. Энергия электростатического поля. Работа по перемещению заряда в поле

Задача 1. Два металлических одинаково заряженных шарика массой $m = 0{,}2$ кг каждый находятся на некотором расстоянии друг от друга. Найти q шариков, если известно, что на этом расстоянии энергия $W_{\text{эл}}$ их электростатического взаимодействия в миллион раз больше энергии $W_{\text{гр}}$ их гравитационного взаимодействия.

(Ответ: $q = \sqrt{n\varepsilon\varepsilon_0 4\pi G m_1 m_2} = 17 \cdot 10^{-9}$ Кл).

Задача 2. С какой силой F_1 на единицу длины отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно длинные нити с одинаковой линейной плотностью заряда $\tau = 3$ мкКл/м, находящиеся на расстоянии $r_1 = 2$ см друг от друга? Какую работу A_1 на единицу длины надо совершить, чтобы сдвинуть эти нити до расстояния $r_2 = 1$см?

Решение:



Напряженность поля бесконечной заряженной нити:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon r_1}. \quad (1)$$

С другой стороны,

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \quad (2)$$

где $\vec{F}-$ сила электростатического отталкивания; $q \approx \tau l$. Приравнивая правые части уравнений (1) и (2), получим:

$$\frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon r_1} = \frac{F}{\tau l}.$$

Тогда сила, приходящаяся на единицу длины нити:

$$F_1 = \frac{F}{l} = \frac{\tau^2}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon r_1} = 8{,}1 \text{ Н/м}.$$

Для уменьшения расстояния между нитями нужно совершить работу А против сил поля: $A = -A'$, где A' −работа сил электростатического поля нити АА при перемещении нити ВВ из точки 1 в точку 2 (нить АА при этом остается неподвижной). Так как электростатическая сила изменяется с расстоянием, то

$$\text{A} = -A' = -\int_{r_1}^{r_2} F(r)\,dr.$$

Работа, приходящая на единицу длины:

(Ответ: $\text{A}_1 = -\int_{r_1}^{r_2} \frac{\tau^2 dr}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon r} = -\frac{\tau^2}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot ln\frac{r_2}{r_1} = 0{,}112$ Дж/м).

Задача 3. Шарик массой $m = 10$ мг, имеющий положительный заряд $q = 1$ нКл, движется со скоростью $v = 10$ см/с. На какое расстояние r может приблизиться шарик к положительному точечному заряду $q_0 = 1{,}33$ нКл?

(Ответ: $r \quad = \frac{2q_1q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 mv^2} = 6 \cdot 10^{-2}$ м).

Задача 4. Два шарика с зарядами $q_1 = 6{,}66$ нКл и $q_2 = 13{,}33$ нКл находятся на расстоянии $r_1 = 40$ см. Какую работу А надо совершить, чтобы сблизить их до расстояния $r_2 = 25$ см?

(Ответ: $A = \frac{q_1q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right) = 1{,}2 \cdot 10^{-6}$ Дж).

Задача 5. Найти потенциал φ точки поля, находящейся на расстоянии $r = 10$ см от центра заряженного шара радиусом $R = 1$см. Задачу решить, если: а) задана поверхностная плотность заряда на шаре $\sigma = 0{,}1$ мкКл/м^2; б) задан потенциал шара $\varphi = 300$ В.

Решение:

Для потенциала заряженного шара имеем:

$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}$.

а) Поскольку $q = \sigma S = \sigma 4\pi R^2$, то $\varphi = \frac{\sigma 4\pi R^2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r} = \frac{\sigma R^2}{\varepsilon\varepsilon_0 r}$; $\varphi = 11{,}3$ В.

б) Потенциал шара $\varphi_0 = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R}$, откуда $q = 4\pi\varphi_0\varepsilon\varepsilon_0 R$. Тогда $\varphi = \frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R\varphi_0}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r} = \frac{\varphi_0 R}{r}$; $\varphi = 30$ В.

Задача 6. Сплошной парафиновый шар $(\varepsilon = 2)$ радиусом $R = 10$ см равномерно заряжен с объемной плотностью $\rho = 1$ мкКл/м^3. Определить

потенциал φ электрического поля в центре шара и на его поверхности. Построить график зависимости $\varphi(r)$.

Решение:

Воспользуемся соотношением между напряженностью и потенциалом электростатического поля:

$$\vec{E} = -grad\ \varphi.$$

Поскольку поле шара обладает сферической симметрией, то соотношение можно записать в виде $E = -d\varphi/dr$ или $-d\varphi = E.dr$.

Интегрируя данное выражение, получаем:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_1} E \cdot dr.$$

Примем потенциал бесконечно удаленной точки за нуль. Тогда

$$\varphi_{R_1} - \varphi_\infty = \int_{R_1}^{\infty} E \cdot dr,$$

где φ_R – потенциал на поверхности шара, или

$$\varphi_R = \int_{R_1}^{\infty} E \cdot dr.$$

Выражение для напряженности поля в пространстве, окружающем шар, возьмем из предыдущей задачи при условии, что r > R:

$$E = \frac{\rho R^2}{3\varepsilon\varepsilon_0 r^2}.$$

Разность потенциалов между центром шара и его поверхностью

$$\varphi_0 - \varphi_R = \int_0^R E \cdot dr,$$

где φ_0 – потенциал в центре шара.

Тогда $$\varphi_0 = \varphi_R + \int_0^R E \cdot dr$$

Напряженность поля возьмем из предыдущей задачи при условии $r < R$.

$$\varphi_0 = \varphi_R + \int_0^R \frac{\rho R^2}{3\varepsilon\varepsilon_0 r^2} \cdot dr = \varphi_R + \frac{\rho R^2}{6\varepsilon\varepsilon_0} = \left(\frac{\rho R^2}{3\varepsilon_0} + \frac{\rho R^2}{6\varepsilon\varepsilon_0}\right) = \frac{\rho R^2}{3\varepsilon_0}\left(1 + \frac{1}{2\varepsilon}\right)$$

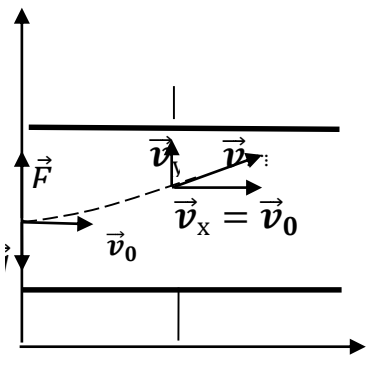
Найдем численные значения φ_R и φ_0:

$$\varphi_R = \frac{10^{-6}\cdot 0{,}1^2}{3\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}} = 377 \text{ В}, \varphi_0 = \frac{10^{-6}\cdot 0{,}1^2}{3\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}}\left(1 + \frac{1}{2\cdot 2}\right) = 47 \text{ В}.$$

Задача 7. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора $U = 90$ В. Площадь каждой пластины $S = 60$ см^2, её заряд $q = 1$нКл. На каком расстоянии d друг от друга находятся пластины?

(Ответ: $d = \frac{US\varepsilon\varepsilon_0}{q} = 4{,}78 \cdot 10^{-3}$ м).

Задача 8. Электрон с некоторой скоростью влетает в плоский горизонтально расположенный конденсатор параллельно пластинам на равном расстоянии от них. Напряженность поля в конденсаторе $E = 100$ В/м; расстояние между пластинами $d = 4$ см. Через какое время t после того, как электрон влетел в конденсатор, он попадает на одну из пластин? На каком расстоянии s от начала конденсатора электрон попадает на пластину, если он ускорен разностью потенциалов $U = 60$ В?



Решение:

Вдоль горизонтальной оси движение электрона будет равномерным со скоростью $v_x = v_0$, так как

вдоль оси x на него не действуют силы. При равномерном движении координата x изменяется со временем $x = v_0$t. Вдоль оси y на электрон действуют две силы: сила тяжести $m\vec{g}$ и сила электростатического поля $\vec{F} = e\vec{E}$. Сила тяжести $mg = (9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 9{,}8)$ Н на тридцать порядков меньше электростатической силы $F = (1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{2})$ Н и ею можно пренебречь. Под действием электростатической силы движение электрона вдоль оси y будет равноускоренным, а координата y изменяется со временем по закону:

$$y = \frac{at^2}{2} = \frac{Ft^2}{2m} = \frac{eEt^2}{2m}.$$

Отсюда при $y = \frac{d}{2}$ имеем $t = \sqrt{\frac{dm}{dE}} \approx 48$ нс. Пройдя разность потенциалов U, электрон за счёт работы A сил электростатического поля приобретает кинетическую энергию:

$$A = eU = \frac{mv_0^2}{2},$$

откуда $v_0 = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$. Тогда через время $t = 48$ нс он упадет на пластину на расстоянии $S = v_0 t = t\sqrt{\frac{2eU}{m}}$. Подставив числовые данные, получим S=0,22 м.

1.4. Электроемкость. Конденсаторы

Электроемкость проводника:

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

где q – заряд проводника; φ – потенциал проводника при условии, что в бесконечности потенциал проводника принимается равным нулю.

Электроемкость конденсатора:

$$C = \frac{q}{U},$$

где q – заряд конденсатора; U – разность потенциалов между пластинами конденсатора.

Электроемкость плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

где ε – диэлектрическая проницаемость диэлектрика, расположенного между пластинами; d – расстояние между пластинами; S – суммарная площадь пластин.

Емкость сферического конденсатора:

$$C = \frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 rR}{R-r},$$

в частном случае, когда $R = \infty$,

$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r$ - емкость уединенного шара.

Емкость цилиндрического конденсатора:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 L}{ln(R/r)},$$

где L- высота коаксиальных цилиндров; r и R – радиусы внутреннего и внешнего цилиндров.

Электроемкость батареи конденсаторов:

а) при последовательном соединении:

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{C_i};$$

б) при параллельном соединении:

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

Энергия заряженного конденсатора:

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

где q – заряд конденсатора; U – разность потенциалов между пластинами; C – электроемкость конденсатора.

Энергия плоского конденсатора:

$$W = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 SU^2}{2d} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 SdE^2}{2} = \frac{\sigma^2 Sd}{2\varepsilon\varepsilon_0},$$

где σ- поверхностная плотность заряда на пластинах.

Объемная плотность энергии электрического поля:

$$W_0 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2}.$$

Энергия неоднородного электростатического поля:

$$\mathrm{W} = \int_{\mathrm{V}} \omega \mathrm{dV},$$

объёмная плотность энергии $\omega = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 \mathrm{E}^2}{2}$, V – объём, занимаемый полем.

Энергия системы неподвижных точечных зарядов:

$$\mathrm{W} = \left(\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}} \mathrm{q_i}\varphi_\mathrm{i}\right)/2,$$

где φ_i – потенциал поля, создаваемого всеми зарядами, кроме –го, в точке, где находится заряд $\mathrm{q_i}$.

Сила притяжения между пластинами плоского конденсатора:

$$F = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2 S}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 U^2 S}{2d^2} = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon\varepsilon_0}.$$

Задача 1. Восемь заряженных водяных капель радиусом $r = 1$ см и зарядом $q = 0{,}1$ нКл каждая сливаются в одну общую водяную каплю. Найти потенциал φ большой капли.

Решение:

Потенциал на поверхности большой шарообразной капли

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}, \quad (1)$$

где Q - заряд капли, R - её радиус. Потенциал на поверхности малой капли

$$\varphi_0 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}, \quad (2)$$

где q - заряд капли, r- её радиус. Если n одинаковых капель сливаются в одну, её заряд равен $Q = nq$. С учётом этого, разделив (1) на (2), получим

$$\frac{\varphi}{\varphi_0} = n\frac{r}{R}.$$

Объем большой капли равен сумме объемов маленьких капель:

$\frac{4}{3}\pi R^3 = n\frac{4}{3}\pi r^3$, откуда $\frac{r}{R} = \frac{1}{\sqrt[3]{n}}\varphi_0 = \frac{n}{\sqrt[3]{n}}\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$; $\varphi = 3{,}6$ кВ.

Задача 2. Между пластинами плоского конденсатора, находящимися на расстоянии $d_1 = 5$мм друг от друга, приложена разность потенциалов $U = 150$ В. К одной из пластин прилегает плоскопараллельная пластина фарфора толщиной $d_2 = 3$мм. Найти напряженности E_1 и E_2 электрического поля в воздухе и в фарфоре.

(Ответ: $E_1 = \frac{\varepsilon_2 U}{d_1\varepsilon_2 + d_2\varepsilon_1} = 60$ кВ/м и $E_2 = \frac{\varepsilon_1 U}{d_1\varepsilon_2 + d_2\varepsilon_1} = 10$ кВ/м).

Задача 3. Радиус центральной жилы коаксиального кабеля $r = 1{,}5$ см, радиус оболочки $R = 3{,}5$ см. Между центральной жилой и оболочкой приложена разность потенциалов $U = 2{,}3$ кВ. Найти напряженность E электрического поля на расстоянии $x = 2$ см от оси кабеля.

Решение:

Поле внутри кабеля неоднородно, и напряженность убывает с увеличением расстояния от оси системы. Поскольку вся система обладает осевой симметрией, напряженность поля может быть найдена с помощью обобщенной теоремы Гаусса:

$$\oint_N \vec{D}d\vec{S} = \sum Q.$$

Если выбрать вспомогательную поверхность в виде коаксиального цилиндра, получим:

$$D = \frac{\tau}{2\pi r}, \qquad (1)$$

где $\tau -$ линейная плотность заряда на центральной жиле. При этом вектор $\vec{D}$ нормален к границе раздела и выражение (1) справедливо в любой точке конденсатора. Учитывая, что $D = \varepsilon\varepsilon_0 E$, получим выражение для напряженности поля в указанной точке, т.е. при $r = x$:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 x}.$$

Найдём линейную плотность заряда. Ёмкость кабеля:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 L}{ln(R + rr)} = \frac{q}{U} = \frac{rL}{U},$$

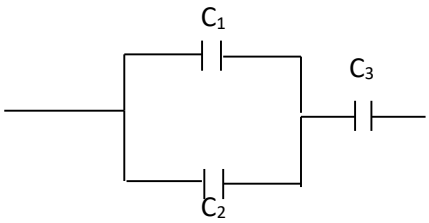
откуда $\tau = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 U}{ln\left(\frac{R}{r}\right)}$.

Тогда напряженность поля $E = \frac{U}{x \cdot ln(R+r)} = 136$ кВ/м.

Задача 4. Радиус внутреннего шара воздушного сферического конденсатора $r = 1$ см, радиус внешнего шара $R = 4$ см. Между шарами приложена разность потенциалов $U = 3$ кВ. Найти напряженность E электрического поля на расстоянии $x = 3$ см от центра шаров.

(Ответ: $E = \frac{rRU}{(R-r)x^2} = 4{,}45$ кВ/м).

Задача 5. Найти ёмкость C системы конденсаторов, изображенной на рисунке. Ёмкость каждого конденсатора $C = 0{,}5$ мкФ.



Задача 6. При помощи электрометра сравнивали между собой ёмкости двух конденсаторов. Для этого заряжали их до разностей потенциалов $U_1 = 300$ В и $U_2 = 100$ В и соединяли оба конденсатора параллельно. Измеренная при этом электрометром разность потенциалов между обкладками конденсатора оказалась равной $U = 250$ В. Найти отношение ёмкостей $\frac{C_1}{C_2}$.

(Ответ: $\frac{C_1}{C_2} = \frac{U-U_2}{U_1-U} = 3$).

Задача 7. Плоский конденсатор заполнен диэлектриком и на его пластины подана некоторая разность потенциалов. Его энергия при этом $W = 20$ мДж. После того как конденсатор отключили от источника напряжения, диэлектрик вынули из конденсатора. Работа, которую надо было совершить против сил электрического поля, чтобы вынуть диэлектрик, $A = 70$ мкДж. Найти диэлектрическую проницаемость ε диэлектрика.

Решение:

Энергия конденсатора, заполненного диэлектриком:

$$W_1 = C_1 U_1^2/2.$$

После удаления диэлектрика ёмкость уменьшилась в ε раз и стала равной:

$$C_2 = \frac{C_1}{\varepsilon}.$$

Так как заряд конденсатора остался прежним, то разность потенциалов в силу связи $q = CU$ увеличилась в ε раз:

$$U_2 = \varepsilon U_1.$$

Энергия конденсатора после удаления диэлектрика:

$$W_2 = \frac{C_1 \varepsilon^2}{2\varepsilon} = W_1 \varepsilon.$$

Работа, совершенная против сил кулоновского притяжения, равна:

$A = W_2 - W_1 = W_1(\varepsilon - 1)$, отсюда $\varepsilon = \frac{A}{W_1} + 1;\ \varepsilon = 4{,}5$.

Раздел II. Электрический ток

2.1. Постоянный ток

Задача 1. Определить плотность тока j в медной проволоке ($\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ом · м) длиной $L = 10$ м, если разность потенциалов на его концах $U = 12$ В.

(Ответ: $j = \frac{U}{\rho \cdot l}$. $j = 7 \cdot 10^7$ *А/м* ^{2})

Задача 2. Ток I в проводнике меняется со временем t по закону $I = 4 + 2t$, где I −в амперах и t−в секундах, Какое количество электричества проходит через поперечное сечение проводника за время от $t_1 = 2$ с до $t_2 = 6$ с? При каком

постоянном токе I_0 через поперечное сечение проводника за то же время проходит такое же количество электричества?

Решение:

По определению сила тока:

$$I = dq/dt,$$

отсюда $dq = Idt;$ тогда имеем:

$$q = \int_{t_1}^{t_2} Idt;\ q = \int_{t_1}^{t_2}(4 + 2t)dt = 48 \text{ Кл}.$$

При постоянном токе:

$$I_0 = \frac{q}{t},\ \text{где } t = t_2 - t_1 = 4 \text{ с}.$$

Подставляя числовые значения, получим $I_0 = 12$ А.

Задача 3. Какой заряд q пройдет по проводнику, если в течение $t = 10$ с сила тока равномерно уменьшилась от $I_0 = 10$ А до $I = 5$ А?

(Ответ: $q = \frac{I+I_0}{2}t,\ q = 75$ Кл).

Задача 4. Ламповый реостат состоит из пяти электрических лампочек сопротивлением $r = 350$ Ом, включенных параллельно. Найти сопротивление R реостата, когда: а) горят все лампочки; б) вывинчиваются одна, две, три, четыре лампочки.

Решение:

а) Если лампочки включены параллельно, то их общее сопротивление находится по формуле:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} + \frac{1}{r_5}.$$

Так как сопротивление всех лампочек одинаковы и равны, то:

$$\frac{1}{R} = \frac{5}{r},$$

откуда $R = \frac{r}{5}$, $R = 70$ Ом.

б) Если выкрутить одну лампочку, то:

когда одна лампочка $R = \frac{r}{5}$; $R = 70$ Ом,

две лампочки – $R = \frac{r}{3} = 116{,}7$ Ом;

три лампочки – $R = \frac{r}{2} = 175$ Ом;

четыре лампочки – $R = r = 350$ Ом.

Задача 5. Найти падение потенциала U на медном проводе длиной l=500 м и диаметром $d = 2$ мм если ток в нём $I = 2$ А.

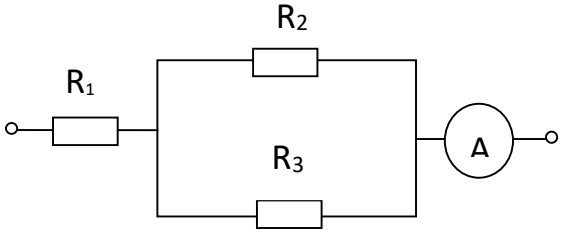
(Ответ: $U = IR = I\rho\frac{4l}{\pi d^2} = 5{,}4$ В).

Задача 6. Найти падения потенциала U в сопротивлениях $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 2$ Ом и $R_3 = 4$ Ом, если амперметр показывает ток $I_1 = 3$ А. Найти токи I_2 и I_3 в сопротивлениях R_2 и R_3.

Решение:

По закону Ома:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1},$$



откуда $U_1 = I_1 R_1 = 12$ Ом. Полное сопротивление цепи:

$$R = R_1 + R_{23},$$

где $\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$; $R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{8}{6}$ Ом.

Падение напряжения на всём участке цепи $U = U_1 + U_{23}$.

При параллельном соединении все сопротивления находятся под одной разностью потенциала, следовательно, $U_{23} = U_2 = U_3$.

Согласно закону Ома:

$$U = I_1 R = I_1 (R_1 + R_{23}),$$

тогда $U_2 = U_3 = U - U_1$; $U_2 = U_3 = I_1 (R_1 + R_{23}) - U_1 = 4$ В.

Сопротивление R_1 и эквивалентное сопротивление R_{23} соединены последовательно, следовательно, токи, текущие через них, равны $I_1 = I_{23}$, где $I_{23} = I_2 + I_3$.

По закону Ома $I_2 = \frac{U_2}{R_2} = 2$ А, тогда $I_3 = I_1 - I_2 = 1$ А.

Задача 7. Два параллельно соединенных элемента с одинаковыми ЭДС $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 2$ В и внутренними сопротивлениями $r_1 = 1$ Ом и $r_2 = 1{,}5$ Ом замкнуты на внешнее сопротивление $R = 1{,}4$ Ом. Найти ток I в каждом из элементов и во всей цепи.

(Ответ: $I_1 = \frac{Ir_1}{r_1 + r_2} = 0{,}4\ A$, $I_2 = \frac{Ir_2}{r_1 + r_2} = 0{,}6\ A$).

Задача 8. Имеется предназначенный для измерения токов до $I = 10$ А амперметр с сопротивлением $R_A = 0{,}18$ Ом, шкала которого разделена на 100 делений. Какое сопротивление R надо взять и как его включить, чтобы этим амперметром можно было измерять ток до $I_0 = 100$ А? Как изменится при этом цена деления амперметра?

(Ответ: следует параллельно подключить шунт с сопротивлением $R_ш = \frac{R_A}{n-1} = 0{,}02$ Ом. Цена деления без шунта равна 0,1 А, с шунтом 1А).

Задача 9. За какое время τ при электролизе медного купороса масса медной пластинки (катода) увеличится на $\Delta m = 99$ г? Площадь пластинки $S = 25$ см^2, плотность тока $j = 200$ А/м^2. Найти толщину d слоя меди, образующая на пластинке.

(Ответ: $d = \frac{\Delta m}{\rho S} = 4.6 \cdot 10^{-6}$ м).

2.2. Работа и мощность тока

Работа тока:

$$A = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t,$$

где A – работа тока; U – напряжение; I – сила тока; R – сопротивление; t – время.

Мощность тока:

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

Закон Джоуля–Ленца

$$Q = I^2 Rt,$$

где Q – количество выделившейся теплоты.

Закон Ома в дифференциальной форме:

$$j = \gamma E,$$

где j – плотность тока; γ – удельная проводимость; E – напряженность электрического поля.

Работа, совершаемая источником электрической энергии за время t:

$$A = \frac{\varepsilon^2 t}{R},$$

где ε – ЭДС источника, R – полное сопротивление цепи.

Электрическая мощность, отдаваемая источником во внешнюю цепь (так называемая полезная мощность):

$$P = UI = I2R \qquad \text{или} \qquad P_{\text{пол}} = \frac{\varepsilon^2 \cdot R}{(R+r)^2},$$

где $r -$ внутреннее сопротивление источника; R - внешнее сопротивление цепи.

Полная мощность всей цепи:

$$P_0 = I^2R + I^2r = I\varepsilon \quad \text{или} \quad P_{\text{затр}} = \frac{\varepsilon^2}{R+r}.$$

Коэффициент полезного действия источника тока:

$$\eta = \frac{U}{\varepsilon}; \eta = \frac{R}{R+r}; \eta = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{затр}}}.$$

Задача 1. От батареи с ЭДС $\varepsilon = 500$ В требуется передать энергию на расстояние l=2,5 км. Потребляемая мощность $P = 10$ кВт. Найти минимальные потери мощности ΔP в сети, если диаметр медных подводящих проводов d=1,5 см.

(Ответ: $\Delta P = \frac{8P^2\rho l}{\pi\varepsilon^2 d^2} = 193$ Вт).

Задача 2. Найти внутреннее сопротивление r генератора, если известно, что мощность P, выделяющаяся во внешней цепи, одинаковы при внешних сопротивлениях $R_1 = 5$ Ом и $R_2 = 0{,}2$ Ом. Найти К.П.Д. η генератора в каждой из этих случаев.

(Ответ: для первого сопротивления КПД генератора:

$$\eta_1 = \frac{R_2}{R_1 + r} = 83\%,$$

Для второго сопротивления:

$$\eta_2 = \frac{R_2}{R_2 + r} = 17\%).$$

Задача 3. ЭДС батареи $\varepsilon = 120$ В сопротивления $R_1 = 25$ Ом, $R_2 = R_3 = 100$ Ом. Найти мощность P_1, выделяющаяся на сопротивлении R_1.

(Ответ: $P_1 = I_1U_1 = I_1^2R_1 = 16$ Вт).

Задача 4. Какой объем V воды можно вскипятить, затратив электрическую энергию $W = 3$ гВт·ч? Начальная температура воды $t_0 = 10^0$С.

(Ответ: $V = 2{,}9 \cdot 10^{-3}$м^3).

Задача 5. Электрический чайник, содержащий объем $V = 600$ см^3 воды при $t_0 = 9^0C$, забыли выключить. Сопротивление нагревателя чайника $R = 16$ Ом. Через какое время τ после выключения вода в чайнике выкипит? Напряжение в сети $U = 120$ В, КПД нагревателя $\eta = 60$ %.

Решение:

По закону Джоуля-Ленца:

$$Q_{\text{полн}} = I^2 R\tau.$$

Полезное тепло определяется как сумма:

$$Q_{\text{полезн}} = Q_1 + Q_2.$$

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды до температуры кипения:

$$Q_1 = cm(t_k - t_0).$$

Количество теплоты, необходимое для испарения воды:

$$Q_2 = rm.$$

По закону сохранения энергии:

$$Q_{\text{полезн}} = \eta Q_{\text{полн}};\ cm(t_k - t_0) + rm = \eta I^2 R\tau;\ m = \rho V.$$

По закону Ома:

$$I = U/R,$$

откуда $I^2 = \frac{U^2}{R^2};\ \rho V[c(t_k - t_0) + r] = \eta \frac{U^2}{R}\tau,$

отсюда $\tau = \frac{\rho VR[c(t_k - t_0) + r]}{\eta U^2} = \eta \frac{U^2}{R} D,$

следовательно, $\tau = \frac{\rho VR[c(t_k - t_0) + r]}{\eta U^2};\ \tau = 49$ мин.

(Ответ: $\tau = 49$ мин).

Раздел III. Электромагнетизм

3.1. Магнитное поле

Связь магнитной индукции с напряженность магнитного поля:

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

где $\vec{B}$– вектор индукции магнитного поля; μ – магнитная проницаемость; μ_0=4π·10^{-7} Гн/м–магнитная постоянная; $\vec{H}$–напряженность магнитного поля.

Закон Био–Савара–Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}\frac{I[d\vec{l}\cdot\vec{r}]}{r^3} \text{ или } dB = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}\frac{Idl\sin\alpha}{r^2},$$

где $d\vec{B}$– индукци магнитного поля, создаваемая проводником в некоторой точке; –сила тока в проводнике; $\overrightarrow{dl}$–элемент проводника; $\vec{r}$ –радиус-вектор, проведенный из элемента $\overrightarrow{dl}$ проводника в точку, в которой определяется индукция магнитного поля; α–угол между радиусом вектором и элементом тока.

Закон полного тока для магнитного поля (теорема о циркуляции вектора $\vec{B}$):

$$\oint_L (\vec{B}\cdot d\vec{l}) = \mu_0\mu\sum_{k=1}^{n} I_k\ ,$$

где n – число проводников с токами, охватываемых контуром L произвольной формы.

Магнитная индукция в центре кругового тока

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

где R – радиус кругового витка.

Магнитная индукция на оси кругового тока:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R} \frac{2\pi R^2 I}{(R^2+h^2)^{3/2}},$$

где $h -$ расстояние от центра витка до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля прямого тока:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r_0},$$

где r_0—расстояние от оси провода до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля соленоида:

$$B = \mu\mu_0\, nI,$$

где $n -$ отношение числа витков соленоида к его длине.

Индукция магнитного поля прямолинейного проводника с током бесконечной и конечной длины соответственно

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}, \qquad B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r}(cos\,\alpha_1 - cos\,\alpha_2).$$

Напряженность магнитного поля на оси соленоида конечной длины:

$$H = In(cos\beta_1 - cos\beta_2),$$

где β_1 и $\beta_2 -$ углы между осью соленоида и радиус-вектором, проведенным из рассматриваемой точки к концам соленоида.

Вектор индукции $\vec{B}$ и вектор напряжённости $\vec{H}$ магнитного поля и их циркуляции по замкнутому контуру:

$$B = \frac{M_{\text{вр}}^{max}}{P_m}, \qquad \oint B_l\, dl = \mu_0 \sum I_i,$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}, \qquad \oint H_l\, dl = \sum I_i\ ,$$

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

где $\mu_0 -$ магнитная постоянная вакуума, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$Н/А^2; $\mu -$ магнитная проницаемость вещества; $\sum I_i$ – алгебраическая сумма токов, охватываемых замкнутым контуром; J —намагниченность вещества.

Поток вектора $B(\vec{H})$ через замкнутую поверхность

$$\oint_S B_n dS = 0.$$

Некоторые соотношения для магнетиков:

$$\vec{J} = \chi \vec{H},$$

$$\mu = 1 + \chi,$$

где χ —восприимчивость вещества.

Граничные условия для векторов $\vec{B}$ и $\vec{H}$:

$$B_{n1} = B_{n2}, \quad H_{n1} = H_{n2},$$

$$\frac{B_{1\tau}}{B_{2\tau}} = \frac{\mu_1}{\mu_2}, \qquad \frac{B_\tau}{B_n} = tg\,\alpha, \qquad \frac{tg\,\alpha_1}{tg\,\alpha_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2},$$

где $B_n -$ нормальная составляющая вектора; $\vec{B}$, H_τ – тангенциальная составляющая вектора $\vec{H}$; $\alpha_1, \alpha_2 -$ углы между векторами $B(\vec{H})$ и перпендикуляром к поверхности границы раздела в разных средах.

Принцип суперпозиции для векторов $B(\vec{H})$:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \cdots + \infty,$$

где $\vec{B}_i$ – индукция от полей, созданных различными источниками.

$$\vec{B} = \int d\vec{B}_i$$

– если источники магнитных полей расположены непрерывно.

Индукция магнитного поля движущегося заряда:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{qv \sin\alpha}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}.$$

Сила Ампера:

$$d\vec{F} = I\left[\vec{dl} \cdot \vec{B}\right] \text{ или } dF = IdlB \sin\alpha,$$

где dF – сила Ампера; I – сила тока в проводнике; dl – длина проводника; B – индукция магнитного поля; α – угол между элементом тока и вектором магнитной индукции.

Два параллельных бесконечно длинных прямолинейных проводника с токами I_1 и I_2 взаимодействуют с силой:

$$F = \mu\mu_0 \frac{I_1 I_2 l}{2\pi d},$$

где l – длина участка проводника, d - расстояние между ними.

Вращающий момент действующий на замкнутый контур с током, а также на магнитную стрелку в магнитном поле:

$$\vec{M} = \left[\vec{p} \cdot \vec{B}\right] \text{ или } M = pB \sin\alpha,$$

где p магнитный момент контура с током или магнитной стрелки; α – угол между направлением магнитного поля и нормалью к плоскости контура (или осью стрелки).

Магнитный момент контура с током:

$$p = IS,$$

где S – площадь контура.

Сила, действующая на рамку с током в неоднородном магнитном поле:

$$\vec{F} = \vec{P}_m \cdot \frac{d\vec{B}}{dr},$$

где P_m – магнитный момент рамки с током, $d\vec{B}/d\vec{r}$ - градиент индукции магнитного поля.

Сила Лоренца:

$$\vec{F} = q\left[\vec{v} \cdot \vec{B}\right] \text{или } F = qvB \sin\alpha,$$

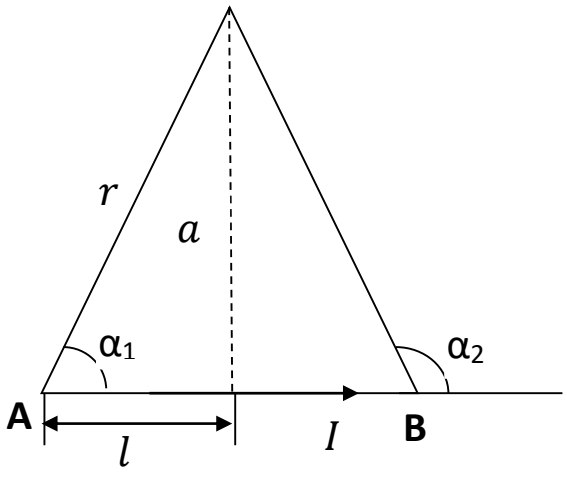
где F – сила Лоренца; q – заряд частицы; v – скорость частицы; B – индукция магнитного поля; α – угол между направлением скорости частицы и вектором магнитной индукции.

Задача 1. Найти напряженность H магнитного поля, создаваемого отрезком AB прямолинейного проводника с током, в точке C, расположенной на перпендикуляре к середине этого отрезка на расстоянии $a = 5$ см от него. По проводнику течет ток $I = 20A$. Отрезок AB проводника виден из точки C под углом 60^0.

Решение:

По закону Био-Савара-Лапласа элемент контура dl, по которому течет ток I, создает в некоторой точке А пространства магнитное поле напряженностью:

$$dH = \frac{I \sin\alpha}{4\pi r^2} dl,$$



где r – расстояние от точки А до элемента тока dl, α - угол между радиус – вектором $\vec{r}$ и элементом тока dl. Напряженность магнитного поля в точке С будет равна:

$$H = \int_{\alpha_2}^{\alpha_1} \frac{I \sin\alpha}{4\pi r^2} dl.$$

Но $l = a\, ctg\, \alpha$ и $dl = -\frac{ad\alpha}{sin^{-2}\alpha}$. Далее, учитывая, что $r = \frac{a}{\sin\alpha}$, получаем

$$H = -\frac{I}{4\pi a}\int_{\alpha_2}^{\alpha_1} sin\,\alpha\, d\alpha = \frac{I}{4\pi a}(cos\,\alpha_1 - cos\,\alpha_2) = 31{,}18 \text{ А/м},$$

где α_2=120^0.

(Ответ: $H = 31{,}18$ А/м).

Задача 2. По проволочной рамке, имеющей форму правильного шестиугольника, идет ток $I = 2$ А. При этом в центре рамки образуется напряженность магнитного поля $H = 33$ А/м. Найти длину l проволоки, из которой сделана рамка.

(Ответ: $l = \frac{6\sqrt{3}I}{H\pi} = 0{,}2$ м).

Задача 3. Напряженность магнитного поля в центре кругового витка с током равна $H = 30$ А/м. Радиус витка равен $r = 8$ см. Определите напряженность поля на оси витка в точке, расположенной на расстоянии $a = 6$ см от центра витка.

(Ответ: $H = \frac{Ir^2}{2(r^2+a^2)^{\frac{3}{2}}} = 15{,}36$.А/м).

Задача 4. Катушка длиной $l = 30$ см имеет $N = 1000$ витков. Найти напряженность H магнитного поля внутри катушки, если по катушке проходит ток $I = 2$ А. Диаметр катушки считать малым по сравнению с ее длиной.

(Ответ: $H = I\frac{N}{l} = 6670$ кА/м).

Задача 5. Два прямолинейных длинных проводника находятся на расстоянии $d_1 = 10$ см друг от друга. По проводникам в одном направлении текут токи $I_1 = 20$ А и $I_2 = 30$ А. Какую работу A_l надо совершить (на единицу проводников), чтобы раздвинуть эти проводники до расстояния $d_2 = 20$ см?

(Ответ: $A = 83 \cdot 10^{-6}$ Дж/м).

Задача 6. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 1$ кВ, влетает в однородное магнитное поле, направление которого перпендикулярно к направлению его движения. Индукция магнитного поля B = 1,19 мТл. Найти радиус R окружности, по которой движется электрон, период обращения T и момент импульса M электрона.

Решение:

Со стороны магнитного поля на электрон действует сила Лоренца:

$$\vec{F}_{л} = -e\left[\vec{v} \cdot \vec{B}\right].$$

Направление силы Лоренца определяется по правилу левой руки или правилу векторного произведения векторов. В скалярном виде:

$$F_{л} = \mathrm{e}vB\,sin\,\alpha = evB,$$

так как $\alpha = 90^0$. Поскольку начальная скорость перпендикулярна $\vec{B}$, то траектория лежит в одной плоскости. Работа силы Лоренца равна нулю и $v = const$. Электрон движется с постоянным по модулю ускорением:

$$a = \frac{F_{л}}{m} = \frac{evB}{m}, \qquad (1)$$

которое перпендикулярно скорости. Радиус кривизны траектории электрона можно найти из соотношения:

$$a = \frac{v^2}{R}. \qquad (2).$$

Приравнивая (1) и (2) получим:

$$\frac{evB}{m} = \frac{v^2}{R}, \text{ откуда } R = \frac{mv}{eB}.$$

Период обращения электрона по окружности не зависит от скорости:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{eB}.$$

Момент импульса электрона:

$$\overrightarrow{\mathrm{M}} = m\left[\vec{v}, \vec{R}\right]$$

или, поскольку векторы $\vec{v}$ и $\vec{R}$ перпендикулярны, $M = mvR$. Скорость электрона найдем из закона сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = eU,$$

откуда $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$. Отсюда $M = R\sqrt{2eUm}$.

(Ответ: $R = 0{,}09$ м; $T = 30 \cdot 10^{-9}$ с; $M = 1{,}5 \cdot 10^{-24}$ кг· м^2/с).

3.2. Электромагнитная индукция

Краткая теория

Магнитный поток:

а) в случае однородного магнитного поля и плоской поверхности:

$$\Phi = B_{\text{п}}S\ ,$$

где Ф – магнитный поток; $B_{\text{п}}$ – проекция вектора магнитной индукции на вектор нормали; S – площадь контура;

б) в случае неоднородного магнитного поля и произвольной проекции:

$$\Phi = \int_S B_n \, dS.$$

Потокосцепления (полный поток) для тороида и соленоида:

$$\Psi = N\Phi,$$

где Ψ – полный поток; N – число витков; Φ – магнитный поток, пронизывающий один виток.

Индуктивность контура:

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

Индуктивность соленоида:

$$L = \mu\mu_0 n^2 V,$$

где L – индуктивность соленоида; μ – магнитная проницаемость; μ_0 – магнитная постоянная; n – отношение числа витков к его длине; V – объем соленоида.

Закон электромагнитной индукции Фарадея:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt},$$

где ε_i–ЭДС индукции; $\frac{d\Phi}{dt}$ – скорость изменения магнитного потока.

Максвелловская формула явления электромагнитной индукции:

$$\oint_l E_{\text{вихр}} \cdot dl = -\frac{d}{dt}\int_S \vec{B} \cdot d\vec{S},$$

где S – произвольная поверхность, опирающаяся на контур l.

ЭДС индукции в движущемся проводнике:

$$\varepsilon_i = vBl.$$

ЭДС индукции во вращающемся проводнике:

$$\varepsilon_i = \frac{1}{2}\omega l^2 B.$$

Работа по перемещению замкнутого контура в магнитном поле:

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

где A – работа по перемещению контура; I – сила тока в контуре; $\Delta\Phi$ – изменение магнитного потока, пронизывающего контур.

ЭДС самоиндукции:

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

Переменная ЭДС:

$$\varepsilon_i = BSN\omega \sin \omega t.$$

Самоиндукция:

$$\varepsilon_i = -\left(L\frac{dI}{dt} + I\frac{dL}{dt}\right).$$

Взаимная индукция:

$$\varepsilon_{12} = -L_{12} \cdot \frac{dI_1}{dt}.$$

Коэффициент самоиндукции и взаимной индукции:

$$L = \mu_0\mu\frac{N^2}{l} \cdot S,\ L_{12} = \mu_0\mu\frac{N_1N_2}{l} \cdot S.$$

Токи замыкания и размыкания цепей:

$$I = I_0 \cdot exp\left(-\frac{R}{L} \cdot t\right),$$

$$I = I_0 \cdot \left(1 - exp\left(\frac{R}{L} \cdot t\right)\right).$$

Энергия магнитного поля:

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

Объемная плотность энергии магнитного поля:

$$\omega = \frac{BH}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2},$$

где ω – объемная плотность энергии магнитного поля; B – индукция магнитного поля; H – напряженность магнитного поля; μ – магнитная проницаемость; μ_0 – магнитная постоянная.

Энергия неоднородного магнитного поля, заключённая в объёме V:

$$W = \int_V \omega \cdot dV.$$

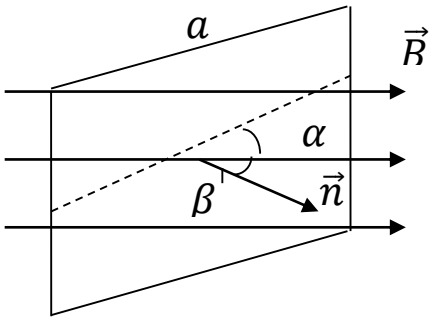
Задача 1. В однородном магнитном поле напряженностью H = 79,6 кА/м помещена квадратная рамка, плоскость которой составляет с направлением магнитного поля угол $\alpha = 45^0$. Сторона рамки $a = 4$ см. Найти магнитный поток Ф, пронизывающий рамку.

Решение:

Магнитный поток:

$\Phi = \vec{B}\vec{S} = BS\cos\beta,$

где $\beta -$ угол между направлением магнитного поля и нормалью к плоскости рамки. Имеем $S = a^2$; $\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$, $B = \mu\mu_0 H$.



Отсюда $\Phi = \mu\mu_0 H a^2 \cos 45^0 = 113 \cdot 10^{-6}$ Вб.

(Ответ: $\Phi = \mu\mu_0 H a^2 \cos 45^0 = 113 \cdot 10^{-6}$ Вб).

Задача 2. Магнитный поток сквозь сечение соленоида равен $\Phi = 50$ мкВб. Длина соленоида $l = 50$ см. Найти магнитный момент p_m соленоида, если его витки плотно прилегают друг к другу.

(Ответ: $p_{м.сел.} = 19{,}9$ А/м^2).

Задача 3. Круговой контур помешен в однородное магнитное поле так, что плоскость контура перпендикулярна к направлению магнитного поля. Напряженность магнитного поля $H = 150$ кА/м. По контуру течет ток $I = 2$ А. Радиус контура $R = 2$ см. Какую работу А надо совершить, чтобы повернуть контур на угол $\varphi = 90^0$ вокруг оси, совпадающей с диаметром контура.

(Ответ: $A = IB\pi r^2 = \mu_0 IH\pi r^2 = 5 \cdot 10^{-4}$ Дж).

Задача 4. В длинном прямом соленоиде с радиусом сечения $R = 5$ см и густотой намотки n= 200 витк/м изменяют ток с постоянной скоростью $dI/dt = 5$ А/с. Найти модуль вектора напряжённости вихревого электрического поля как функцию расстояния от оси соленоида $E_{вихр}(r)$ и рассчитать её на расстоянии $r_1 = 3$ см от центра.

(Ответ: $E_{вихр} = -\frac{\mu_0 nR}{2} \cdot \frac{dI}{dt} = 1{,}88 \cdot \frac{10^{-5}\text{В}}{\text{м}}$).

Задача 5. Катушка диаметров $D = 10$ см, состоящая из $N = 500$ витков проволоки, находится в магнитном поле. Найти среднюю ЭДС индукции $\varepsilon_{ср}$, возникающая в этой катушке, если индукция магнитного поля увеличивается в течение времени $t = 0{,}1$ с от 0 до 2 Тл.
(Ответ: $\varepsilon_{ср} = 78{,}5$ В).

Задача 6. Катушка длиной $l = 20$ см и диаметром $D = 3$ см имеет $N = 400$ витков. По катушке идет ток $I = 2$А. Найти индуктивность L катушки и магнитный поток Ф, пронизывающий площадь ее поперечного сечения.

Решение:

Для индуктивности катушки имеем:

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

где площадь поперечного сечения катушки $S = \pi \frac{D^2}{4}$. Откуда $L = \mu\mu_0 \frac{\pi N^2 D^2}{4l} = 0{,}71 \cdot 10^{-3}$ Гн. Магнитный поток, пронизывающий всю катушку равен:

$$N\Phi = LI,$$

тогда магнитный поток, пронизывающий плоскость поперечного сечения, равен:

$$\Phi = \frac{LI}{N} = 3{,}55 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}.$$

(Ответ: $\Phi = \frac{LI}{N} = 3{,}55 \cdot 10^{-6}$ Вб).

Задача 7. Селеноид длиной $l = 50$ см и площадью поперечного $S = 2$ см^2 имеет индуктивность $L = 0{,}2$ мкГн. При каком токе I объемная плотность энергии магнитного поля внутри селеноида $W_0 = 1$ мДж/м^3?

(Ответ: $I = \sqrt{\frac{2lSW_0}{L}} = 1$ А).

Задача 8. Через катушку, индуктивность которой $L = 21$ мГн, течет ток, изменяющийся со временем по закону $I = I_0 \sin \omega t$, где $I_0 = 5$ А, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ и $T = 0{,}02\,c$. Найти зависимость от времени t: а) Э.Д.С. ε самоиндукции, возникающей в катушке; б) Энергии W магнитного поля катушки.

Решение:

а) ЭДС самоиндукции определяется формулой:

$$\varepsilon_c = -L \frac{dI}{dt}. \quad (1)$$

По условию ток изменяется со временем по закону:

$$I = I_0 \sin \omega t. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), получаем:

$$\varepsilon_c = -L \frac{d}{dt}(I_0 \sin \omega t) = -LI_0 \omega \cos \omega t,$$

где $\omega = \frac{2\pi}{T}$, тогда $\varepsilon_c = -33 \cos 100\pi t$.

б) Магнитная энергия контура с током:

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

или с учетом (2) имеем:

$$W = \frac{LI_0{}^2 sin^2 \omega t}{2} = 0{,}263\ sin^2 100\pi t.$$

(Ответ: $W = \frac{LI_0{}^2 sin^2 \omega t}{2} = 0{,}263\ sin^2 100\pi t$*).*

Основные физические постоянные

Скорость света в вакууме	$c = 2{,}998 \cdot 10^8$ м/с
Гравитационная постоянная	$G = 6{,}672 \cdot 10^{-11}$ Н·м^2/кг^2
Постоянная Авогадро	$N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	R = 8,314 Дж/моль·К
Постоянная Больцмана	$k = 1{,}380 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Атомная единица массы	1 а. е. м. = $1{,}660 \cdot 10^{-27}$ кг
Объем моля идеального газа при нормальных условиях ($T_н$ = 273,15 К(0°С), $p_н$ = 1 атм = $1{,}013 \cdot 10^5$ Па)	$V_0 = 2{,}241 \cdot 10^{-2}$ м^3/моль
Нормальное атмосферное давление	$p_н$ = 101 325 Па
Ускорение свободного падения	g = 9,80665 м/с^2
Заряд электрона	$e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Кл
Постоянная Фарадея	$F = N_A \cdot e = 9{,}648 \cdot 10^4$ Кл/моль
Масса электрона	$m_c = 9{,}109534 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса протона	$m_p = 1{,}6726485 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса нейтрона	$m_n = 1{,}6749543 \cdot 10^{-27}$ кг
Удельный заряд электрона	$e / m_e = 1{,}759 \cdot 10^{11}$ Кл/кг
Энергия покоя электрона	$m_e c^2$ = 0,5110034 МэВ
Энергия покоя протона	$m_p c^2$ = 938,2796 МэВ
Энергия покоя нейтрона	$m_n c^2$ = 939,5731 МэВ
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5{,}670 \cdot 10^{-8}$ Вт/м^2·К^4
Постоянная Вина	$b = \lambda_{max} T = 2{,}89782 \cdot 10^{-3}$ м·К
Постоянная Ридберга	$R_\infty = \mu_0{}^2 m_e c^3 e^4/(8h^3) = 1{,}097373143 \cdot 10^7$ м$^{-1}$
Постоянная Планка	$h = 6{,}626176 \cdot 10^{-34}$ Дж·с $\hbar = h/2\pi = 1{,}054 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Электрическая постоянная	$\varepsilon_0 = 0{,}885 \cdot 10^{-11}$ Ф/м
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 1{,}257 \cdot 10^{-6}$ Гн/м
Радиус Бора	$r_Б = 0{,}529 \cdot 10^{-10}$ м
Классический радиус электрона	$r_e = 2{,}82 \cdot 10^{-15}$ м
Комптоновская длина волны электрона	$\Lambda = h/(m_e c) = 2{,}4263089 \cdot 10^{-12}$ м
Энергия, соответствующая 1 а. е. м.	931,5016 МэВ
Электронвольт	1 эВ = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Дж
Масса атома водорода ^{1}H	1,07825036 а. е. м.
Масса атома дейтерия ^{2}H	2,014101795 а. е. м.
Масса атома гелия-4 ^{4}He	4,002603267 а. е. м.

Критерии оценки:

- оценка **«отлично»** выставляется студенту, если задание по работе выполнено в полном объеме. Студент точно ответил на контрольные вопросы, свободно ориентируется в предложенном решении, может его модифицировать при изменении условия задачи. Отчет выполнен аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями;

- оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если задание по работе выполнено в полном объеме. Студент ответил на теоретические вопросы, испытывая небольшие затруднения. Качество оформления отчета к работе не полностью соответствует требованиям;
- оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если студент правильно выполнил задание к работе. Составил отчет в установленной форме, представил решения большинства заданий, предусмотренных в работе. Студент не может полностью объяснить полученные результаты;
- оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, если студент не выполнил все задания работы и не может объяснить полученные результаты.

Вопросы для коллоквиумов, собеседования

Первый коллоквиум

1. Два рода электричества. Закон Кулон, его экспериментальная проверка и представление в различных системах.
2. Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Поле точечного заряда. Принцип суперпозиции.
3. Вектор электрического смещения в вакууме. Поток вектора смещения. Теорема Гаусса, ее интегральное и дифференциальное представление.
4. Расчет полей с использованием теоремы Остроградского – Гаусса для зарядов, распределенных по объему, поверхности и вдоль нити.
5. Потенциальность электростатического поля. Математический критерий потенциальности поля. Потенциал, разность потенциалов.
6. Эквипотенциальные поверхности и силовые линии; их ортогональность. Связь $\vec{E}$ и φ.
7. Расчет электрического поля по заданной напряженности или напряжения.
8. Проводники в электрическом поле. Потенциал проводника. Электроемкость проводника. Потенциальные и емкостные коэффициенты.
9. Конденсаторы. Емкость конденсатора. Емкость простых конденсаторов. Соединение конденсаторов.
10. Собственная, взаимная и полная энергия системы зарядов.
11. Энергия и плотность энергии электростатического поля.
12. Диполь. Поле диполя. Диполь в электростатическом поле. Энергия диполя в электрическом поле.
13. Диэлектрики в электрическом поле. Вектор поляризации, его связь с поверхностной плотностью связанных зарядов.
14. Циркуляция вектора поляризации и связанные заряды - их связь (в интегральной и дифференциальной формах).
15. Векторы напряженности и смещения в диэлектриках. Их связь в диэлектриках.
16. Изотропные диэлектрики. Поляризуемость молекул. Электронная теория поляризации неполярных диэлектриков.
17. Электронная теория поляризации полярных диэлектриков; зависимость их диэлектрической проницаемости от температуры.

18. Преломление линий $\vec{E}$ и $\vec{D}$ на границе раздела двух диэлектриков.
19. Постоянный электрический ток: линия и трубка тока. Уравнение стационарности и непрерывности.
20. Плотность тока, сила тока. Зависимость плотности тока от заряда, скорости и концентрации носителей .
21. Закон Ома (в интегральной и дифференциальной формах). Сопротивление проводников и его зависимость от температуры. Сверхпроводимость.
22. Закон Джоуля – Ленца (в интегральной и дифференциальной формах). Плотность мощности.
23. Замкнутая цепь. Источник тока. ЭДС источник тока. Закон Ома для участка неоднородной цепи.
24. ЭДС источника и напряжение на полюсах источника. ЭДС источника и скачки потенциалов на полюсах источника.
25. Разветвленные цепи. Первое правило Кирхгоффа, его обоснование и практическое применение.
26. Разветвленные цепи. Второе правило Кирхгоффа, его обоснование и практическое применение.
27. Электронный характер проводимости металлов. Опыты Милликена, Толмена и Стюарта.
28. Классическая электронная теория и объяснение ею закона Ома и Джоуля – Ленца.

Второй коллоквиум

1. Затруднения классической электронной теории и элементы зонной (квантовой) теории.
2. Природа энергетических зон в твердом теле и их связь с дискретными энергетическими уровнями электронов в атоме.
3. Объяснение свойств металлов, полупроводников и диэлектриков на основе зонных представлений.
4. Собственные полупроводники: объяснение их электропроводности на основе зонных представлений.
5. Примесные полупроводники: объяснение их электропроводности на основе зонных представлений.
6. Контактная разность потенциалов, термо ЭДС. Термопара, термобатареи.
7. Контакт металла и полупроводника, p – n переход. Выпрямляющее действие контакта.
8. Электрический ток в вакууме. Термоэмиссия. Законы Богуславского – Ленгмюра и Ричардсона – Дэшмэна.
9. Электропроводность жидкостей, электролитическая диссоциация. Коэффициент диссоциации. Закон Освальда.
10. Электропроводность жидкостей, ее зависимость от концентрации и подвижности носителей. Электролиз. Законы Фарадея.
11. Электропроводность газов. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. Ионизация и рекомбинация. Электропроводность газов при малых токах.

12. Переход несамостоятельного разряда в самостоятельный. Условие перехода. Типы самостоятельных разрядов и их особенности.
13. Стационарное магнитное поле; методы регистрации и измерения.
14. Вектор магнитной индукции: его определение и единицы измерения.
15. Магнитное поле элемента тока. Закон Био-Савара-Лапласа – как теоретическое обобщение экспериментальных исследований.
16. Системы единиц CGSE, CGSM и СИ. Единицы измерения электромагнитных величин в этих системах.
17. Магнитное напряжение. Закон полного тока в интегральной и дифференциальной формах.
18. Магнитное поле контура с током. Магнитный момент контура с током.
19. Магнитное поле движущихся зарядов; его величина и направление.
20. Действие магнитного поля на элемент тока. Закон Ампера. Правило левой руки.
21. Действие магнитного поля на движущиеся заряды. Сила Лоренца, его ортогональность движению зарядов.
22. Действие магнитного поля на контур с током. Вращающий момент рамки в поле.
23. Магнетики. Вектор намагничивания, его связь с линейной плотностью поверхностных токов.
24. Вектор напряженности магнитного поля в магнетике. Его связь с напряженностью поля без магнетика.
25. Вектор индукции магнитного поля в магнетике, его связь с намагниченностью и напряженностью магнитного поля.
26. Изотропные магнетики: связь их намагничинности с напряженностью поля.
27. Изотропные магнетики: их магнитная проницаемость и восприимчивость.
28. Молекулярные токи, природа молекулярных токов. Магнитный момент электрона в атоме, его прецессия во внешнем магнитном поле.

Третий коллоквием

1. Диамагнетики. Природа диамагнетизма. Свойства диамагнетиков.
2. Парамагнетики. Природа парамагнетизма. Свойства парамагнетиков. Зависимость их магнитной восприимчивости от температуры.
3. Ферромагнетизм. Природа ферромагнетизма. Спонтанное намагничивание и домены. Гистерезисные явления.
4. Законы магнетизма при наличии магнетиков.
5. Преломление линий $\vec{B}$ и $\vec{H}$ на границе раздела двух магнетиков. Непрерывность линий напряженности на границе раздела магнетиков.
6. Поток индукции магнитного поля. Теорема Остроградского – Гаусса для магнитного поля (в интегральной и дифференциальной формах).
7. Работа проводника с током и контура с током в магнитном поле. Источник этой работы.
8. Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. ЭДС индукции.
9. ЭДС индукции и источники сторонних сил. Первое основное положение теории Максвелла. Вихревое электрическое поле.

10. Явление самоиндукции. Индуктивность контура и методы ее расчета.
11. ЭДС самоиндукции, ее проявления (экстратоки замыкания и размыкания).
12. Взаимная индукция и взаимная индуктивность. ЭДС взаимной индукции. Взаимная индуктивность – как алгебраическая величина.
13. Собственная и взаимная энергия токов. Полная энергия токов.
14. Энергия и плотность энергии магнитного поля. Связь сил и энергии магнитного поля.
15. Вихревое электрическое поле, вихревые токи. Токи Фуко. Скин – эффект.
16. Токи смещения. Плотность полного тока. Второе основное положение теории Максвелла.
17. Уравнения Максвелла в интегральной форме и их физический смысл.
18. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме и их физический смысл.
19. Материальные уравнения Максвелла.
20. Уравнения Максвелла. Симметрия и линейность уравнений Максвелла.
21. Относительность электромагнитных полей. Формулы преобразования полей (нерелятивистский случай).
22. Собственные и затухающие электромагнитные колебания. Собственная частота. Частота затухающих колебаний.
23. Величины, характеризующие затухание. Добротность контура и декремент затухания.
24. Вынужденные электромагнитные колебания. Математическое описание и практическая реализация.
25. Переменный ток. Закон Ома для цепи переменного тока. Амплитудная и фазовая резонансные кривые.
26. R, L и C в цепи переменного тока. Резонансы в цепях переменного тока.
27. Мощность, выделяемая в цепи переменного тока. Коэффициент мощности переменного тока.
28. Получение и передача переменного тока. Трансформация и коэффициент трансформации переменного тока.

Критерии оценок следующие:

- **100 баллов** – *студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности.*

- **90 баллов** - *студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает отдельные неточности.*

- **80 баллов** - *студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает некоторые ошибки общего характера*.

- 70 баллов - *студент хорошо понимает пройденный материал, но не может теоретически обосновывать некоторые выводы.*

- 60 баллов – *студент отвечает в основном правильно, но чувствуется механическое заучивание материала.*

- 50 баллов – *в ответе студента имеются существенные недостатки, материал охвачен «половинчато», в рассуждениях допускаются ошибки.*

- 40 баллов – *ответ студента правилен лишь частично, при разъяснении материала допускаются серьезные ошибки.*

- 20-30 баллов - *студент имеет общее представление о теме, но не умеет логически обосновать свои мысли.*

- 10 баллов - *студент имеет лишь частичное представление о теме*.

- 0 баллов – *нет ответа*.

Эти критерии носят в основном ориентировочный характер. Если в билете имеются задачи, они могут быть более четкими.

ПРИМЕРЫ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ

1. Электростатическое поле – это:

а) вид материи, посредством которой осуществляется взаимное притяжение тел;

б) вид материи, при которой движущиеся электрические заряды взаимодействуют с другими движущимися электрическими зарядами;

в) вид материи, посредством которой взаимодействуют неподвижные электрические заряды;

г) линия, в каждой точке которой касательная совпадает с вектором напряженности поля;

д) вектор, равный по величине силе, действующей на единичный положительный заряд и совпадающий с ней по направлению.

2. Укажите правильную формулировку теоремы Гаусса.

а) напряженность поля, создаваемого электрическими зарядами, пропорциональна алгебраической сумме этих зарядов

б) поток напряженности, пронизывающий любую замкнутую поверхность, окружающую тела, пропорционален алгебраической сумме масс окруженных тел.

в) поток напряженности, пронизывающий любую замкнутую поверхность, окружающую электрические заряды, пропорционален алгебраической сумме окруженных зарядов.

г) поток напряженности, пронизывающий любую не замкнутую поверхность, окружающую электрические заряды, пропорционален алгебраической сумме окруженных зарядов.

д) поток напряженности, пронизывающий любую замкнутую поверхность, окружающую электрические заряды, пропорционален геометрической сумме окруженных зарядов

3. Что такое поток вектора напряженности Е?

1) E dS2) $\left(\vec{E}_n d\vec{S}\right)$ 3) * $\vec{E}dS\cos\alpha$ 4) $\left(\vec{E}\ d\vec{S}\right)$ 5) E dS sinα

4. Что такое напряженность поля?

1) $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ 2) $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\frac{\vec{r}}{r}$ 3) $\frac{\vec{F}}{q}$ 4) $\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$ 5) $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{r}$

5. Закон сохранения электрических зарядов гласит:

а) электрические заряды не могут уничтожаться и создаваться;

б) в не изолированной системе алгебраическая сумма электрических зарядов остается постоянной;

в) в изолированной системе алгебраическая сумма электрических зарядов равна нулю;

г) в изолированной системе алгебраическая сумма электрических зарядов остается постоянной;

д) электрические заряды в процессах перемещаются с одного тела на другое или перераспределяются в пределах одного тела.

6. От чего зависит напряженность электрического поля?

1) от величины пробного заряда и силы, действующей на него;

2) от силы, действующей на пробный заряд;

3) от заряда, создающего поле, и от среды;

4) от величины заряда, создающего поле, удаленности создателя поля и от среды;

5) от заряда, создающего поле, среды, где определяется поле, величины пробного заряда.

7. Два точечных заряда q_1 и q_2 находятся на расстоянии r друг от друга. Какова сила действия первого заряда на второй?

1) $F=\frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ 2) $\int D_n dS = q$ 3) $\frac{|q_1||q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ 4) $\vec{F}_{11}=-\frac{|q_1||q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\vec{r}$ 5) $\frac{q_1 q_2}{r^2}$.

8. Какая из нижеперечисленных формул определяет выражение для напряженности электрического поля точечного заряда?

1) $\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R^2}$; 2) $\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}$; 3) $\frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 R}$; 4) $\frac{A}{q}$; 5) $\frac{F}{q}$.

9. Какая из перечисленных формул определяет выражение для потенциала поля точечного заряда?

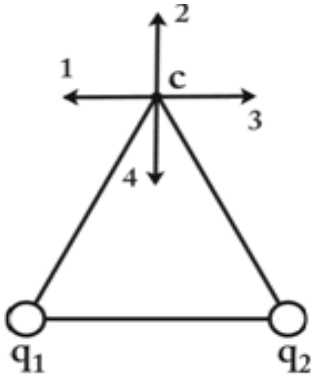
1) $\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R^2}$; 2) $\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}$; 3) $\frac{A}{q}$; 4) $\frac{F}{q}$; 5) IR.

10. Сила взаимодействия двух отрицательно заряженных частиц, находящихся на расстоянии R друг от друга равна F. Заряд одной из частиц увеличили по модулю в 2 раза. Как необходимо изменить расстояние между двумя точечными электрическими зарядами, чтобы сила их взаимодействия не изменилась?

а) увеличить в 2 раза; б) уменьшить в 2 раза; в) увеличить в $\sqrt{2}$ раз; г) уменьшить в $\sqrt{2}$ раз д) не менять

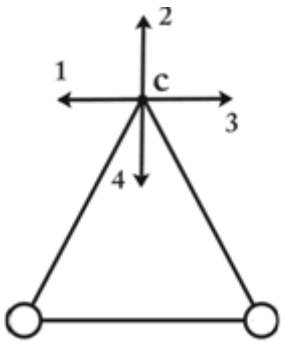
11. Электрическое поле создано одинаковыми по величине точечными зарядами q1 и q2

Если $q_1=q_2=+q$, а расстояние между зарядами и от зарядов до точки С равно а, то вектор напряженности поля в точке С ориентирован в направлении:



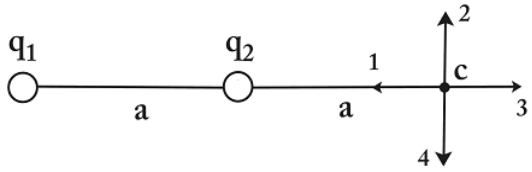
1) 4 2) 2 3) 1 4) 3

Электрическое поле создано одинаковыми по величине точечными зарядами q1 и q2.
Если q1=-q, q2=+q, а расстояние между зарядами и от зарядов до точки С равно а, то вектор напряженности поля в точке С ориентирован в направлении:



1) 4 2) 2 3) 3 4) 1

12. Электрическое поле создано одинаковыми по величине точечными зарядами q_1 и q_2.
Если q_1=-q, q_2=+q, а расстояние между зарядами и от q_2 до точки С равно а, то вектор напряженности поля в точке С ориентирован в направлении:



1) 1 2) 2 3) 3 4) 4.

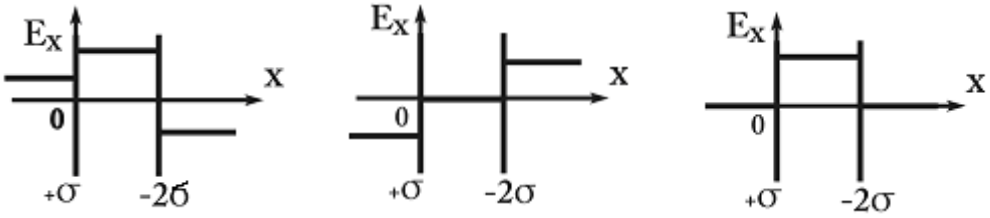
13. Два точечных заряда q_1 и $q_2=4q_1$ расположены на расстоянии а друг от друга. В какой точке поля напряженность равна нулю?

1) на расстоянии $\frac{2a}{3}$ от заряда q_1; 2) на расстоянии $\frac{a}{3}$ от заряда q_1;

3) на расстоянии $\frac{a}{2}$ от заряда q_1; 4) на расстоянии $\frac{a}{3}$ от заряда q_2;

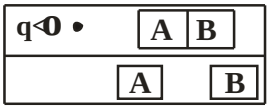
5) среди ответов нет правильного.

14. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными плоскостями, заряженными с поверхностными плотностями +σ и -2σ. Качественную зависимость проекции напряженности поля E_x от координаты x вне пластин и между пластинами отражает график:

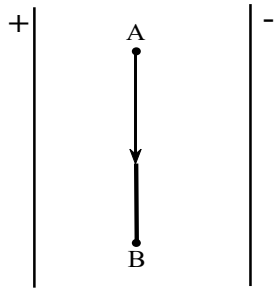


1) 2) 3).

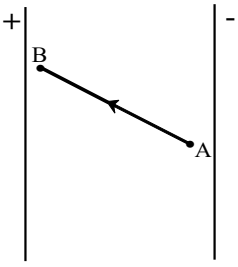
15. Незаряженный проводник внесен в поле отрицательного заряда, а затем разделен на две части – А и В. После разделения заряд каждой части будет …



1) А – положительный, В – отрицательный;
2) А и В отрицательны;
3) А и В положительны;
4) А – отрицательный, В – положительный.



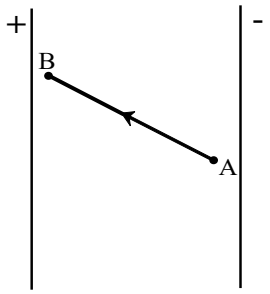
16. В электрическом поле плоского



конденсатора перемещается заряд +q в направлении, указанном стрелкой. Тогда работа сил поля на участке АВ…
1) отрицательна 2) равна нулю 3) положительна.

17. В электрическом поле плоского конденсатора перемещается заряд -q в направлении, указанном стрелкой. Тогда работа сил поля на участке АВ…
1) положительна; 2) равна нулю; 3) отрицательна.

18. В электрическом поле плоского конденсатора перемещается заряд +q в направлении, указанном стрелкой. Тогда работа сил поля на участке АВ
1) положительна; 2) равна нулю; 3) отрицательна.



19. Кабель длиной 100 м имеет ёмкость 11 нФ. Найдите отношение наружного диаметра кабеля к внутреннему, если диэлектрическая постоянная вещества между жилами ε=2:
1) 6; 2) 5,4; 3) 4; 4) 3,5; 5) 2,7.

20. Шар радиуса R=0,5м имеет такую же емкость, что и плоский конденсатор с площадью обкладок S=630 см^2. Определите расстояние между обкладками d этого конденсатора, если между обкладками находится та же среда, что и вокруг шара.
1) 1 см; 2) 2,5 см; 3) 30 см; 4) π см; 5) 5 см.

21. Как выглядит закон Кулона в дифференциальной форме?
1) $rot\vec{E} = \rho$; 2) $div\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$; 3) $rot\vec{D} = -\rho$; 4) $\frac{d\rho}{dt} = rot\vec{E}$; 5) $div\vec{j} = 0$.

22. Насколько изменится ёмкость цилиндрического конденсатора, если увеличить радиус внешнего цилиндра в 2 раза?
1) увеличится в 2 раза; 2) увеличится в ln 2 раза; 3) уменьшится в ln 2 раза; 4) уменьшится в 2 раза; 5) не верен ни один ответ.

23. Плоский воздушный конденсатор заряжен до разности потенциалов U=25В и отключен от источника тока. Какой будет разность потенциалов, если расстояние между обкладками конденсатора увеличить в 4 раза?
а)12,5В; б)25В; в)50В; г) 75В; д) 100В.

24. Энергия электрического поля плоского конденсатора рассчитывается по формуле:
а) $W = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$, б) $W = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2Sd}$, в) $\omega = \frac{c\varphi^2}{2}$, г) $W = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2 Sd}{2}$, д) $\omega = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}$.

25. Шар радиуса R соединили с таким же незаряженным шаром. Как изменилась энергия первого шара?
1) увеличилась в 4 раза; 2) увеличилась в 2 раза; 3) не изменилась; 4) уменьшилась в 2 раза; 5) уменьшилась в 2 раза.

26. В источнике с ЭДС 1,1 В ток короткого замыкания равен 5.5А. Какой ток пройдет в цепи, если к источнику подсоединить сопротивление в 2 Ом?
1) 0,1 А; 2) 0,5 А; 3) 0,22 А; 4) 0,05 А; 5) 0,4 А.

27. Конденсатор емкостью 100мкФ заряжается до напряжения 500В за 0,5 с. Каково среднее значение силы зарядного тока?

1) 0,1 А; 2) 0,2 А; 3) 0,15 А; 4) 0,25 А; 5) 0,01 А.

28. Сопротивление одного из последовательно включенных проводников в n раз больше сопротивления другого. Во сколько раз изменится сила тока в цепи (напряжение постоянно), если эти проводники включить параллельно?

1) увеличится в $\frac{(n-1)^2}{n}$ раз; 2) увеличится в $\frac{(n+1)^2}{n}$ раз;) увеличится в $\frac{n}{n-1}$ раз; 4) увеличится в $\frac{(n-1)^2}{n^2}$ раз; 5) уменьшится в $\frac{(n+1)^2}{n}$ раз.

29. Коэффициент трансформации трансформатора 0,2. Какой ток пройдет по вторичной обмотке, если по первичной проходит ток 1А?

1) 5А; 2) 25А; 3) 0,04А; 4) 1А; 5) 0,2А.

30. К источнику тока, ЭДС которого 36В, а внутреннее сопротивление 1Ом, подключены параллельно два резистора с сопротивлением 4Ом каждый. Каково напряжение на выходе источника тока?

1) 7,2 В; 2) 28,8 В; 3) 24 В; 4) 12 В; 5) 4 В.

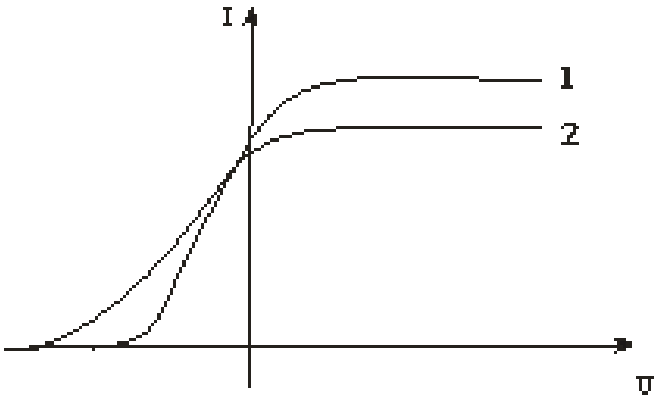
31. Как изменится сопротивление участка цепи, если силу тока увеличить в 4 раза?

1) увеличится 4 раза; 2) уменьшится в 4 раза; 3) увеличится в 2 раза; 4) уменьшится в 2 раза; 5) не изменится.

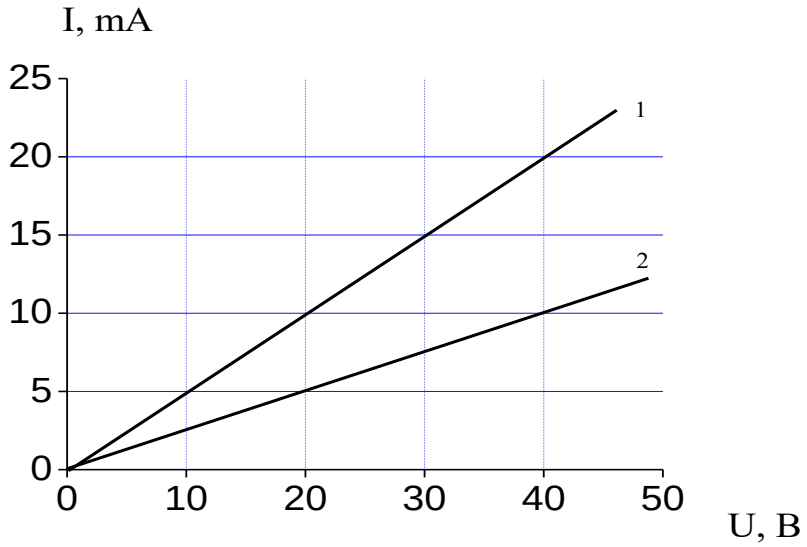
32. На рисунке представлены две вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если Е – освещенность фотокатода, а λ- длина волны падающего на него света, то справедливо следующее утверждении:

1) $\lambda_1 < \lambda_2, E_1 > E_2$; 2) $\lambda_1 > \lambda_2, E_1 < E_2$;

3) $\lambda_1 < \lambda_2, E_1 < E_2$; 4) $\lambda_1 > \lambda_2, E_1 > E_2$.

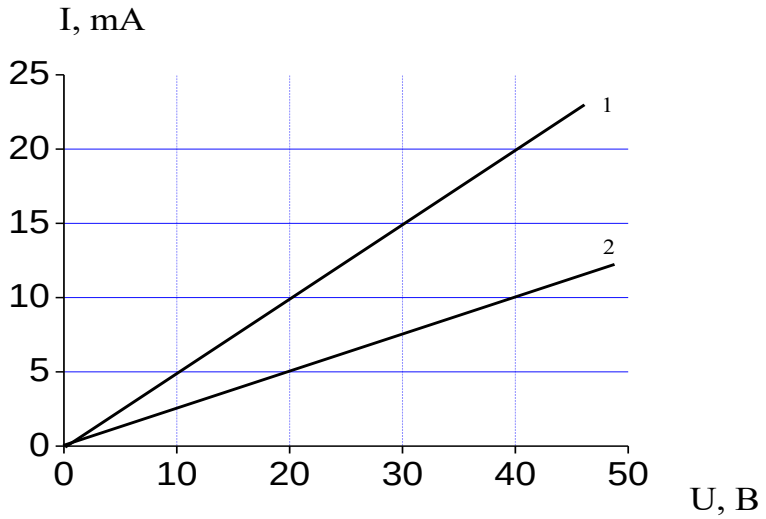


33. Вольтамперная характеристика активных элементов цепи 1 и 2 представлена на рисунке.



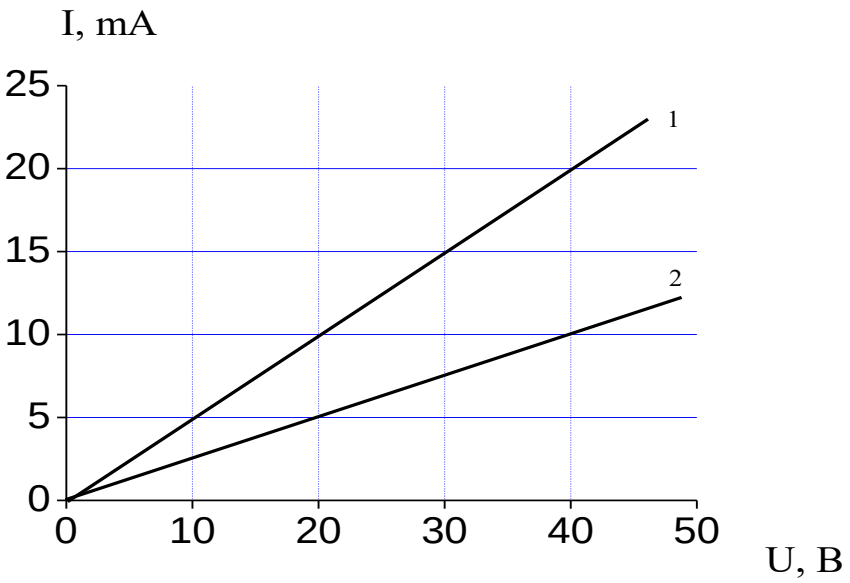
Отношение сопротивлений этих элементов R1/R2:
1) 1/2 Ом; 2) 1/4 Ом; 3) 4 Ом; 4) 2 Ом.

34. Вольтамперная характеристика активных элементов цепи 1 и 2 представлена на рисунке.



На элементе 2 при напряжении 20 В выделяется мощность:
1) 0,5 Вт; 2) 20 Вт; 3) 100 Вт; 4) 0,1 Вт

35. Вольтамперная характеристика активных элементов цепи 1 и 2 представлена на рисунке.



При напряжении 20 В отношение мощностей P_1/P_2 равно:
1) 1; 2) ½; 3) 2; 4) 4.

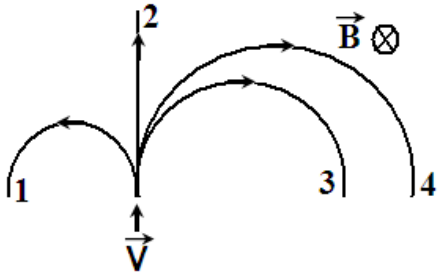
36. Что такое элемент тока?
1) произведение тока на длину проводника;
2) произведение вектора силы тока на длину проводника;
3) произведение вектора плотности тока на элемент объема проводника;
4) все приведенные выше величины;
5) ни одна из них.

37. Определите скорость электронов в проводнике с плотностью тока $1{,}610^7 \frac{A}{м^2}$, если считать концентрацию носителей в нем 10^{28}м$^{-3}$:

1) $10\frac{м}{с}$; 2) $1\frac{м}{с}$; 3) $10^{-1}\frac{м}{с}$; 4) $10^{-2}\frac{м}{с}$; 5) $10^{-3}\frac{м}{с}$.

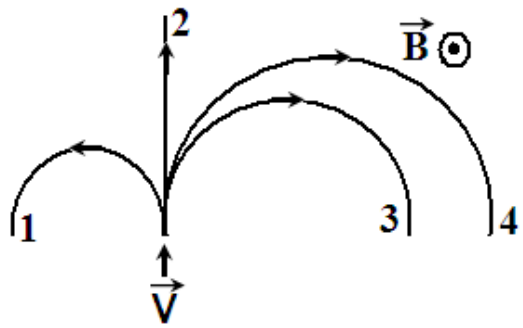
38. Как известно, Ф = BScosα. Укажите, в каком из нижеуказанных случаев возникает ЭДС индукции:
1) при изменении B; 2) при изменении S; 3) при изменении α ; 4) при изменении B и S; 5) при изменении B, S и α.

39. На рисунке указаны траектории заряженных частиц, имеющих одинаковую скорость и влетающих в однородное магнитное поле, перпендикулярное плоскости чертежа. При этом для частицы 1:…



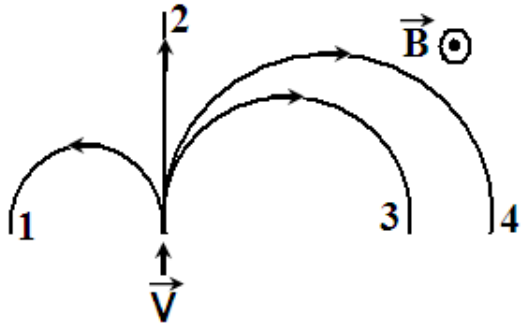
1) q=0 ; 2) q<0; 3) q>0.

40. На рисунке указаны траектории заряженных частиц, имеющих одинаковую скорость и влетающих в однородное магнитное поле, перпендикулярное плоскости чертежа. При этом для частицы 2:…



1) q=0; 2) q<0; 3) q>0.

41. На рисунке указаны траектории заряженных частиц, имеющих одинаковую скорость и влетающих в однородное магнитное поле, перпендикулярное плоскости чертежа. Если заряд частицы положителен, то ее траектория соответствует номеру:…



1) 1; 2) 2; 3) 3 и 4.

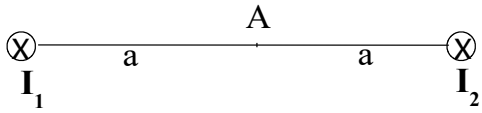
42. Чему равна объемная плотность энергии электромагнитного поля?

1) $\varepsilon\varepsilon_0 E^2$; 2) $\mu\mu_0 H^2$; 3) $\sqrt{\varepsilon\mu}\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}EH$; 4) $\frac{EH}{v}$; 5) все; 6) ни один.

43. Катушка длиной 30 см состоит из 1000 витков. Найдите напряженность магнитного поля внутри катушки, если ток в ней 2 А. Диаметр катушки считать малым по сравнению с ее длиной:

1) $3{,}14\cdot10^{-2}\frac{A}{м}$; 2) $6{,}6\cdot10^{-1}\frac{A}{м}$; 3) $8{,}3\frac{A}{м}$; 4) $2{,}31\cdot10^{2}\frac{A}{м}$; 5) $6{,}67\cdot10^{3}\frac{A}{м}$.

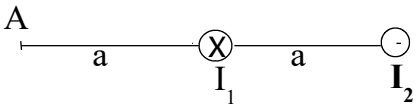
44. Магнитное поле создано двумя параллельными длинными проводниками с точками I_1 и I_2 расположенными перпендикулярно плоскости чертежа. Если $I_1=2I_2$, то вектор B индукции результирующего поля в точке А направлен…



1) вправо, 2) вверх, 3) вниз, 4) влево.

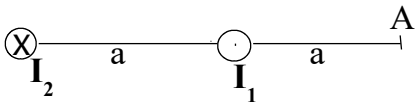
45. Магнитное поле создано двумя параллельными длинными проводниками с точками I_1 и I_2 расположенными перпендикулярно плоскости

чертежа. Если $I_1=2I_2$, то вектор B индукции результирующего поля в точке A направлен…



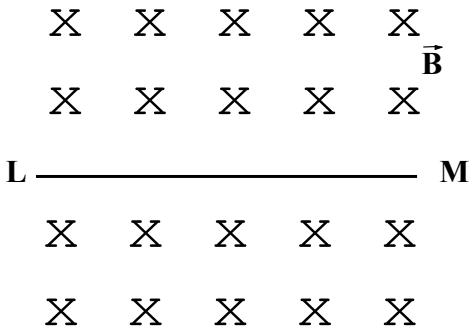
1) вправо, 2) вверх, 3) вниз, 4) влево.

46. Магнитное поле создано двумя параллельными длинными проводниками с точками I_1 и I_2 расположенными перпендикулярно плоскости чертежа. Если $I_1=2I_2$, то вектор B индукции результирующего поля в точке A направлен…



1) влево, 2) вверх, 3) вниз, 4) вправо.

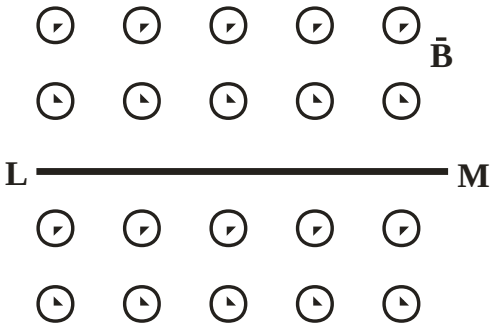
47. На рисунке изображен проводник с током, который помещен в постоянное магнитное поле с индукцией B.



Укажите правильную комбинацию направления тока в проводнике и вектора силы Ампера.

1) ток в направлении M-L; сила Ампера – вверх;
2) ток в направлении M-L; сила Ампера – от нас;
3) ток в направлении L-M; сила Ампера – к нам;
4) ток в направлении L-M; сила Ампера – вверх.

48. На рисунке изображен проводник с током, который помещен в постоянное магнитное поле с индукцией B.



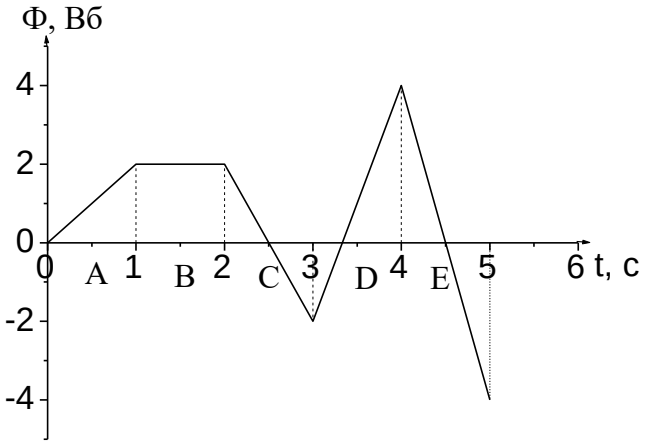
Укажите правильную комбинацию направления тока в проводнике и вектора силы Ампера.

1) ток в направлении L-M; сила Ампера – вниз;
2) ток в направлении L-M; сила Ампера – вверх;
3) ток в направлении M-L; сила Ампера – от нас;
4) ток в направлении M-L; сила Ампера – к нам.

49. По двум катушкам индуктивности 0,4 Гн и 0,5Гн текут токи 1 А и 2 А соответственно. Определите взаимную индуктивность этих контуров, если полная магнитная энергия этих токов равна 1,4 Дж.

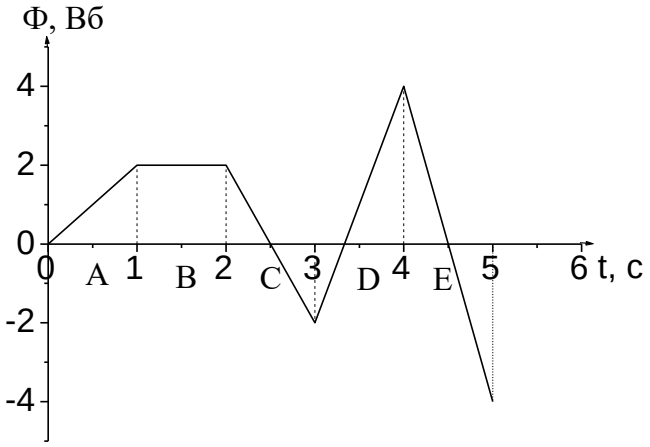
1)1 Гн; 2) 2 Гн; 3) $5 \cdot 10^{-1}$ Гн; 4) $2 \cdot 10^{-1}$ Гн; 5) $5 \cdot 10^{-2}$ Гн.

50. На рисунке представлена зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый замкнутый контур, от времени. ЭДС индукции в контуре положительна и по величине максимальна на интервале…



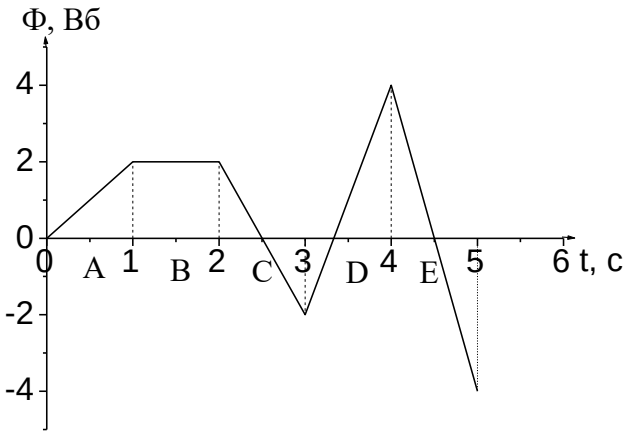
1) E; 2) B; 3) D; 4) A; 5) C.

51. На рисунке представлена зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый замкнутый контур, от времени. ЭДС индукции в контуре отрицательна и по величине минимальна на интервале…



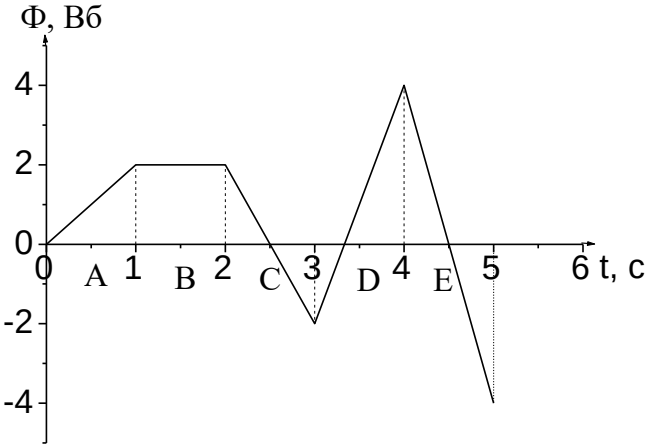
1) D, 2) A, 3) E, 4) B, 5) C.

52. На рисунке представлена зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый замкнутый контур, от времени. ЭДС индукции в контуре по модулю максимальна на интервале…



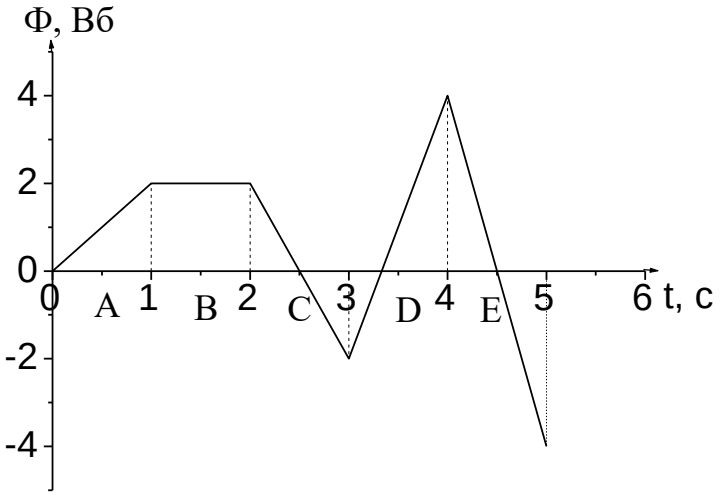
1) D, 2) C, 3) B, 4) A, 5) E.

53. На рисунке представлена зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый замкнутый контур, от времени. ЭДС индукции в контуре отрицательна и по величине максимальна на интервале…



1) E, 2) C, 3) A, 4) D, 5) B.

54. На рисунке представлена зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый замкнутый контур, от времени. ЭДС индукции в контуре положительна и по величине минимальна на интервале…



1) C, 2) B, 3) A, 4) E, 5) D.

Таблица ответов

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	в	в	4	3	2	4	1	1	2
№	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	в	2	4	3	5	1	1	1	1
№	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	3	5	1	2	3	д	г	5	2
№	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	5	2	1	3	5	4	1	4	3
№	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	5	4	5	3	1	33	6	5	3
№	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	2	2	4	1	4	3	5	1	1
№	55								
	3								

КОМПЛЕКТ ЗАДАНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Раздел I. Электростатика

Тема 1.1. Постоянное электростатическое поле. Закон Кулона

1. В вершинах шестиугольника со стороной a=10 см расположены точечные заряды q, $2q$, $3q$, $4q$, $5q$, $6q$ (q=0,1 мкКл). Найти силу F, действующую на точечный заряд q, лежащий в плоскости шестиугольника и равноудаленный от его вершин.

2. В вершинах квадрата со стороной $\mathrm{a} = 10$ см находятся одинаковые по величине заряды q, но чередующиеся по знаку. Какая сила $\boldsymbol{F}$ будет действовать на заряд $+\mathrm{q}$, помещенный в центр квадрата, если $\mathrm{q} = 1$нКл, $\mathrm{Q} = 10$ нКл.

3. Два положительных точечных заряда q и $4q$ закреплены на расстоянии $l = 60$ см друг от друга. Определить, в какой точке на прямой, проходящей через заряды, следует поместить третий заряд так, чтобы он находился в равновесии. Указать, какой знак должен иметь этот заряд для того, чтобы равновесие было устойчивым, если перемещение заряда возможно только вдоль прямой, проходящий через закрепленные заряды.

4. Имеются отрицательный $q_1 = -5q$ и положительный $q_2 = +2q$. Заряды закреплены на расстоянии r друг от друга. Где на линии, соединяющей заряды, следует поместить положительный заряд q_3, чтобы он находился в равновесии?

5. Два точечных заряда q_1 и q_2 находятся на расстоянии r друг от друга. Если расстояние между ними уменьшается на величину $\Delta r = 50$ см, то сила взаимодействия F увеличивается в два раза. Найти расстояние r.

6. Два одинаковых заряженных шарика подвешены в одной точке на нитях одинаковой длины. При этом нити разошлись на угол α. Шарики погружаются в масло плотностью $\rho_0 = 8 \cdot 10^2$ кг/м^3.

7. Какова диэлектрическая проницаемость ε масла, если угол расхождения нитей при погружении шариков в масло остается неизменным? Плотность материала шариков $\rho = 1{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3.

8. Два одинаковых положительных заряда величиной $q = 10$ нКл каждый расположены в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 10$ см. Какая сила F будет действовать на заряд Q, помещенный в третьей вершине треугольника?

9. Тонкий длинный стержень равномерно заряжен с линейной плотностью заряда $\tau = 10$ мкКл/м. На продолжении оси стержня на расстоянии $a = 20$ см от его конца находится точечный заряд $q = 10$ нКл. Определить силу взаимодействия заряженного стержня и точечного заряда.

10. Тонкое кольцо радиуса $R = 10$ см несет равномерно распределенный заряд $q = 0{,}1$ мкКл. На перпендикуляре к плоскости кольца, восставленном из его середины, находится точечный заряд $q_1 = 10$ нКл. Определить силу, действующую на точечный заряд со стороны заряженного кольца, если он удален от центра кольца на $l = 20$ см.

Тема 1.2. Напряженность электростатического поля. Теорема Остроградского – Гаусса

1. В трех вершинах квадрата со стороной $a = 40$ см находятся

одинаковые положительные заряды по $q = 5$ нКл каждый. Найти напряженность поля E в четвертой вершине.

2. Расстояние d между двумя точечными положительными зарядами $q_1 = 9q$ и $q_2 = q$ равно 8 см. На каком расстоянии r от первого заряда находится точка, в которой напряженность поля E зарядов равна нулю? Где находилась бы эта точка, если бы второй заряд был отрицательным?

3. Электростатическое поле создается двумя бесконечными параллельными равномерно одноименными зарядами с поверхностной плотностью соответственно $\sigma_1 = 2$ нКл/м^2 и $\sigma_2 = 4$ нКл/м^2. Определите напряженность электростатического поля E: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей. Постройте график изменения напряженности вдоль линии, перпендикулярной плоскостям

4. Две концентрические металлические заряженные сферы радиусами $R_1 = 6$ см и $R_2 = 10$ см несут соответственно заряды $q_1 = 1$ нКл и $q_2 = -0{,}5$ нКл. Найти напряженность E поля в точках, отстоящих от центра сфер на расстояниях: 1) $r_1 = 5$ см; 2) $r_2 = 9$ см; 3) $r = 15$ см.

5. Расстояние между двумя длинными тонкими проволоками, расположенными параллельно друг другу, $d = 16$ см. Проволоки равномерно заряжены разноименными зарядами с линейной плотностью $|\tau| = 150$ мкКл/м. Какова напряженность поля E в точке, удаленной на $a = 10$ см как от первой, так и от второй проволоки?

6. Прямой металлический стержень диаметром $d = 5$ см и длиной $l = 4$ м несет равномерно распределенный по его поверхности заряд $q = 500$ нКл. Определить напряженность поля E в точке, находящейся против середины стержня на расстоянии $a = 1$см от его поверхности.

7. На отрезке тонкого прямого проводника длиной $l = 10$ см равномерно распределен заряд с линейной плотностью $\tau = 3$ мкКл/м. Вычислить напряженность E, создаваемую этим зарядом в точке, расположенной на оси проводника и удаленной от ближайшего конца отрезка на расстояние, равное длине этого отрезка. Диэлектрик - воздух.

8. Тонкое полукольцо радиусом $R = 20$ см заряжено равномерно зарядом $q = 0{,}7$ нКл. Найти модуль напряженности электрического поля E в центре кривизны этого полукольца.

9. Тонкое кольцо радиусом $R = 8$ см несет заряд, равномерно распределенный с линейной плотностью $\gamma = 10$ нКл/см. Какова напряженность электрического поля в точке, равноудаленной от всех точек кольца на расстояние $r = 10$ см?

10. Тонкий стержень длиной $l = 12$ см заряжен с линейной плотностью $\gamma = 200$ нКл/см. Найти напряженность электрического поля E в точке, находящейся на расстоянии $r = 5$ см от стержня, против его середины.

Тема 1.3. Потенциал. Энергия электростатического поля. Работа по перемещению заряда в поле

1. Определить потенциал φ электрического поля в точке, удаленной от зарядов $q_1 = -0{,}2$ мкКл и $q_2 = 0{,}2$ мкКл соответственно на $r_1 = 15$ см и $r_2 =$

25 см. Определить также минимальное и максимальное расстояния r между зарядами, при которых возможно решение.

2. Потенциальную энергию W системы трех точечных зарядов $q_1 = 10$ нКл, $q_2 = 20$ нКл и $q_3 = -30$ нКл, расположенных в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 10$ см.

3. Тонкий стержень длиной $l = 10$ см несет равномерно распределенный заряд $q = 1$ нКл. Определить потенциал φ электрического поля в точке, лежащей на оси стержня на расстоянии $a = 20$ см от ближайшего его конца.

4. Бесконечно длинная тонкая прямая нить несет равномерно распределенный по длине нити заряд с линейной плотностью $\tau = 0{,}01$ мкКл/м. Определить разность потенциалов $\Delta\varphi$ двух точек поля, удаленных от нити на $r_1 = 2$ см и $r_2 = 4$ см.

5. Металлический шар радиусом $R = 5$ см несет заряд $q = 1$ нКл. Шар окружен слоем эбонита толщиной $d = 2$ см. Вычислить потенциал φ электрического поля на расстоянии: 1) $r_1 = 3$ см; 2) $r_2 = 6$ см; 3) $r_3 = 9$ см от центра шара.

6. Заряд распределен равномерно по бесконечной плоскости с поверхностной плотностью $\sigma = 10$ нКл/м^2. Определить разность потенциалов $\Delta\varphi$ двух точек поля, одна из которых находится на плоскости, а другая удалена от плоскости на расстояние $a = 10$ см.

7. Точечные заряды $q_1 = 1$ мкКл и $q_2 = 0{,}1$ мкКл находятся на расстоянии $r_1 = 1$ см друг от друга. Какую работу A совершат силы поля, если второй заряд, отталкиваясь от первого, удалится от него на расстояние: 1) $r_2 = 10$ м; 2) $r_1 = \infty$?

8. Заряженная частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 600$ кВ, приобрела скорость $v = 5{,}4$ Мм/с. Определить удельный заряд частицы (отношение заряда в массе).

9. Электрон движется вдоль силовой линии однородного электрического поля. В некоторой точке поля с потенциалом $\varphi_1 = 100$ В электрон имел скорость $v_1 = 6$ Мм/с. Определить потенциал φ_2 точки поля, дойдя до которой электрон потерял половину своей скорости.

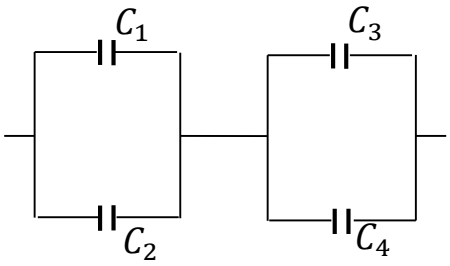
10. Электрон влетел в плоский конденсатор, находясь на одинаковом расстоянии от каждой пластины и имея скорость $v = 10$ Мм/с, направленную параллельно пластинам. Расстояние между пластинами $d = 2$ см, длина каждой пластины $l = 10$ см. Какую наименьшую разность потенциалов U нужно приложить к пластинам, чтобы электрон не вылетел из конденсатора?

Тема 1.4. Электроемкость. Конденсаторы

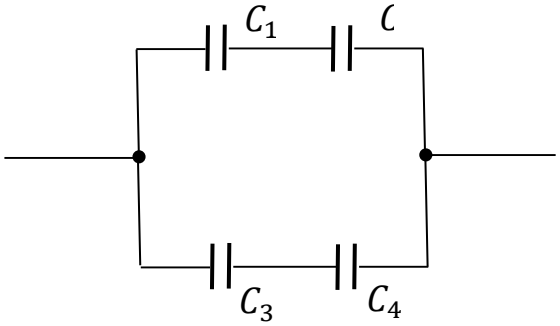
1. Между пластинами плоского конденсатора, заряженного до разности потенциалов $U = 600$ В, находятся два слоя диэлектриков: стекла (диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_1 = 7$) толщиной $d_1 = 7$ мм и эбонита ($\varepsilon_2 = 3$) толщиной $d_2 = 3$ мм. Площадь каждой пластины конденсатора $S = 200$ см^2. Найти: 1) электроемкость конденсатора.

2. Три одинаковых плоских конденсатора соединены последовательно. Емкость такой батареи конденсаторов $C = 80$ нФ. Площадь каждой пластины

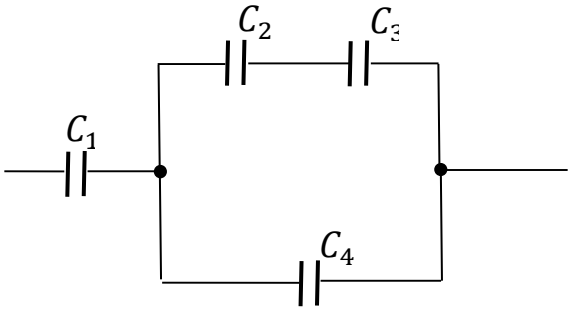
$S = 100$ см^2, диэлектрик стекло. Диэлектрическая проницаемость стекла $\varepsilon = 7$. Какова толщина стекла?



3. Конденсаторы $C_1 = 1 \cdot 10^{-2}$ мкФ, $C_2 = 4 \cdot 10^{-2}$ мкФ, $C_3 = 2 \cdot 10^{-2}$ мкФ и $C_4 = 3 \cdot 10^{-2}$ мкФ соединены так, как это показано на рисунке. Определить электроемкость соединения конденсаторов.



4. Конденсаторы емкостями $C_1 = 2$ мкФ, $C_2 = 2$ мкФ, $C_3 = 3$ мкФ, $C_4 = 1$ мкФ соединены так, как это указано на рисунке. Напряжение на обкладках четвертого конденсатора $U = 100$ В. Найти заряды и разности потенциалов на обкладках каждого конденсатора, а также общий заряд и разность потенциалов батареи конденсаторов.



5. Две концентрические металлические сферы радиусом $R_1 = 2$ см и $R_2 = 2{,}1$ см образуют сферический конденсатор. Определить его электроемкость, если пространство между сферами заполнено парафином с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2$.

6. На плоский воздушный конденсатор с толщиной воздушного слоя 1,2 см подается напряжение 32 кВ. Будет ли пробит конденсатор, если предельная напряженность электрического поля в воздухе $E^* = 30$ кВ/см?

7. Плоский конденсатор с площадью пластин $S = 200$ см^2 каждая заряжен до разности потенциалов $U = 2$ кВ. Расстояние между пластинами $d = 2$ см.

Диэлектрик – стекло. Определить энергию W поля конденсатора и плотность энергии w поля.

8. Два металлических шарика радиусами $r_1 = 5$ и $r_2 = 10$ см имеют заряды $q_1 = 40$ нКл и $q_2 = -20$ нКл соответственно. Найти энергию W, которая выделится при разрядке, если шары соединить проводником.

9. Сфера радиусом $R = 5$ см заряжена равномерно с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 10$ нКл/м.^{2} Определить энергию электрического поля W, сосредоточенную в окружающем пространстве между сферическими поверхностями, радиусами $r_1 = 10$ и $r_2 = 20$ см.

10. Два конденсатора емкостями $C_1 = 5$ мкФ и $C_2 = 8$ мкФ соединены последовательно и присоединены к батарее с ЭДС $U = 80$ В. Определить заряды q_1 и q_2 конденсаторов и разности потенциалов U_1 и U_2 между их обкладками.

Раздел II. Электрический ток

Тема 2.1. Основные законы постоянного тока

1. Зашунтированный амперметр измеряет токи силой до 10 А. Какую наибольшую силу тока может измерить этот амперметр без шунта, если сопротивление амперметра $R_A = 0{,}02$ Ом и сопротивление шунта $R_{\text{ш}} = 5$ мОм?

2. Две группы 2-х последовательно соединенных элементов соединены параллельно. ЭДС каждого элемента $\varepsilon = 1{,}2$ В, внутреннее сопротивление $r = 0{,}2$ Ом. Полученная батарея замкнута на внешнее сопротивление $R = 1{,}5$ Ом. Найти силу тока во внешней цепи.

3. Два последовательно соединенных элемента с одинаковыми ЭДС $\varepsilon = 2$ В и внутренними сопротивлениями $r = 10$ Ом и 1,5 Ом замкнуты на внешнее сопротивление $R = 0{,}5$ Ом. Найти разность потенциалов U на зажимах каждого элемента.

4. Какое дополнительное сопротивление R необходимо присоединить к вольтметру с сопротивлением $R_V = 1{,}5$ кОм, чтобы цена деления на шкале увеличилась в пять раз?

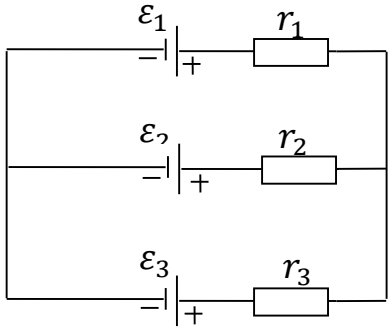
5. Вольтметр, рассчитанный на измерение напряжения до $U_V = 20$ В, необходимо включить в сеть с напряжением $U = 120$ В. Какое для этого потребуется дополнительное сопротивление, если ток в вольтметре не должен превышать $I_V = 5$ мА?

6. К зажимам источника с ЭДС $\varepsilon = 1{,}8$ В и внутренним сопротивлением $r = 0{,}25$ Ом подключен реостат. Определить сопротивление реостата и ток в нем, если падение напряжения на полностью введенном реостате $R = 1{,}65$ В. Определить длину константановой проволоки, пошедшей на изготовление реостата, если ее сечение $S = 0{,}6$ мм^2.

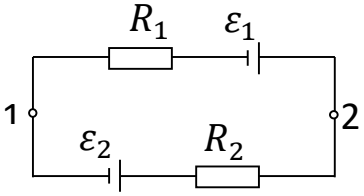
7. Три батареи ЭДС $\varepsilon_1 = 12$ В, $\varepsilon_2 = 5$ В, $\varepsilon_3 = 10$ В и одинаковыми внутренними сопротивлениями, равными $r = 1$ Ом, соединены между собой одноименными полюсами. Сопротивление соединительных проводов ничтожно мало. Какова сила токов, идущих через батареи?

8. Три источника тока с ЭДС $\varepsilon_1 = 11$ В, $\varepsilon_2 = 4$ В, $\varepsilon_3 = 6$ В и три реостата с сопротивлениями $r_1 = 5$ Ом, $r_2 = 10$ Ом, $r_3 = 2$ Ом соединены, как показано

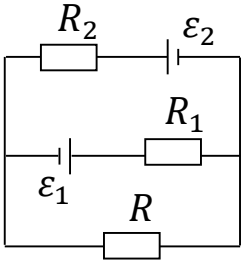
на рисунке. Определить силу тока в реостатах. Внутреннее сопротивление источника тока пренебрежимо мало.



9. Найти разность потенциалов U между точками 1 и 2 схемы, если $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом, $\varepsilon_1 = 5$ В и $\varepsilon_2 = 2$ В. Внутренние сопротивления источников тока пренебрежимо малы.



10. Найти значение тока, протекающего через сопротивление R в схеме, если $\varepsilon_1 = 1{,}5$ В, $\varepsilon_2 = 3{,}7$ В, $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом и $R = 5$ Ом. Внутренние сопротивления источников тока пренебрежимо малы.



2.2. Работа и мощность тока

1. К зажимам батареи аккумуляторов присоединен нагреватель. ЭДС батареи 24 В, внутреннее сопротивление 1 Ом. Нагреватель, включенный в цепь, потребляет мощность 80 Вт. Вычислить силу тока I в цепи и КПД η нагревателя.

2. Сила тока в цепи изменяется со временем по закону $I = I_0 e^{-\alpha t}$. Определить количество теплоты, которое выделится в проводнике сопротивлением $R = 20$ Ом за время, в течение которого ток уменьшится в e раз. Коэффициент α принять равным $2 \cdot 10^{-2}$ с$^{-1}$.

3. ЭДС батареи $\varepsilon = 12$ В, сила тока короткого замыкания $I = 5$ А. Какую наибольшую мощность $N_{\text{макс}}$ может дать батарея во внешней цепи?

4. ЭДС батареи $\varepsilon = 20$ В. Сопротивление внешней цепи $r = 2$ Ом, сила тока $I = 4$ А. С каким КПД работает батарея? При каком значении внешнего сопротивления КПД будет равен $\eta = 99\%$?

5. Мощность тока у потребителя $N = 10$ кВт при напряжении $U = 400$ В. Определить падение напряжения U_0 в медных проводах линии электропередачи, если их сечение $s = 26$ мм^2, а расстояние он генератора до

потребителя $l = 500$ м.

6. Определить общую силу тока I в шести электродвигателях, установленных на электровозе, если напряжение на линии $U = 3$ кВ, механическая мощность каждого двигателя $N = 350$ кВт и КПД $\eta = 92$ %.

7. Напряжение на зажимах генератора $U_0 = 132$ В, а у потребителя $U_1 = 127$ В. Определить падение напряжения U в магистральных проводах и их сопротивление R, если мощность у потребителя $N = 5{,}0$ кВт.

8. Определить падение напряжения U_0 в подводящих медных проводах, если их сечение $s = 26$ мм^2, а расстояние от генератора до потребителя $l = 500$ м.

9. Какое максимальное тяговое усилие F развивает дизельный электротрактор при скорости передвижения $v = 2{,}0$ км/ч, если его тяговый электродвигатель с КПД $\eta = 72$ % работает при токе $I = 360$ А и напряжении $U = 470$ В?

10. Сколько льда при температуре $t = -10$ °С можно растопить за $\tau = 10$ мин на электрической плитке, работающей от сети с напряжением $U = 220$ В при токе $I = 3{,}0$ А, если общий КПД установки $\eta = 80$ %?

Раздел III. Электромагнетизм

Тема 3.1. Магнитное поле

1. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}5$ Тл находится прямоугольная рамка длиной $a = 8$ см и шириной $b = 5$ см, содержащая $N = 100$ витков тонкой проволоки. Ток в рамке $I = 1$ А, а плоскость рамки параллельна линиям магнитной индукции. Определите: 1) магнитный момент рамки; 2) вращающий момент, действующий на рамку.

2. Катушка длиной $l = 20$ см содержит $N = 100$ витков. По обмотке катушки идет ток $I = 5$ А. Диаметр катушки $d = 20$ см. Определить магнитную индукцию в точке, лежащей на оси катушки на расстоянии $a = 10$ см от ее конца.

3. Найти вращающий момент, действующий на катушку с квадратным сечением со стороной $a = 10$ см при силе тока $I = 1$ А. Катушка содержит $N = 10^3$ витков провода. Ось катушки расположена параллельно силовым линиям магнитного поля с индукцией $B = 0{,}2$ Тл.

4. В одной плоскости с длинным прямым проводом, по которому течёт ток $I = 50$ А, расположена прямоугольная рамка, так что две большие стороны её длиной $a = 65$ см параллельны проводу, а расстояние от провода до ближайшей из этих сторон равно её ширине. Найти магнитный поток Ф, пронизывающий рамку.

5. Тороид квадратного сечения содержит $N = 1000$ витков. Наружный диаметр тороида $d_1 = 40$ см, внутренний $d_2 = 20$ см. Найти магнитный поток Ф в тороиде при силе тока в обмотке $I = 10$ А.

6. Внутри соленоида длиной $l = 30$ см и диаметром $d = 5$ см помещён железный сердечник. Соленоид имеет $N = 400$ витков. Определить магнитный поток Ф, если ток в соленоиде $I = 2$ А.

7. Найти силу взаимодействия двух катушек с магнитными моментами

4 мА$\cdot$м^2 и 6 мА$\cdot$м^2, если их оси лежат на одной прямой и расстояние между катушками равно 20 см, что значительно превышает их линейные размеры.

8. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}2$ Тл находится квадратный контур со стороной $a = 20$ см и током $I = 10$ А. Плоскость контура составляет угол α с линиями поля. Найти работу A по удалению контура за пределы поля.

9. Прямой провод, по которому течет ток силой $I = 1$ кА, расположен между полюсами электромагнита перпендикулярно к линиям индукции. С какой силой действует поле на единицу длины провода, если индукция поля электромагнита $B = 1$ мТл?

10. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 300$ В, влетает параллельно прямолинейному длинному проводнику на расстоянии $r = 4$ мм от него. Какая сила F подействует на электрон, если по проводнику пустить ток $I = 5$ А?

Тема 3.2. Электромагнитная индукция

1. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}8$ Тл равномерно вращается стержень длиной $l = 10$ см с угловой скоростью $\omega = 150$ рад/с. Какая разность потенциалов U возникнет на концах стержня?

2. Ротор генератора имеет $N = 100$ витков площадью $s = 400$ см^2 и вращается в магнитном поле с индукцией $B = 10^{-2}$ Тл. Каков период обращения ротора T, если максимальное значение ЭДС индукции равно 400 В?

3. Катушка диаметром $d = 4$ см имеет $N = 300$ витков медной проволоки сечением $S = 1$ мм^2 и расположена в магнитном поле, индукция которого изменяется со скоростью $dB/dt = 0{,}2$ Тл/с. Концы катушки замкнуты накоротко. Определить количество теплоты Q, выделившееся в катушке за $t = 2$ с.

4. Квадратную рамку со стороной $a = 10$ см, находящуюся в магнитном поле прямого проводника с током $I = 10$ А, перевернули на 180^0 относительно дальней стороны. Ближайшая сторона рамки находится на расстоянии $r = 5$ см от провода. Найти заряд q, пробежавший по рамке.

5. Проволочный виток радиусом $r = 1$ см и сопротивлением $R = 10$ мОм пронизывается однородным магнитным полем с плавно меняющейся индукцией в $dB/dt = 0{,}01$ Тл/с. Линии индукции перпендикулярны плоскости витка. Какое количество теплоты Q выделится в витке за $t = 1$ мин?

6. Обмотка соленоида с железным сердечником содержит $N = 500$ витков. Длина сердечника $l = 50$ см. Во сколько раз изменится индуктивность соленоида, если сила тока I в обмотке возрастёт от 0,1 до 1 А?

7. В однородном магнитном поле (В $= 0{,}1$ Тл) вращается с постоянной угловой скоростью $\omega = 50$ с$^{-1}$ вокруг вертикальной оси стержень длиной $l = 0{,}4$ м. Определить Э.Д.С. индукции, возникающей в стержне, если ось вращения проходит через конец стержня параллельно линиям магнитной индукции.

8. Магнитный поток $\Phi = 40$ мВб пронизывает замкнутый контур. Определить среднее значение величины ЭДС индукции, которая возникает в контуре, если магнитный поток изменится до нуля за время $\Delta t = 0{,}002$ с.

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

10. Рамка, содержащая $N = 200$ витков тонкого провода, может свободно вращаться относительно оси, лежащей в плоскости рамки. Площадь рамки $S = 50$ см^2. Ось рамки перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля (B = 0,05 Тл). Определить максимальную ЭДС ε_{max}, которая индуцируется в рамке при вращении с частотой n=40с$^{-1}$.

……..…..….

Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется студенту, если ..……..……;
- оценка «хорошо» ……..…… ……..…….…..…;
- оценка «удовлетворительно» ……..…..…;
- оценка «неудовлетворительно» ……..…….;
- оценка «зачтено» выставляется студенту, если ……..…..;
- оценка «не зачтено» выставляется студенту, если ……

Комплект заданий для расчетно-графической работы

1. Длинный диэлектрический цилиндр радиуса R статически поляризован так, что во всех его точках поляризованность P=αr, где α - положительная постоянная, r - расстояние от оси. Цилиндр привели во вращение вокруг его оси с угловой скоростью ω. Найти индукцию магнитного поля в центре цилиндра.
2. Точечный положительный заряд находится в точке A на плоскости XOY и имеет координаты (0; 0). Определите, какими должны быть координаты другого такого же заряда для того, чтобы в точке B, координаты которой равны (3; 4), вектор напряжённости электростатического поля, созданного этими двумя зарядами, был направлен параллельно оси OX.
3. Фотон с длиной волны, соответствующей красной границе фотоэффекта, выбивает с поверхности пластинки электрон, который попадает в электрическое поле с напряженностью 125 В/м. Найти расстояние, которое он пролетит прежде, чем разгонится до скорости, равной 1% от скорости света.
4. Точечный положительный заряд находится в точке A на плоскости XOY и имеет координаты (0; 0). Определите, какими должны быть координаты другого такого же заряда для того, чтобы в точке B, координаты которой равны (3; 4), вектор напряжённости электростатического поля, созданного этими двумя зарядами, был направлен параллельно оси OX.
5. Плоская спираль с очень большим числом витков N, плотно прилегающих друг к другу, находится в однородном магнитном поле,

перпендикулярном к плоскости спирали. Наружный радиус витков спирали равен a. Индукция поля изменяется во времени по закону $B=B_0 \sin \omega t$, где B_0 и ω - постоянные. Найти амплитудное значение ЭДС индукции в спирали.

6. Незаряженный металлический шар радиусом 10 см окружают концентрической сферической проводящей оболочкой радиусом 15 см с потенциалом 300 В. Чему будет равен потенциал оболочки, если незаряженный шар заземлить?
7. Линии индукции однородного магнитного поля пронизывают рамку площадью 0,6 $м^2$ под углом 30° к её поверхности, создавая магнитный поток, равный 0,3 Вб. Чему равен модуль вектора индукции магнитного поля?
8. Прямолинейный проводник длиной 0,5 м, по которому течет ток 6 А, находится в однородном магнитном поле. Модуль вектора магнитной индукции 0,2 Тл, проводник расположен под углом 30^o к вектору В. Какова сила, действующая на проводник со стороны магнитного поля?

Критерии оценки:

- оценка **«отлично»** выставляется студенту, если На вопросы даны исчерпывающие ответы, проиллюстрированные наглядными примерами там, где это необходимо. Ответы изложены грамотным научным языком, все термины употреблены корректно, все понятия раскрыты верно. Задачи решены верно, приводится теоретическое обоснование метода решения;

- оценка **«хорошо»** На вопросы даны в целом верные ответы, но с отдельными неточностями, не носящими принципиального характера. Не все термины употреблены правильно, присутствуют отдельные некорректные утверждения и грамматические / стилистические погрешности изложения. Ответы не проиллюстрированы примерами в должной мере. Задачи решены в целом верно, возможны неточности, выбранный метод решения обоснован;

- оценка **«удовлетворительно»** Ответы на вопросы носят фрагментарный характер, верные выводы перемежаются с неверными. Упущены содержательные блоки, необходимые для полного раскрытия темы. Студент в целом ориентируется в тематике учебного курса, но испытывает проблемы с раскрытием конкретных вопросов. Задача решена без грубых ошибок. Также оценка «удовлетворительно» ставится при верном ответе на один вопрос и неудовлетворительном ответе на другой;

- оценка **«неудовлетворительно»** Ответы на вопросы отсутствуют либо не соответствуют содержанию вопросов. Ключевые для учебного курса понятия, содержащиеся в вопросах, трактуются ошибочно. Задача не решена или имеются грубые ошибки в решении;

- оценка **«зачтено»** выставляется студенту, если ……..…..;

- оценка **«не зачтено»** выставляется студенту, если ……

Примерные темы эссе

1. Вывод закона Ома
2. Сопротивление проводников.
3. Закон Джоуля-Ленца.

4. Закон Ома для неоднородного участка цепи.
5. Правила Кирхгофа для разветвленных цепей
6. Электрические токи в металлах, вакууме и газах.
7. Элементарная классическая теория электропроводности металлов.
8. Вывод основных законов электрического тока в классической теории проводимости металлов.
9. Работа выхода электронов из металла.
10. Эмиссионные явления и их применение.
11. Ионизация газов.
12. Несамостоятельный газовый разряд.
13. Магнитное поле и его характеристики.
14. Закон Био - Савара –Лапласа и его применение к расчету магнитного поля.

Темы (рефератов, докладов, сообщений)

1. Электризация как разделение зарядов. Измерение напряжения между проводами. Электростатический генератор. Метод зеркальных изображений.
2. Тензор диэлектрической проницаемости, принципиальные методы измерения $\vec{E}$ и $\vec{D}$ в диэлектрике. Пироэлектрики и пьезоэлектрики.
3. Токи в сплошных средах, заземление; шаговое напряжение.
4. P - n переход, полупроводниковые диоды, транзисторы, фотодиоды, фоторезисторы (частично в лабораторной работе).
5. Векторный потенциал, его связь с вектором индукции $\vec{B}$. Эффект Холла.
6. Понятие о тензоре магнитной проницаемости. Ферромагнетики. Кривая Столетова. Силы, действующие на магнетики в магнитном поле (частично в лабораторной работе).
7. Магнитная энергия контура с током. Энергия магнитного поля в веществе. Закон сохранения энергии электромагнитного поля.
8. Переходные процессы в R, C и L, цепях; процесс установления вынужденных колебаний. Колебания в связанных контурах; нормальные колебания и их частоты.
9. Уравнения Максвелла. Электромагнитные волны.
10. Генераторы переменного тока.
11. Синхронные и асинхронные двигатели.
12. Анализ сложных электрических цепей с несколькими источниками энергии.
13. Мощность в цепи синусоидального тока.
14. Сопротивление, индуктивность и емкость в цепи переменного тока.
15. Резонанс токов и напряжений.
16. Трехфазный ток. Соединения трехфазных цепей.
17. Генераторы переменного тока.
18. Плотность потока энергии электромагнитных волн.

Критерии оценки:

оценка «отлично» выставляется студенту, если обучающийся демонстрирует (глубокое знание учебно-программного материала, умение

свободно выполнять задания, усвоивший взаимосвязь основных понятий дисциплины; способный самостоятельно приобретать новые знания и умения; способный самостоятельно использовать углубленные знания);

оценка «хорошо» выставляется студенту, если обучающийся демонстрирует полное знание учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные программой задания, показывающий систематический характер знаний по дисциплине и способный к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшего обучения в вузе и в будущей профессиональной деятельности;

оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, обнаружившему знание основного учебно- программного материала в объеме, необходимом для дальнейшего обучения, выполняющего задания, предусмотренные программой, допустившим неточности в ответе, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения;

оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, имеющему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий.

Вопросы к экзамену

1. Закон Кулона, его экспериментальная проверка и дифференциальная трактовка.
2. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции. Поток вектора. Теорема Остроградского – Гаусса.
3. Потенциальность электростатического поля. Математический критерий потенциальности поля. Скалярный потенциал, его нормировка.
4. Потенциал поля распределенных зарядов. Нахождение потенциала по заданной напряженности поля.
5. Поле на поверхности и внутри проводника. Влияние кривизны поверхности на характер распределения зарядов на поверхности. Металлический экран.
6. Потенциал проводника. Емкость уединенного проводника. Емкостные коэффициенты. Емкость конденсаторов, их соединение.
7. Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации. Электростатическая теорема Гаусса при наличии диэлектриков.
8. Векторы $\vec{E}$ и $\vec{D}$ в диэлектрике. Преломление линий $\vec{E}$ и $\vec{D}$ на границе раздела диэлектриков.
9. Собственная, взаимная и полная энергии электрических зарядов.
10. Объемная плотность энергии электрического поля. Выражение полной энергии через плотность энергии.
11. Силы в электрическом поле. Вычисление силы через выражение для энергии электростатического поля.
12. Диполь. Поле диполя. Диполь во внешнем электрическом поле. Поляризованный диэлектрик как совокупность диполей.
13. Локальное поле в диэлектриках его отличие от внешнего. Линейные изотропные диэлектрики. Поляризуемость молекул.

14. Неполярные диэлектрики, связь диэлектрической проницаемости с поляризуемостью молекул (уравнение Клаузиуса – Моссоти).
15. Полярные диэлектрики. Связь диэлектрической проницаемости с температурой.
16. Электрическое поле при наличии электрического тока. Сила тока, плотность тока, их связь с подвижностью носителей.
17. Закон Ома для участка цепи и всей цепи (в интегральной и дифференциальной формах).
18. Работа тока. Закон Джоуля – Ленца в интегральной и дифференциальной формах.
19. Линейные цепи. Правила Кирхгофа, их обоснование и применение.
20. Электропроводность металлов. Опыты Толмена - Стюарта. Классическая электронная теория.
21. Объяснения закона Ома и Джоуля Ленца классической электронной теорией. Удельная электропроводность. Недостатки классической электронной теории.
22. Элементы зонной теории проводимости. Металлы, полупроводники и диэлектрики. Уровень Ферми.
23. Собственные и примесные полупроводники. Зависимость электропроводимости полупроводников от температуры.
24. Контактная разность потенциалов, термо ЭДС. Термопара, термобатарея.
25. Электропроводность жидкостей. Коэффициент диссоциации и его зависимость от температуры. Закон Освальда. Закон Ома для электролитов.
26. Электропроводность газов. Несамостоятельные и самостоятельные газовые разряды. Ионизация и рекомбинация. Переход несамостоятельного разряда в самостоятельный.
27. Методы регистрации и измерения магнитного поля. Вектор индукции магнитного поля.
28. Расчет магнитного поля по заданным токам. Закон Био-Савара-Лапласа. Поле движущихся зарядов.
29. Закон полного тока, его интегральное и дифференциальная формулировка.
30. Система единиц CGSE, CGSM и СИ. Единицы I, B и H в этих системах.
31. Поток вектора индукции магнитного поля. Работа проводника и контура с током в магнитном поле.
32. Магнитный момент контура с током. Магнитное поле магнитного момента. Действие магнитного поля на контур с током.
33. Магнетики. Вектор намагничивания, связь его с поверхностными токами. Природа поверхностных токов.
34. Векторы $\vec{B}$ и $\vec{H}$ в магнетиках. Связь их с магнитной восприимчивостью и проницаемостью.
35. Преломление линий $\vec{B}$ и $\vec{H}$ на границе раздела магнетиков.
36. Магнитное поле в магнетиках. Природа диа-, пара-, и ферромагнетизма.
37. Основной закон электромагнитной индукции (интегральное и дифференциальное представление). Правило Ленца.

38. Явление самоиндукции. ЭДС самоиндукции. Индуктивность контура. Единицы индуктивности.
39. Экстратоки замыкания и размыкания, их использование.
40. Взаимная индукция, взаимная индуктивность. Взаимная энергия токов.
41. Собственная, взаимная и полная энергия токов. Плотность энергии магнитного поля.
42. Силы в магнитном поле. Вычисление силы из выражения для энергии магнитного поля.
43. Вихревое электрическое поле. Первое основное положение теории Максвелла. Вихревые токи. Токи Фуко. Скин – эффект.
44. Второе основное положение теории Максвелла. Токи смещения. Плотность полного тока.
45. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах, их физический смысл.
46. Собственные и затухающие электромагнитные колебания. Добротность контура.
47. Вынужденные электромагнитные колебания. Амплитуда и фаза вынужденных колебаний.
48. Переменный ток. R, L и C в цепи переменного тока. Закон Ома в цепи переменного тока. Векторная диаграмма.
49. Мощность переменного тока. Коэффициент мощности. Эффективный ток.
50. Резонансные явления в цепях переменного тока. (Резонанс токов и напряжений).
51. Электромагнитные волны. Уравнение волны и волновое уравнение. Скорость распространения электромагнитных волн.
52. Свойства электромагнитных волн. Плотность энергии и плотность потока энергии электромагнитных волн. Вектор Пойтинга.

Критерии оценки:

оценка «отлично» выставляется студенту, если обучающийся демонстрирует (глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, усвоивший взаимосвязь основных понятий дисциплины; способный самостоятельно приобретать новые знания и умения; способный самостоятельно использовать углубленные знания);

оценка «хорошо» выставляется студенту, если обучающийся демонстрирует полное знание учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные программой задания, показывающий систематический характер знаний по дисциплине и способный к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшего обучения в вузе и в будущей профессиональной деятельности;

оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, обнаружившему знание основного учебно- программного материала в объеме, необходимом для дальнейшего обучения, выполняющего задания, предусмотренные программой, допустившим неточности в ответе, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения;

оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, имеющему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий.

Учебно-методическое обеспечение дисциплины.

б) основная литература:

1. Фриш С.Э. Курс общей физики: учебник: в 3-х т. Т.2: Электрические и электромагнитные явления. - Изд. 11-е, стер. - СПб. [и др.]: Лань, 2007. - 518 с.
2. Бондарев Б.В. Курс общей физики: [в 3-х кн.: учеб. пособие]. Кн.1, Кн.2, Кн.3: Механика. Электромагнетизм. Оптика. Квантовая физика Термодинамика. Статистическая физика. Строение вещества / Бондарев, Борис Владимирович, Н. П. Калашников. - Изд. 2-е, стер. - М.: Высш. шк., 2005.
3. Белов Д.В. Электромагнетизм и волновая оптика. М., Изд. Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, 1994.
4. Савельев И.В. Курс общей физики: в 3-х т.: учебник. Т.1-3. - 10-е изд., стер. - СПб.: Лань, 2008. - 496 с.
5. Калашников С.Г. Электричество: [учеб. пособие для физ. специальностей вузов] / Калашников, Сергей Григорьевич. - 6-е изд., стер. - М.: Физматлит, 2004. - 624 с.
6. Ташлыкова-Бушкевич И.И. Физика. Часть 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм [Электронный ресурс]: учебник / И.И. Ташлыкова-Бушкевич. - Электрон. текстовые данные. - Минск: Вышэйшая школа, 2014. - 304 с. - 978-985-06- 2505-2. - Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/35562.html.
7. Экономова Л.Н. Физика. Темы 1-4. Электричество и магнетизм [Электронный ресурс]: сборник тестов и задач / Л.Н. Экономова. - Электрон. текстовые данные. - М.: Издательский Дом МИСиС, 2015. - 132 с. - 978-5-87623- 877-1. - Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/56604.html.
8. Иродов, И. Е. Электромагнетизм. Основные законы / И. Е. Иродов. — 12-е изд. — Москва: Лаборатория знаний, 2021. — 320 с. — ISBN 978-5-93208-520-2. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/105774.html.
9. Матвеев А.М. "Электричество и магнетизм" 2011 г.
10. Сивухин Д.В. "Общий курс физики" Т.3. 2005 г.

б) дополнительная литература:

1. Гираев М.А., Дациев М.И. Методические указания к выполнению лабораторных задач по электромагнетизму. Махачкала. 2003. ИПЦ ДГУ.
2. Калашников Н.П. Физика: Интернет-тестирование базовых знаний : [учеб. пособие] / Калашников, Николай Павлович, Н. М. Кожевников. - СПб. [и др.]: Лань, 2009. - 149,[11] с.

3. Зисман Г.А. Курс общей физики: в 3-х т.: учеб. пособие. Т.2: Электричество и магнетизм / Зисман, Гирш Абрамович, О. М. Тодес. - 7-е изд., стер. - СПб.: Лань, 2007. - 352 с.
4. Тамм И.Е. Основы теории электричества: [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов] / Тамм, Игорь Евгеньевич. - 11-е изд., испр. и доп. - М. : Физматлит, 2003. - 615 с.
5. Электромагнетизм. Задачи и решения: метод. пособие / Федерал. агентство по образованию, Дагест. гос. ун-т; [сост. М.И. Дациев]. - Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2005. - 138 с. - 80-00.
6. Электромагнетизм. Задачи и решения: метод. пособие / Федерал. агентство по образованию, Дагест. гос. ун-т; [сост. М.И. Дациев]. - Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2005. - 138 с. - 80-00.
7. Курс физики [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Ларионов [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Воронеж: Воронежский Государственный Аграрный Университет им. Императора Петра Первого, 2016. — 203 с. — 978-5-7267-0929-1. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/72682.html.
8. Гираев М.А., Курбанисмаилов В.С. Электромагнетизм. Махачкала 2010. -182 с.
9. Кокин, С. М. Физика: механика, молекулярно-кинетическая теория, термодинамика, электричество и магнетизм: конспект лекций / С. М. Кокин, В. А. Никитенко. — Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2021. — 300 с. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/122062.html.
10. Архипов, В. П. Основы электричества и магнетизма: учебное наглядное пособие / В. П. Архипов. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2020. — 132 с. — ISBN 978-5-7882-2809-9. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/109576.html *(дата обращения: 30.08.2022)*.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. Электронно-библиотечная система (ЭБС) IPRbooks (www.iprbookshop.ru). Лицензионный договор № 6984/20 на электронно-библиотечную систему IPRbooks от 02.10.2020 г.
2. Лицензионное соглашение № 6984/20 на использование адаптированных технологий ЭБС IPRbooks (www.iprbookshop.ru) для лиц с ОВЗ от 02.10.2020.
3. Электронно-библиотечная система (ЭБС) «Университетская библиотека онлайн»: www.biblioclub.ru. Договор об оказании информационных услуг № 131-09/2010 от 01.10.2020г. 537наименований.
4. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЛАНЬ https://e.lanbook.com/. Договор №СЭБ НВ-278 на электронно-библиотечную систему ЛАНЬ от 20.10.2020 г. Срок действий договора со 20.10.2020 г. по 31.12.2023г.

5. Научная электронная библиотека http: //elibrary.ru. Лицензионное соглашение № 844 от 01.08.2014 г. Срок действия соглашения с 01.08.2014 г. без ограничения срока.
6. Национальная электронная библиотека https://нэб.рф/. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 о предоставлении доступа к Национальной электронной библиотеке от 1 августа 2016 г. Срок действия договора с 01.08.2016 г. без ограничения срока. Договор может пролонгироваться неограниченное количество раз, если ни одна из сторон не желает его расторгнуть.
7. **Scopus.** Scopus издательства Elsevier B.V. Письмо РФФИ от 19.10.2020 г. № 1189 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию базы данных Scopus издательства Elsevier B.V. в 2022 г. https://www.scopus.com
8. **Wiley Online Library.** Коллекция журналов Freedom Collection издательства Elsevier. Письмо РФФИ от 17.07.2010 г. № 742 о предоставлении лицензионного доступа к электронному ресурсу Freedom Collection издательства Elsevier в 2022 г. https://onlinelibrary.wiley.com/
9. **Международное издательство Springer Nature.** Коллекция журналов, книг и баз данных издательства Springer Nature. Письмо РФФИ от 17.07.2020 г. № 743 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных издательства Springer Nature в 2022 г. на условиях национальной подписки https://link.springer.com/
10. **Журналы American Physical Society.** Базы данных APS (American Physical Society). Письмо РФФИ от 10.11.2020 г. № 1265 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных American Physical Society в 2022 г. http://journals.aps.org/about
11. **Журналы Royal Society of Chemistry.** База данных RSC DATABASE издательства Royal Society of Chemistry Письмо РФФИ от 20.10.2020 г. № 1196 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных Royal Society of Chemistry в 2022 г. http://pubs.rsc.org/
12. **Журнал Science (AAAS)** http://www.sciencemag.org/
13. **Единое окно** http://window.edu.ru/
14. (интернет ресурс)
15. Дагестанский региональный ресурсный центр **http://rrc.dgu.ru/**
16. **Нэикон** http://archive.neicon.ru/

Приложение 5.
Образец представления ключей правильных ответов к ФОС по дисциплине (модулю), практике

КЛЮЧИ ПРАВИЛЬНЫХ ОТВЕТОВ К ФОНДУ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине (модулю)/ практике

«_____»

наименование дисциплины / модуля

Кафедра _____ факультета _____

(наименование кафедры, обеспечивающей преподавание дисциплины)

Образовательная программа бакалавриата/ специалитета/ магистратуры
(указать необходимое)

_____

(код и наименование направления/специальности)

Направленность (профиль)/специализация программы:

_____

наименование направленности (профиля)/специализации программы

Форма обучения:

_____

(очная, очно-заочная, заочная)

Статус дисциплины: _____

(входит в обязательную часть; входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений; дисциплина по выбору)

МАХАЧКАЛА, 20__ Г.

Номер задания	Правильный ответ	Содержание вопроса	Компетенция	Время выполнения задания, мин
1.	А	В каких случаях обычно применяется генетический алгоритм распознавания образов: **А) при высокой многовариантности задачи;** Б) в условиях дефицита времени обработки данных; В) для получения достоверного результата Г) при решении задач с малой алгоритмической сложностью.	УК-1	2
2.	-	Опишите основные этапы процесса разработки политики безопасности предприятия.	ПК -3	10
3.	…	…		
4.	…	…		
5.				