

Тихомиров Ю.В.

СБОРНИК

контрольных вопросов и заданий с ответами

для виртуального физпрактикума

Часть 2. Электромагнетизм. Оптика

<u>2_1. ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ.....</u>	<u>2</u>
<u>2_2. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ТОЧЕЧНЫХ ЗАРЯДОВ.....</u>	<u>7</u>
<u>2_3. ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....</u>	<u>14</u>
<u>2_4. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ.....</u>	<u>20</u>
<u>2_5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ.....</u>	<u>25</u>
<u>2_6. СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В КОНТУРЕ.....</u>	<u>30</u>
<u>2_7. ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В RLC-КОНТУРЕ.....</u>	<u>34</u>
<u>2_8. ДИФРАКЦИЯ И ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ.....</u>	<u>41</u>
<u>2_9. ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА.....</u>	<u>46</u>

Москва - 2011

Лабораторная работа

2_1. ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Вопросы и задания для самоконтроля

ЗАДАНИЕ 1

Дайте определение электрического заряда.

ОТВЕТ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД есть величина, характеризующая способность объекта создавать электрическое поле и взаимодействовать с электрическим полем.

ЗАДАНИЕ 2

Выберите, к какому классу характеристик относится электрический заряд.

ОТВЕТ

Электрический заряд есть характеристика объекта.

ЗАДАНИЕ 3

Сформулируйте свойство дискретности заряда.

ОТВЕТ

Дискретность заряда это наличие элементарного заряда (обозначаемого e) и кратность любого заряда этому элементарному.

Формула, описывающая это свойство: $q = N \cdot e$, где N - любое целое положительное и отрицательное число.

ЗАДАНИЕ 4

Сформулируйте свойство аддитивности заряда.

ОТВЕТ

Аддитивность (суммируемость) заряда означает, что заряд системы заряженных тел равен сумме зарядов каждого тела.

ЗАДАНИЕ 5

Сформулируйте свойство инвариантности заряда.

ОТВЕТ

Инвариантность заряда означает одинаковость результата измерения заряда во всех инерциальных системах отсчета.

ЗАДАНИЕ 6

Сформулируйте закон сохранения заряда

ОТВЕТ

Закон сохранения заряда: суммарный заряд электрически изолированной системы, через границы которой не могут проникать заряженные частицы, сохраняется.

ВОПРОС 7

Что такое точечный заряд?

ОТВЕТ

ТОЧЕЧНЫЙ ЗАРЯД это абстрактный объект (модель), имеющий вид материальной точки, несущей электрический заряд (заряженная МТ).

ЗАДАНИЕ 8

Напишите закон Кулона для силы взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов.

ОТВЕТ

ЗАКОН КУЛОНА определяет силу взаимодействия двух точечных зарядов:

$$\vec{F}_{12} = - \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_{12},$$

где \vec{e}_{12} - единичный вектор, направленный от первого заряда q_1 ко второму q_2 .

ЗАДАНИЕ 9

Дайте определение электростатического (электрического) поля.

ОТВЕТ

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ это то, что существует в области пространства, в которой на заряженный объект действует сила, называемая электрической.

ЗАДАНИЕ 10

Дайте определение напряженности электрического поля.

ОТВЕТ

НАПРЯЖЕННОСТЬЮ называется векторная характеристика электрического

поля, численно равная отношению силы $\vec{F}_{\text{ЭЛ}}$, действующей на точечный заряд, к величине q этого заряда.

ЗАДАНИЕ 11

Напишите формулу, определяющую напряженность электрического поля.

ОТВЕТ

Формула, определяющая напряженность электрического поля: $\vec{E} = \vec{F}_{\text{ЭЛ}} / q$.

ЗАДАНИЕ 12

Напишите формулу, определяющую электрическую силу, действующую на точечный заряд в электрическом поле с заданной напряженностью.

ОТВЕТ

Если задана напряженность электрического поля, тогда сила, действующая на заряд, будет определяться формулой $\vec{F}_{\text{ЭЛ}} = q \cdot \vec{E}$.

ЗАДАНИЕ 13

Напишите формулу для напряженности электрического поля точечного заряда, расположенного в начале координат.

ОТВЕТ

Формула напряженности электрического поля точечного заряда, расположенного в начале координат:

$\vec{E} = - \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{e}$, где \vec{e} - единичный вектор точки наблюдения.

ЗАДАНИЕ 14

Сформулируйте принцип суперпозиции для электрического поля

ОТВЕТ

Принцип суперпозиции: вектор напряженности электрического поля, созданного несколькими зарядами, равен сумме векторов напряженности полей, созданных каждым зарядом в отдельности.

ЗАДАНИЕ 15

Дайте определение потенциала электрического поля.

ОТВЕТ

Потенциалом данной точки электрического поля называется скалярная характеристика поля, численно равная работе сил поля по перемещению единичного положительного заряда из данной точки в фиксированную точку, в которой

потенциал принят за 0.

ЗАДАНИЕ 16

Напишите формулу для потенциала электрического поля точечного заряда, расположенного в начале координат.

ОТВЕТ

Формула для потенциала электрического поля точечного заряда, расположенного в начале координат: $\varphi(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r}$.

ВОПРОС 17

Какое электрическое поле называется однородным?

ОТВЕТ

Электрическое поле называется **ОДНОРОДНЫМ**, если у него напряженность во всех точках одинакова как по величине, так и по направлению.

ВОПРОС 18

Что такое конденсатор?

ОТВЕТ

Конденсатором называется система из двух проводящих тел, имеющих такую форму и расположенных так, что при заряджении тел зарядами, равными по величине и противоположными по знаку, электрическое поле вне системы отсутствует.

ЗАДАНИЕ 19

Напишите формулу емкости плоского конденсатора.

ОТВЕТ

Формула емкости плоского конденсатора с площадью пластин S и расстоянием между пластинами d : $C = \epsilon\epsilon_0 S / d$.

ВОПРОС 20

Какое поле существует между пластинами плоского конденсатора?

ОТВЕТ

Между пластинами плоского конденсатора существует однородное электрическое поле.

ВОПРОС 21

Какую форму имеет траектория движения электрона между пластинами плоского конденсатора?

ОТВЕТ

Траектория движения электрона между пластинами плоского конденсатора имеет вид отрезка прямой, если начальная скорость электрона параллельна вектору напряженности электрического поля, или отрезка параболы, если начальная скорость не параллельна.

Лабораторная работа

2_2. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ТОЧЕЧНЫХ ЗАРЯДОВ

Вопросы и задания для самоконтроля

ЗАДАНИЕ 1

Дайте определение электрического заряда.

ОТВЕТ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД есть величина, характеризующая способность объекта создавать электрическое поле и взаимодействовать с электрическим полем.

ЗАДАНИЕ 2

Выберите, к какому классу характеристик относится электрический заряд.

ОТВЕТ

Электрический заряд есть характеристика объекта.

ЗАДАНИЕ 3

Сформулируйте свойство дискретности заряда.

ОТВЕТ

Дискретность заряда это наличие элементарного заряда (обозначаемого e) и кратность любого заряда этому элементарному.

Формула, описывающая это свойство: $q = N \cdot e$, где N - любое целое положительное и отрицательное число.

ЗАДАНИЕ 4

Сформулируйте свойство аддитивности заряда.

ОТВЕТ

Аддитивность (суммируемость) заряда означает, что заряд системы заряженных тел равен сумме зарядов каждого тела.

ЗАДАНИЕ 5

Сформулируйте свойство инвариантности заряда.

ОТВЕТ

Инвариантность заряда означает одинаковость результата измерения заряда во всех инерциальных системах отсчета.

ЗАДАНИЕ 6

Сформулируйте закон сохранения заряда

ОТВЕТ

Закон сохранения заряда: суммарный заряд электрически изолированной системы, через границы которой не могут проникать заряженные частицы, сохраняется.

ВОПРОС 7

Что такое точечный заряд?

ОТВЕТ

ТОЧЕЧНЫЙ ЗАРЯД это абстрактный объект (модель), имеющий вид материальной точки, несущей электрический заряд (заряженная МТ).

ЗАДАНИЕ 8

Напишите закон Кулона для силы взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов.

ОТВЕТ

ЗАКОН КУЛОНА определяет силу взаимодействия двух точечных зарядов:

$$\vec{F}_{12} = - \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_{12},$$

где \vec{e}_{12} - единичный вектор, направленный от первого заряда q_1 ко второму q_2 .

ЗАДАНИЕ 9

Дайте определение электростатического (электрического) поля.

ОТВЕТ

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ это то, что существует в области пространства, в которой на заряженный объект действует сила, называемая электрической.

ЗАДАНИЕ 10

Дайте определение напряженности электрического поля.

ОТВЕТ

НАПРЯЖЕННОСТЬЮ называется векторная характеристика электрического поля, численно равная отношению силы $\vec{F}_{\text{ЭЛ}}$, действующей на точечный заряд, к величине q этого заряда.

ЗАДАНИЕ 11

Напишите формулу, определяющую напряженность электрического поля.

ОТВЕТ

Формула, определяющая напряженность электрического поля: $\vec{E} = \vec{F}_{\text{ЭЛ}} / q$.

ЗАДАНИЕ 12

Напишите формулу, определяющую электрическую силу, действующую на точечный заряд в электрическом поле с заданной напряженностью.

ОТВЕТ

Если задана напряженность электрического поля, тогда сила, действующая на заряд, будет определяться формулой $\vec{F}_{\text{ЭЛ}} = q \cdot \vec{E}$.

ЗАДАНИЕ 13

Напишите формулу для напряженности электрического поля точечного заряда, расположенного в начале координат.

ОТВЕТ

Формула напряженности электрического поля точечного заряда, расположенного в начале координат:

$$\vec{E} = - \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{e}, \text{ где } \vec{e} - \text{единичный вектор точки наблюдения.}$$

ЗАДАНИЕ 14

Сформулируйте принцип суперпозиции для электрического поля

ОТВЕТ

Принцип суперпозиции: вектор напряженности электрического поля, созданного несколькими зарядами, равен сумме векторов напряженности полей, созданных каждым зарядом в отдельности.

ЗАДАНИЕ 15

Дайте определение потенциала электрического поля.

ОТВЕТ

Потенциалом данной точки электрического поля называется скалярная характеристика поля, численно равная работе сил поля по перемещению единичного положительного заряда из данной точки в фиксированную точку, в которой потенциал принят за 0.

ЗАДАНИЕ 16

Напишите формулу для потенциала электрического поля точечного заряда, расположенного в начале координат.

ОТВЕТ

Формула для потенциала электрического поля точечного заряда, расположенного в начале координат: $\varphi(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r}$.

ВОПРОС 17

Как выглядят линии напряженности электрического поля точечного заряда?

ОТВЕТ

Линии напряженности электрического поля точечного заряда представляют собой прямые линии, идущие от заряда (если заряд положительный) или к заряду (если заряд отрицательный).

ЗАДАНИЕ 18

Дайте определение потока ЭП.

ОТВЕТ

ПОТОКОМ ЭП называется интеграл по данной поверхности S от скалярного произведения напряженности ЭП на элемент поверхности:

$$\Phi_E = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}, \text{ где вектор } d\vec{S} \text{ направлен по нормали к поверхности.}$$

ЗАДАНИЕ 19

Сформулируйте закон Гаусса для ЭП.

ОТВЕТ

ЗАКОН ГАУССА ДЛЯ ЭП: ПОТОК ЭП через замкнутую поверхность S_0 пропорционален суммарному ЗАРЯДУ, расположенному внутри объема $V(S_0)$, ограниченного поверхностью интегрирования потока.

ЗАДАНИЕ 20

Запишите закон Гаусса для ЭП.

ОТВЕТ

$$\text{Закон Гаусса для ЭП: } \oint_{S_0} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_{V(S_0)} \rho \, dV .$$

ВОПРОС 21

Что такое электрический диполь?

ОТВЕТ

ДИПОЛЬ есть два одинаковых по величине, но противоположных по знаку точечных зарядов Q , расположенных на расстоянии L (L называется плечом диполя).

ЗАДАНИЕ 22

Запишите формулу дипольного (электрического) момента.

ОТВЕТ

ДИПОЛЬНЫЙ (ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ) МОМЕНТ по модулю равен произведению $|\vec{p}_e| = Q \cdot L$. Вектор направлен от отрицательного к положительному заряду.

ВОПРОС 23

Что такое магнитный момент витка с током?

ОТВЕТ

Магнитным моментом витка с током называется вектор, модуль которого равен произведению величины тока на площадь витка. Вектор начинается в центре витка и направлен по его оси.

ВОПРОС 24

Какую форму имеет линия поля, проходящая через центр диполя, перпендикулярно его оси?

ОТВЕТ

Линия поля, проходящая через центр диполя, перпендикулярно его оси, имеет вид бесконечной прямой линии.

ЗАДАНИЕ 25

Сформулируйте и запишите формулу для ЭП на оси диполя.

ОТВЕТ

На линии, проходящей через центр диполя, перпендикулярно электрическому моменту, и на большом расстоянии r от его центра:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{p}_e}{r^3}.$$

ВОПРОС 26

Что такое потенциал ЭП и для чего он используется?

ОТВЕТ

ПОТЕНЦИАЛОМ данной точки \vec{r} ЭП называется скалярная характеристика

ЭП, численно равная работе сил поля по перемещению точечного единичного положительного заряда из данной точки в другую фиксированную точку \vec{r}_0 , в которой потенциал принят за 0 (например, в бесконечность).

ЗАДАНИЕ 27

Запишите формулу для вычисления потенциала.

ОТВЕТ

Формула для вычисления потенциала электрического поля в точке с ради-

ус-вектором \vec{r} : $\varphi(\vec{r}) = \int_{\vec{r}}^{\vec{r}_0} \vec{E} \, d\vec{r}$.

ВОПРОС 28

Что такое градиент?

ОТВЕТ

Градиент это оператор, имеющий вид: $\text{grad} \equiv \vec{\nabla} = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}; \frac{\partial}{\partial y}; \frac{\partial}{\partial z} \right\}$.

ЗАДАНИЕ 29

Запишите уравнение, выражающее напряженность через потенциал.

ОТВЕТ

Уравнение, выражающее напряженность через потенциал: $\vec{E} = - \text{grad} (\varphi)$.

ВОПРОС 30

Какой принцип используется при вычислении напряженности электрического поля диполя?

ОТВЕТ

Напряженность электрического поля диполя вычисляется с использованием принципа суперпозиции электрических полей.

Лабораторная работа

2_3. ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Вопросы и задания для самоконтроля

ВОПРОС 1

Что такое электрический ток?

ОТВЕТ

Электрическим током называется совокупность заряженных частиц, совершающих направленное движение.

ЗАДАНИЕ 2

Запишите формулу, определяющую величину (силу) тока.

ОТВЕТ

Определение величины (силы) тока: $I = \frac{d}{dt}(q)$.

ЗАДАНИЕ 3

Дайте определение разности потенциалов (падения напряжения на участке) между двумя точками 1 и 2.

ОТВЕТ

Разностью потенциалов между двумя точками 1 и 2 называется величина, равная приращению с обратным знаком потенциала при движении от первой точки ко второй: $\varphi_1 - \varphi_2 = - \Delta \varphi_{12}$.

ЗАДАНИЕ 4

Напишите формулу, связывающую приращение потенциалов и напряжение.

ОТВЕТ

Формула, связывающая приращение потенциала $\Delta\varphi$ и напряжение U_{12} между точками 1 и 2: $\Delta\varphi = - U_{12}$.

ВОПРОС 5

Что такое резистор?

ОТВЕТ

РЕЗИСТОРОМ называется устройство, обладающее заданным постоянным сопротивлением.

ЗАДАНИЕ 6

Напишите формулу для сопротивления последовательно соединенных резисторов.

ОТВЕТ

Суммарное сопротивление последовательно соединенных резисторов равно

сумме каждого сопротивления: $R_{\text{СУМ}} = \sum_{k=1}^N R_k$.

ЗАДАНИЕ 7

Как найти суммарное сопротивление параллельно соединенных резисторов.

ОТВЕТ

Для параллельно соединенных резисторов обратное суммарное сопротивление

равно сумме обратных сопротивлений каждого резистора: $\frac{1}{R_{\text{СУМ}}} = \sum_{k=1}^N \frac{1}{R_k}$.

ЗАДАНИЕ 8

Сформулируйте закон Ома для участка цепи.

ОТВЕТ

ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ: величина (сила) тока, текущего по однородному (в смысле отсутствия сторонних сил) металлическому проводнику, пропорциональна падению напряжения U на проводнике: $I = U \frac{1}{R}$, где R - сопротивление проводника.

ВОПРОС 9

Какой участок цепи называется неоднородным?

ОТВЕТ

Участок цепи называется неоднородным, если он включает в себя источник ЭДС.

ЗАДАНИЕ 10

Запишите закон Ома для неоднородного участка цепи.

ОТВЕТ

ЗАКОН ОМА ДЛЯ НЕОДНОРОДНОГО УЧАСТКА ЦЕПИ:

Если φ_1 и φ_2 - потенциалы концов участка цепи, E_{12} - ЭДС, действующая на данном участке цепи, тогда ток в этом участке имеет величину

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + E_{12}}{R}.$$

ЗАДАНИЕ 11

Запишите закон Ома для полной замкнутой цепи.

ОТВЕТ

ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЗАМКНУТОЙ ЦЕПИ:

Если $E_{\text{сум}}$ - суммарная ЭДС, действующая в цепи, $R_{\text{сум}}$ - суммарное сопротивление всей цепи, тогда в цепи протекает ток, величина которого равна

$$I = E_{\text{сум}} / R_{\text{сум}}.$$

ВОПРОС 12

Каковы основные характеристики источника ЭДС?

ОТВЕТ

Основными характеристиками источника ЭДС являются величина ЭДС и внутреннее сопротивление.

ЗАДАНИЕ 13

Сформулируйте первый закон (правило) Кирхгофа. Какое свойство заряда он отражает?

ОТВЕТ

Первый закон (правило) Кирхгофа: алгебраическая сумма токов, сходящихся в любом узле электрической цепи, равна нулю. Он отражает закон сохранения заряда.

ЗАДАНИЕ 14

Запишите формулу для первого закона (правила) Кирхгофа.

ОТВЕТ

Формула первого закона Кирхгофа: $\sum_{n=1}^N (I_n) = 0.$

ЗАДАНИЕ 15

Сформулируйте второй закон (правило) Кирхгофа.

ОТВЕТ

Второй закон (правило) Кирхгофа: в каждом из замкнутых контуров, которые можно мысленно выделить в данной разветвленной цепи, алгебраическая сумма падений напряжения равна алгебраической сумме ЭДС.

ЗАДАНИЕ 16

Запишите формулу для второго закона Кирхгофа.

ОТВЕТ

Формула для второго закона (правила) Кирхгофа:
$$\sum_{k=1}^N (I_k R_k) = \sum_{n=1}^M (E_n).$$

ВОПРОС 17

Что такое узел электрической цепи?

ОТВЕТ

УЗЛОМ называется точка, в которой сходится более чем два проводника. Положительным принято считать ток, текущий к узлу, а отрицательным - ток, текущий от узла.

ВОПРОС 18

Что такое полная электрическая цепь?

ОТВЕТ

Замкнутая электрическая цепь называется полной, если она включает источники ЭДС.

ВОПРОС 19

Что такое разветвленная электрическая цепь?

ОТВЕТ

Электрическая цепь называется разветвленной, если она имеет узлы.

ВОПРОС 20

Каково количество уравнений, соответствующих первому закону Кирхгофа, необходимых для нахождения токов во всех ветвях цепи?

ОТВЕТ

Количество уравнений, соответствующих первому закону (правилу) Кирхгофа, должно быть на одно меньше количества узлов в данной цепи.

ВОПРОС 21

Каково количество уравнений, соответствующих второму закону Кирхгофа, необходимых для нахождения токов в данной цепи?

ОТВЕТ

Количество независимых уравнений, соответствующих второму закону Кирхгофа должно быть таким, чтобы общее количество уравнений в системе оказа-

лось равным количеству различных токов в ветвях цепи.

ВОПРОС 22

Каким образом надо искать новые замкнутые контуры в заданной цепи?

ОТВЕТ

Каждый новый замкнутый контур должен содержать хотя бы один участок цепи, не вошедший в уже выделенные контуры.

ВОПРОС 23

Чему равно напряжение на резисторе?

ОТВЕТ

НАПРЯЖЕНИЕ НА РЕЗИСТОРЕ прямо пропорционально его сопротивлению величине тока, протекающего по нему: $U_R = I \cdot R$.

ВОПРОС 24

Что вы можете сказать о токе, протекающем по последовательно соединенным элементам от одного узла до другого?

ОТВЕТ

Ток, протекающий по всем последовательно соединенным элементам от одного узла до другого, имеет одно и то же значение.

При анализе разветвленной цепи этот ток следует обозначать с одним индексом.

ВОПРОС 25

Как выбираются направления токов на схеме в каждом участке цепи?

ОТВЕТ

В каждом участке цепи направление тока выбирается произвольно.

ВОПРОС 26

Как выбираются знаки токов при составлении уравнений, соответствующих второму закону (правилу) Кирхгофа?

ОТВЕТ

Ток принято считать положительным, если он совпадает с выбранным направлением обхода контура, и отрицательным, если он направлен против этого направления.

ВОПРОС 27

Как выбираются знаки источников ЭДС при составлении уравнений, соответствующих второму закону (правилу) Кирхгофа?

ОТВЕТ

Знак источника ЭДС считается положительным, если действие источника (создаваемый им ток) совпадает с выбранным направлением обхода контура.

Лабораторная работа

2_4. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Вопросы и задания для самоконтроля

ВОПРОС 1

Что такое магнитное поле (МП)?

ОТВЕТ

Магнитным полем (МП) называется то, что существует в области пространства, в которой на электрически нейтральный проводник с током действует сила, называемая магнитной.

ЗАДАНИЕ 2

Назовите источник МП.

ОТВЕТ

Источником МП является движущаяся электрически заряженная частица (заряд), которая создает также и электрическое поле.

ВОПРОС 3

Какие силы действуют между движущимися зарядами?

ОТВЕТ

Если две заряженные частицы движутся, то на каждую частицу будут действовать 2 силы: электрическая (кулоновская) $\vec{F}_{ЭЛ}$ и магнитная сила $\vec{F}_М$.

ВОПРОС 4

Во сколько раз магнитная сила меньше электрической для двух движущихся точечных электрических зарядов?

ОТВЕТ

Магнитная сила для двух движущихся точечных электрических зарядов будет меньше электрической в $\left(\frac{v}{c}\right)^2$ раз, где c – скорость света.

ЗАДАНИЕ 5

Сформулируйте определение квазинейтральности проводов с током.

ОТВЕТ

Для практически любых проводов с током имеет место свойство квазинейтральности: внутри проводника имеется большое количество заряженных частиц, однако любой (но не слишком малый) отрезок проводника имеет нуле-

вой суммарный электрический заряд.

ВОПРОС 6

Какие силы и почему действуют между проводами с током?

ОТВЕТ

Между обычными проводами с током наблюдается только магнитное взаимодействие, поскольку любые провода квазинейтральны.

ВОПРОС 7

Что такое индукция МП?

ОТВЕТ

Индукция МП (магнитная индукция) есть векторная характеристика магнитного поля, связанная с его силовым действием на движущийся заряд и на проводник с током.

ЗАДАНИЕ 8

Дайте определение линии индукции МП.?

ОТВЕТ

Линии индукции МП это линии, у которых вектор индукции МП в любой точке направлен по касательной. Густота линий индукции пропорциональна величине МП вблизи данной точки.

ЗАДАНИЕ 9

Запишите закон Био-Савара-Лапласа. В чем он похож на закон Кулона?

ОТВЕТ

Элементарная индукция $d\vec{B}$ магнитного поля, создаваемого элементарным отрезком $d\vec{L}$ с током I , расположенным в начале координат (закон Био-Савара-Лапласа или Б-С-Л), определяется формулой:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r^2} [d\vec{L}; \vec{e}_r],$$

где r – модуль радиус-вектора точки наблюдения, \vec{e}_r - единичный радиус-вектор, направленный в точку наблюдения, μ_0 - магнитная постоянная.

ЗАДАНИЕ 10

Сформулируйте принцип суперпозиции для МП.

ОТВЕТ

Магнитное поле подчиняется принципу суперпозиции: индукция МП, создан-

ного несколькими источниками, является суммой векторов индукции полей, создаваемых каждым источником : $\vec{B}_{\text{сум}} = \sum_i \vec{B}_i$.

ЗАДАНИЕ 11

Дайте определение циркуляции МП.

ОТВЕТ

Циркуляцией МП называется интеграл по некоторому контуру L от скалярного произведения индукции МП на элемент контура $d\vec{L}$: $\Gamma_B = \int_L \vec{B} \cdot d\vec{L}$.

ЗАДАНИЕ 12

Сформулируйте закон циркуляции МП.

ОТВЕТ

Закон циркуляции МП: циркуляция МП по замкнутому контуру L_0 пропорциональна суммарному току, пронизывающему поверхность $S(L_0)$, ограниченную этим контуром L_0 .

ЗАДАНИЕ 13

Запишите формулу закона циркуляции МП.

Закон циркуляции МП: $\oint_{L_0} \vec{B} \cdot d\vec{L} = \mu_0 \sum_j I_j$.

ЗАДАНИЕ 14

Сформулируйте и запишите формулу для МП прямого провода с током.

ОТВЕТ

Величина индукции магнитного поля на расстоянии r от прямого бесконечно длинного проводника с током I : $B =$

$\mu_0 I$

$2 \pi r$.

ВОПРОС 15

Как выглядят линии индукции МП прямого провода с током?

ОТВЕТ

Линии индукции магнитного поля прямого проводника с током представляют собой концентрические окружности, лежащие в плоскостях, перпендикулярных проводнику, с центрами, расположенными на его оси.

ЗАДАНИЕ 16

Сформулируйте и запишите формулу для МП на оси кругового витка (контура) с током.

ОТВЕТ

Индукция МП на оси кругового контура (витка) радиуса R с током I на расстоянии r от центра: $\vec{B} =$

$$\mu_0 \vec{P}_m$$

$$2\pi(R^2 + r^2)^{3/2} .$$

ВОПРОС 17

Что такое магнитный момент витка с током?

ОТВЕТ

Магнитный момент витка площадью S и единичным вектором нормали к поверхности витка \vec{e}_n с током I определяется по формуле $\vec{P}_m = I S \vec{e}_n$.

ВОПРОС 18

Какую форму имеет линия индукции, проходящая через центр витка с током?

ОТВЕТ

Линия индукции МП, проходящая через центр витка с током является бесконечной прямой линией.

ВОПРОС 19

Что такое соленоид?

ОТВЕТ

Соленоидом называется длинная прямая катушка с током.

ВОПРОС 20

Для чего используется соленоид?

ОТВЕТ

Величина индукции МП вблизи центра соленоида меняется очень мало, поэтому соленоид используется как источник практически однородного магнитного поля.

ВОПРОС 21

Чему равно магнитное поле в центре соленоида?

ОТВЕТ

Формула для индукции МП в центре соленоида, имеющего n витков на единицу длины соленоида $B = \mu_0 I n$.

ВОПРОС 22

Является ли МП внутри соленоида точно однородным?

ОТВЕТ

Магнитное поле внутри соленоида не является точно однородным. Однако существует область вблизи центра соленоида, в которой МП однородно с заданной степенью точности.

ВОПРОС 23

Как определить протяженность области однородности МП внутри соленоида, если задана точность $\beta(\%)$, т.е. допустимое отклонение от максимального значения?

ОТВЕТ

Надо определить размер области вблизи центра соленоида, на границах которой индукция МП меньше максимальной на величину, определяемую заданной точностью по формуле $\Delta B = B_{\max} \cdot \beta / 100$.

Лабораторная работа

2_5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Вопросы и задания для самоконтроля

ВОПРОС 1

Что называется элементарным магнитным потоком?

ОТВЕТ

Элементарным магнитным потоком $d\Phi_B$ через физически малый элемент поверхности площадью dS называется скалярное произведение вектора индукции магнитного поля \vec{B} на вектор нормали \vec{n} к данному элементу поверхности и на площадь dS :

$$d\Phi_B = (\vec{B} \cdot \vec{n}) \cdot dS .$$

ВОПРОС 2

Что называется магнитным потоком?

ОТВЕТ

Магнитным потоком Φ_B через поверхность площадью S называется сумма (интеграл) всех элементарных потоков через все элементы этой поверхности (интеграл по поверхности):

$$\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} .$$

ВОПРОС 3

При каких условиях магнитный поток равен нулю?

ОТВЕТ

Магнитного потока нет, если либо отсутствует магнитное поле ($B = 0$), либо вектор магнитной индукции направлен по касательной к поверхности в любой ее точке ($\vec{B} \perp \vec{n}$).

ВОПРОС 4

При каких условиях магнитный поток равен произведению индукции магнитного поля на площадь контура?

ОТВЕТ

Поток есть произведение индукции на площадь ($\Phi_B = B \cdot S$), если выполняются два условия одновременно: вектор индукции направлен по нормали и он имеет одну и ту же величину в любой точке поверхности. т.е. $(\vec{B} \cdot \vec{n}) = \text{const}$.

ВОПРОС 5

Какое явление называется явлением индукции?

ОТВЕТ

Явлением индукции (индукцией) называется явление возникновения одного поля (например, электрического) при изменении потока другого поля (например, магнитного).

ЗАДАНИЕ 6

Сформулируйте определение явления электромагнитной индукции.

ОТВЕТ

Электромагнитной индукцией (ЭМИН) называется явление возникновения электрического поля при изменении потока магнитного поля.

ЗАДАНИЕ 7

Сформулируйте закон электромагнитной индукции.

ОТВЕТ

Закон ЭМИН: циркуляция электрического поля по замкнутому контуру C_{0E} пропорциональна скорости изменения потока магнитного поля Φ_B через поверхность $S(L_0)$, ограниченную контуром L_0 , по которому рассчитана циркуляция.

ЗАДАНИЕ 8

Запишите формулу, определяющую циркуляцию электрического поля по замкнутому контуру L_0 .

ОТВЕТ

Циркуляция электрического поля по замкнутому контуру L_0 : $C_{0E} = \oint_{L_0} \vec{E} \cdot d\vec{L}$

ЗАДАНИЕ 9

Запишите закон ЭМИН в краткой форме.

ОТВЕТ

Закон ЭМИН в краткой форме $C_{0E} = - \frac{d}{dt} \Phi_B$.

ЗАДАНИЕ 10

Запишите закон ЭМИН в расшифрованном виде.

Закон ЭМИН в расшифрованном виде: $\oint_{L_0} \vec{E} \cdot d\vec{L} = - \frac{d}{dt} \int_{S(L_0)} \vec{B} \cdot d\vec{S}$.

ВОПРОС 11

Какое электрическое поле является вихревым? Когда оно возникает?

ОТВЕТ

В результате ЭМИН возникает электрическое поле с ненулевой циркуляцией. Поле с ненулевой циркуляцией называется вихревым .

ВОПРОС 12

Что такое ток Фуко?

ОТВЕТ

Током Фуко называется вихревой электрический ток, который возникает в проводящем веществе при наличии в нем вихревого электрического поля.

ВОПРОС 13

Чем определяется величина вихревого электрического тока?

ОТВЕТ

Величина вихревого тока пропорциональна напряженности вихревого электрического поля.

ВОПРОС 14

Чем отличается электрическое поле, созданное точечным зарядом, от электрического поля, появляющегося при ЭМИН?

ОТВЕТ

Электрическое поле, созданное неподвижным точечным зарядом является потенциальным (безвихревым), а электрическое поле, возникающее в результате ЭМИН, является вихревым.

ЗАДАНИЕ 15

Как выглядит явление ЭМИН для замкнутого проводящего контура.

ОТВЕТ

ЭМИН для замкнутого проводящего контура проявляется так: Если замкнутый проводящий контур помещен в переменное магнитное поле, тогда возникающая в нем в результате ЭМИН циркуляция электрического поля определяет ЭДС, которая называется ЭДС индукции.

ВОПРОС 16

Как выглядит формула закона ЭМИН для замкнутого проводящего контура?

ОТВЕТ

Формула закона ЭМИН для проводящего контура выглядит так $\mathcal{E}_{\text{инд}} = - \frac{d \Phi_B}{dt}$.

ВОПРОС 17

Какой ток называется индукционным?

ОТВЕТ

Индукционным называется ток, который появляется в проводящем контуре при изменении магнитного потока через площадь этого контура.

ВОПРОС 18

Как получить формулу для тока индукции?

ОТВЕТ

Обозначая ЭДС индукции символом $\mathcal{E}_{\text{инд}}$ и используя закон Ома для полной цепи, получим выражение для тока индукции $i_{\text{инд}} = \mathcal{E}_{\text{инд}} / R$, где R – сопротивление контура.

ВОПРОС 19

Как возникает ЭДС самоиндукции?

ОТВЕТ

Если имеется контур с переменным током, тогда этот ток создает переменное магнитное поле с изменяющимся потоком через поверхность контура. В соответствии с законом ЭМИН в контуре возникает дополнительная ЭДС, называемая ЭДС самоиндукции.

ЗАДАНИЕ 20

Сформулируйте определение явления самоиндукции.

ОТВЕТ

Явлением самоиндукции называется возникновение дополнительной ЭДС (самоиндукции) при протекании по проводнику переменного тока.

ЗАДАНИЕ 21

Сформулируйте словами закон самоиндукции.

ОТВЕТ

ЗАКОН самоиндукции: ЭДС самоиндукции в некотором контуре с переменным током пропорциональна скорости изменения тока в этом контуре. Коэффициент пропорциональности является индуктивностью контура.

ЗАДАНИЕ 22

Запишите формулу для закона самоиндукции.

ОТВЕТ

ЗАКОН самоиндукции: $\mathcal{E}_{\text{САМОИНД}} = -L \frac{di}{dt}$, где L – индуктивность проводящего контура, i – ток в этом контуре.

ЗАДАНИЕ 23

Магнитный поток через площадку, имеющую площадь S меняется, если меняется один из следующих параметров

- величина индукции магнитного поля внутри площадки,
- площадь S площадки,
- угол между вектором индукции и вектором нормали к площадке.

ВОПРОС 24

Как меняется площадь поверхности контура, если одна сторона контура движется равномерно, удаляясь от параллельной ей стороне?

ОТВЕТ

Если одна сторона контура движется равномерно, удаляясь от параллельной ей стороне, то площадь поверхности, ограниченной контуром, линейно возрастает со временем: $S(t) = S(0) + \text{const} \cdot t$.

ВОПРОС 23

Как изменяется со временем магнитный поток через контур, если по контуру протекает постоянный ток, а одна сторона контура движется равномерно, приближаясь к параллельной ей стороне?

ОТВЕТ

Если по контуру протекает постоянный ток, а одна сторона контура движется равномерно, приближаясь к параллельной ей стороне, то магнитный поток через контур линейно убывает со временем: $\Phi_B(t) = \Phi_B(0) - \text{const} \cdot t$.

2_6 . СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В КОНТУРЕ

Вопросы и задания для самоконтроля

ВОПРОС 1

Что такое колебательный контур?

ОТВЕТ

Колебательным контуром называется замкнутая цепь, содержащая катушку индуктивности с индуктивностью L и конденсатор с емкостью C .

ВОПРОС 2

Какие колебания возможны в контуре, не имеющем активного сопротивления?

ОТВЕТ

Если в контуре нет резистора (активного сопротивления R), то в нем возможны электрические гармонические (незатухающие) колебания.

ВОПРОС 3

Каковы электрические характеристики резистора, конденсатора, катушки?

ОТВЕТ

Электрическими характеристиками являются

для резистора – активное сопротивление R ,

для катушки – реактивное сопротивление катушки $x_L = j \cdot (\omega L)$,

для конденсатора – реактивное сопротивление конденсатора $x_C = j/(\omega C)$.

ЗАДАНИЕ 4

Дайте определение гармонических колебаний.

ОТВЕТ

Гармоническими называются колебания, при которых физическая характеристика зависит от времени по закону синуса или косинуса.

ВОПРОС 5

Что такое период колебания?

ОТВЕТ

Периодом называется минимальное время, через которое периодический процесс полностью повторяется.

ВОПРОС 6

Какая физическая величина испытывает колебания в колебательном контуре?

ОТВЕТ

При колебаниях в контуре испытывают периодическое изменение ток в контуре, заряд на конденсаторе и напряжение на отдельных элементах.

ВОПРОС 7

Как определяется величина (сила) электрического тока?

ОТВЕТ

Определение величины тока: $I =$

$d q$

$d t$

ЗАДАНИЕ 8

Напишите формулу для связи напряжения на конденсаторе с его зарядом.

ОТВЕТ

Формула напряжения на конденсаторе: $U_C = q / C$.

ЗАДАНИЕ 9

Напишите формулу для ЭДС самоиндукции в катушке индуктивности.

ЭДС самоиндукции в катушке: $\mathcal{E}_{с.и.} = - L \frac{d}{dt} (I)$.

ЗАДАНИЕ 10

Напишите формулу для напряжения на резисторе.

ОТВЕТ

Формула напряжения на резисторе: $U_R = I \cdot R$.

ВОПРОС 11

Какие законы выполняются для тока и напряжения на отдельных элементах в колебательном контуре?

ОТВЕТ

Для тока и напряжения на отдельных элементах в колебательном контуре выполняется закон Ома для участка цепи.

ЗАДАНИЕ 12

Сформулируйте и запишите в виде формулы закон электромагнитной индукции в общем виде.

ОТВЕТ

Закон электромагнитной индукции: циркуляция напряженности электрического поля по замкнутому контуру пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром.

ЗАДАНИЕ 13

Сформулируйте закон электромагнитной индукции для проводящего контура.

ОТВЕТ

Закон электромагнитной индукции для проводящего контура: ЭДС индукции в замкнутом проводящем контуре пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром.

ЗАДАНИЕ 14

Сформулируйте закон самоиндукции.

ОТВЕТ

Закон самоиндукции: ЭДС самоиндукции в проводящем контуре с переменным током пропорциональна скорости изменения тока в этом контуре.

ЗАДАНИЕ 15

Запишите дифференциальное уравнение для заряда на конденсаторе в контуре, где существуют свободные незатухающие колебания.

ОТВЕТ

Дифференциальное уравнение свободных незатухающих колебаний:

$$\frac{d^2}{dt^2}(q) + \omega_0^2 \cdot q = 0.$$

ЗАДАНИЕ 16

Запишите дифференциальное уравнение для заряда на конденсаторе в контуре, где существуют свободные затухающие колебания.

ОТВЕТ

Дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний:

$$\frac{d^2}{dt^2}(q) + 2\beta \frac{d}{dt}(q) + \omega_0^2 \cdot q = 0.$$

ЗАДАНИЕ 17

Напишите формулу циклической частоты свободных гармонических колебаний в контуре.

ОТВЕТ

Формула циклической частоты свободных незатухающих (собственных гармонических) колебаний в контуре $\omega_0 = 1 / \sqrt{LC}$.

ЗАДАНИЕ 18

Напишите формулу периода свободных незатухающих колебаний в контуре.

ОТВЕТ

Формула периода свободных незатухающих колебаний в контуре:

$$T = 2\pi \sqrt{LC} .$$

ЗАДАНИЕ 19

Напишите формулу зависимости заряда на конденсаторе от времени при свободных гармонических колебаниях в контуре.

ОТВЕТ

Формула зависимости заряда на конденсаторе от времени при свободных незатухающих колебаниях в контуре:

$$q(t) = q_0 \cos(\omega_0 t + \alpha), \text{ где } \alpha - \text{ начальная фаза.}$$

ЗАДАНИЕ 20

Напишите формулу циклической частоты свободных затухающих колебаний в контуре.

ОТВЕТ

Формула квадрата циклической частоты свободных затухающих колебаний в контуре: $\omega^2 = \omega_0^2 - 2\beta^2$ - частота затухающих колебаний.

ЗАДАНИЕ 21

Напишите формулу зависимости заряда на конденсаторе от времени при свободных затухающих колебаниях в контуре.

ОТВЕТ

Формула зависимости заряда на конденсаторе от времени при свободных затухающих колебаниях в контуре:

$$q(t) = q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha).$$

ЗАДАНИЕ 22

Напишите формулу для коэффициента затухания.

ОТВЕТ

Формула для коэффициента затухания $\beta = R / 2L$.

ЗАДАНИЕ 23

Дайте определение постоянной времени затухания.

ОТВЕТ

Постоянная времени затухания в контуре τ есть время, за которое амплитуда колебаний уменьшается в $e = 2.73$ раза.

ЗАДАНИЕ 24

Напишите формулу логарифмического декремента затухания.

ОТВЕТ

Логарифмическим декрементом затухания называется величина, определяемая формулой $\lambda = \ln[A(t+T) / A(t)]$.

ЗАДАНИЕ 25

Напишите формулу связи логарифмического декремента затухания с коэффициентом затухания.

ОТВЕТ

Формула связи логарифмического декремента затухания с коэффициентом затухания: $\lambda = \beta \cdot T$.

ЗАДАНИЕ 26

Напишите формулу для добротности контура.

ОТВЕТ

Добротность контура равна $Q = \pi / \lambda$.

ВОПРОС 27

Как определяется графически постоянная времени затухания?

ОТВЕТ

На графике зависимости амплитуды затухающих колебаний от времени проводится касательная в начальный момент времени, ее пересечение с осью времени дает $t = \tau$.

Лабораторная работа

2_7. ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В RLC-КОНТУРЕ

Вопросы и задания для самоконтроля

ЗАДАНИЕ 1

Дайте определение вынужденным колебаниям.

ОТВЕТ

ВЫНУЖДЕННЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ называются процессы, происходящие в контуре, содержащем конденсатор, катушку индуктивности (возможно, резистор) и источник с переменной ЭДС, включенные последовательно и образующие замкнутую электрическую цепь.

ВОПРОС 2

Что такое колебательный контур?

ОТВЕТ

Контуром называется электрическая цепь, содержащая как минимум конденсатор и катушку индуктивности, которые образуют замкнутую электрическую цепь.

ВОПРОС 3

Когда в контуре возникают вынужденные гармонические колебания?

ОТВЕТ

ВЫНУЖДЕННЫЕ ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ наблюдаются в электрическом колебательном контуре, если по гармоническому закону меняется ЭДС источника.

ВОПРОС 4

Что такое комплексная величина?

ОТВЕТ

КОМПЛЕКСНАЯ ВЕЛИЧИНА есть определенная совокупность двух алгебраических чисел, одно из которых называется действительной частью, а второе, умноженное на мнимую единицу, - мнимой частью.

ВОПРОС 5

Как записывается комплексное число?

ОТВЕТ

Комплексное число можно записать тремя способами

алгебраическая форма: $\widehat{Z} = A + i \cdot B$,

экспоненциальная (показательная) форма: $\widehat{Z} = Z \cdot e^{i\varphi}$ где Z – модуль, φ - фаза,

и тригонометрическая форма $\widehat{Z} = C_1 \sin(\varphi) + i \cdot C_2 \cos(\varphi)$.

ВОПРОС 6

Как графически изображается комплексная величина?

ОТВЕТ

Комплексное число \widehat{Z} изображается, как радиус-вектор на комплексной плоскости: его длина равна $Z \equiv |Z|$, а угол между вектором и горизонтальной (действительной) осью равен φ .

ВОПРОС 7

Что такое комплексная амплитуда тока или напряжения?

ОТВЕТ

Комплексная амплитуда тока или напряжения определяется, как комплексная величина тока или напряжения, взятая в начальный момент времени.

ЗАДАНИЕ 8

Дайте определение импеданса.

ОТВЕТ

Импедансом называется отношение комплексной амплитуды напряжения на данном элементе, к комплексной амплитуде тока через данный элемент.

ВОПРОС 9

Что такое полное электрическое сопротивление?

ОТВЕТ

Полным электрическим сопротивлением называется модуль импеданса данного элемента или цепи.

ВОПРОС 10

Что такое реактивное сопротивление катушки или конденсатора?

ОТВЕТ

Реактивным сопротивлением катушки или конденсатора (индуктивным или емкостным) называется модуль комплексного сопротивления (катушки или конденсатора).

ВОПРОС 11

Чему равен импеданс резистора?

ОТВЕТ

Формула для сопротивления резистора: $\frac{U}{I} = R$.

Формула для импеданса резистора $\frac{U_0}{I_0} = R$, т.к. фазы напряжения и тока одинаковые.

Следовательно, импеданс резистора равен R: $Z_R \equiv X_R = R$.

ВОПРОС 12

Чему равен импеданс идеальной катушки индуктивности?

ОТВЕТ

Отношение комплексных амплитуд напряжения на катушке и тока через нее равно $\frac{U_L}{I} = i\omega L$, следовательно

импеданс катушки индуктивности: $X_L = i\omega L$.

Напряжение на катушке по фазе опережает ток через нее на $\pi/2$.

ВОПРОС 13

Как формулируется закон электромагнитной индукции для катушки?

ОТВЕТ

Закон электромагнитной индукции (самоиндукции) для катушки:

$$\varepsilon_{с.и.} = -L \frac{dI}{dt} (I).$$

ВОПРОС 14

Чему равен импеданс конденсатора?

ОТВЕТ

Импеданс (комплексное сопротивление) конденсатора: $X_C = -\frac{i}{\omega C}$.

Напряжение на конденсаторе по фазе отстает от тока через него на $\pi/2$.

ВОПРОС 15

Чему равны реактивные сопротивления катушки и конденсатора?

ОТВЕТ

Реактивное сопротивление катушки $X_L = \omega \cdot L$.

Реактивное сопротивления конденсатора равно $X_C = 1 / \omega C$.

ВОПРОС 16

Чему равно реактивное сопротивление последовательно соединенных катушки и конденсатора?

ОТВЕТ

Реактивное сопротивление последовательно соединенных катушки и конденсатора находится по формуле: $X_{LC} = \omega L - (1 / \omega C)$.

ВОПРОС 17

Чему равен импеданс колебательного контура?

ОТВЕТ

Все элементы в контуре соединены последовательно, поэтому для нахождения импеданса контура надо использовать формулу: $Z_K = R + i \cdot \omega L - i / (\omega C)$.

ВОПРОС 18

Чему равен квадрат полного сопротивления колебательного контура?

ОТВЕТ

Формула квадрата полного сопротивления контура:

$$Z_K^2 = (\omega L)^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2 .$$

ЗАДАНИЕ 19

Дайте определение резонанса для тока в колебательном контуре.

ОТВЕТ

РЕЗОНАНСОМ для тока называется явление резкого увеличения амплитуды колебаний тока при приближении частоты ЭДС к некоторому значению, называемому резонансной частотой $\omega_{РЕЗ}$.

ВОПРОС 20

На какой частоте наблюдается резонанс для тока в колебательном контуре?

ОТВЕТ

Резонанс, т.е. максимум амплитуды тока в контуре будет тогда, когда полное сопротивление контура минимально, или $Z_{РЕЗ} = \min = R$, а $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$, отсюда частоте свободных колебаний в контуре $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

ВОПРОС 21

На какой частоте наблюдается резонанс для напряжения на конденсаторе в колебательном контуре?

ОТВЕТ

Квадрат частоты ЭДС, при которой наблюдается максимум напряжения на конденсаторе (резонанс напряжения), определяется формулой:

$$\omega_{U.PE3}^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2} = \omega_0^2 - 2 \cdot \delta^2 .$$

ВОПРОС 22

Чему равно отношение амплитуд напряжения на конденсаторе при резонансе и ЭДС?

ОТВЕТ

Амплитуда резонансного напряжения на конденсаторе U_{0C} пропорциональна амплитуде ЭДС и добротности Q контура: $U_{0C} = Q \cdot \mathcal{E}_0$.

ВОПРОС 23

Чему равно характеристическое сопротивление контура? Как оно влияет на добротность?

ОТВЕТ

Формула характеристического сопротивления контура: $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$.

Чем больше добротность, тем «острее» резонанс.

ВОПРОС 24

Чему равен коэффициент затухания в контуре, имеющем конденсатор с емкостью C , катушку с индуктивностью L и резистор с сопротивлением R ?

ОТВЕТ

Формула коэффициента затухания для данного контура: $\delta = R / (2L)$.

ЗАДАНИЕ 25

Запишите формулу для добротности контура.

ОТВЕТ

Добротность контура при не слишком большом затухании определяется соотношением: $Q = \rho / L$.

ВОПРОС 26

Что такое резонансная кривая контура?

ОТВЕТ

Резонансной кривой называется зависимость амплитуды напряжения на конденсаторе от частоты источника ЭДС.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

2_8. ДИФРАКЦИЯ И ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ

Вопросы и задания для самоконтроля

ВОПРОС 1

Что такое волна?

ОТВЕТ

Волной называется возмущение физической характеристики, имеющее произвольную форму и распространяющееся в пространстве при сохранении формы этого возмущения.

ВОПРОС 2

Что такое гармоническая волна?

ОТВЕТ

Гармонической называется волна, у которой возмущение физической характеристики зависит от координат и времени по закону синуса или косинуса.

ВОПРОС 3

Что такое длина волны?

ОТВЕТ

Длиной волны называется пространственный период волны, т.е. минимальное расстояние, через которое возмущение полностью повторяется.

ЗАДАНИЕ 4

Напишите математическое условие того, что функция $f(x,t)$ описывает волну.

ОТВЕТ

Условие, при котором функция $f(x,t)$ описывает волну, выглядит так:

$f(x,t) = f(x \pm v \cdot t)$, где v есть константа, численно равная скорости распространения волны вдоль оси x .

ВОПРОС 5

Что определяет форму волны и направление ее распространения?

ОТВЕТ

Форму волны и направление ее распространения определяет источник, который возбуждает волну.

ВОПРОС 6

Что определяет скорость распространения волны?

ОТВЕТ

Скорость распространения волны определяют свойства среды, в которой она распространяется. Для электромагнитной волны это есть показатель преломления среды: $v = c / \sqrt{n}$.

ЗАДАНИЕ 7

Напишите математическую функцию, определяющую гармоническую волну, распространяющуюся в положительном направлении оси ОХ.

ОТВЕТ

Функция, определяющую гармоническую волну, имеющую длину волны λ и период T , распространяющуюся в положительном направлении оси ОХ:

$$A(x,t) = A_m \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right).$$

ВОПРОС 8

Что такое когерентность?

ОТВЕТ

КОГЕРЕНТНОСТЬЮ называется согласованное протекание нескольких колебательных или волновых процессов.

ЗАДАНИЕ 9

Дайте определение когерентных волн.

ОТВЕТ

КОГЕРЕНТНЫМИ называются волны, для которых разность фаз возбуждаемых ими колебаний остается постоянной во времени. Когерентными являются гармонические волны с кратными частотами.

ЗАДАНИЕ 10

Дайте определение явления интерференции.

ОТВЕТ

ИНТЕРФЕРЕНЦИЕЙ называется устойчивое перераспределение в пространстве интенсивности результирующей волны, возникающее в результате суперпозиции волн, возбуждаемых конечным количеством дискретных когерентных источников волн.

ЗАДАНИЕ 11

Дайте определение явления дифракции.

ОТВЕТ

ДИФРАКЦИЕЙ называется устойчивое перераспределение в пространстве интенсивности результирующей волны, возникающее в результате суперпозиции волн, возбуждаемых расположенными непрерывно когерентными источниками волн.

Одним из проявлений дифракции является распространение волны в область геометрической тени, т.е. туда, куда не попадают световые лучи.

ВОПРОС 12

Что такое волновая поверхность?

ОТВЕТ

Волновой поверхностью называется геометрическое место точек, в каждой из которых в данный момент времени фаза изменения физического параметра одна и та же.

ЗАДАНИЕ 13

Сформулируйте принцип Гюйгенса.

ОТВЕТ

ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА: каждый элемент волновой поверхности является источником вторичной сферической волны, а волна в любой точке перед этой поверхностью (с другой стороны от поверхности, нежели реальный источник волны) может быть найдена как результат суперпозиции волн, излучаемых указанными вторичными источниками.

ЗАДАНИЕ 14

Дайте определение зон Френеля.

ОТВЕТ

ЗОНАМИ ФРЕНЕЛЯ называются такие участки на поверхности волнового фронта, для которых излучение от двух соседних участков при сложении дает практически нулевой (минимальный) результат. Расстояния от краев каждой зоны до точки наблюдения отличаются на $\lambda/2$.

ЗАДАНИЕ 15

Напишите формулу для напряженности электрического поля dE электромагнитной волны (ЭМВ), излучаемой элементарным участком площадью dS волновой поверхности, в точке наблюдения, расположенной на расстоянии r от этого участка.

ОТВЕТ

Величина напряженности электрического поля dE электромагнитной волны (ЭМВ), излучаемой элементарным участком площадью dS волновой поверхности, в точке наблюдения, расположенной на расстоянии r от этого участка, равна $dE = Ka_0 \frac{dS}{r} \cos(\omega \cdot t - k \cdot x)$.

ВОПРОС 16

Что такое разность хода двух волн, излучаемых двумя точечными источниками.

ОТВЕТ

Разностью хода двух волн, излучаемых двумя точечными источниками, называется разность расстояний, проходимых до данной точки волнами, излучаемыми каждым источником.

ВОПРОС 17

При какой разности хода двух гармонических волн при их сложении наблюдается максимум?

ОТВЕТ

Для двух точечных источников гармонических волн максимум при интерференции на экране наблюдается при условии, что разность хода Δr волн, приходящих в данную точку экрана, кратна длине волны: $\Delta r = m \cdot \lambda$, где $m = 0, 1, 2, \dots$.

ВОПРОС 18

При какой разности хода двух гармонических волн при их сложении наблюдается минимум?

ОТВЕТ

Для двух точечных источников гармонических волн минимум при интерференции на экране наблюдается при условии, что разность хода Δr волн, приходящих в данную точку экрана, равна нечетному числу полуволен: $\Delta r = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$, где $m = 0, 1, 2, \dots$.

ЗАДАНИЕ 19

Запишите формулу интерференционного максимума для волн, излучаемых под углом φ двумя точечными источниками, расположенными на расстоянии d друг от друга (если m – целое число).

ОТВЕТ

Формула для интерференционного максимума для волн, излучаемых под углом φ двумя точечными источниками, расположенными на расстоянии d друг от друга (если m – целое число): $d \cdot \sin(\varphi) = m \cdot \lambda$.

ЗАДАНИЕ 20

Выведите и запишите формулу для координаты X первого интерференционного максимума для волн, излучаемых двумя точечными источниками, расположенными на расстоянии d друг от друга (если m – целое число) при большом расстоянии до экрана $L \gg d$.

ОТВЕТ

Формула для координаты X первого интерференционного максимума для волн, излучаемых двумя точечными источниками, расположенными на расстоянии d друг от друга (если m – целое число) при большом расстоянии до

экрана $L \gg d$: $X_{\text{MAX}} = \lambda \cdot L \cdot \frac{1}{d}$.

Лабораторная работа

2_9. ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА

Вопросы и задания для самоконтроля

ВОПРОС 1

Что такое световая волна?

ОТВЕТ

Световой волной называется электромагнитное излучение, видимое человеческим глазом и имеющее длину волны от 0.3 до 0.7 мкм.

ВОПРОС 2

Что такое гармоническая электромагнитная волна?

ОТВЕТ

Гармонической ЭМВ называется возмущение некоторой характеристики электромагнитного поля, которое зависит от координат и времени по закону синуса или косинуса.

ВОПРОС 3

Что такое электромагнитная волна.

ОТВЕТ

Электромагнитной волной называется возмущение электромагнитного поля, имеющее произвольную форму и распространяющееся в пространстве при сохранении формы этого возмущения.

ЗАДАНИЕ 4

Напишите формулу зависимости напряженности электрического поля от времени и координаты для гармонической ЭМВ, имеющей волновое число k , циклическую частоту ω и распространяющейся вдоль оси Ox .

ОТВЕТ

Для ЭМВ, имеющей волновое число k , циклическую частоту ω и распространяющейся в положительном направлении оси Ox , напряженность электрического поля такова: $\vec{E}(x,t) = \vec{E}_{\text{MAX}} \cdot \text{Cos}(\omega \cdot t - k \cdot x)$.

ВОПРОС 5

Какие ЭМВ называются когерентными?

ОТВЕТ

КОГЕРЕНТНЫМИ называются ЭМВ, для которых разность фаз полей, поро-

ждаемых ими в каждой точке, остается постоянной во времени.

ВОПРОС 6

Какие ЭМВ будут когерентными?

ОТВЕТ

Когерентными будут гармонические ЭМВ с одинаковыми частотами.

ВОПРОС 7

Что такое дифракции ЭМВ.

ОТВЕТ

ДИФРАКЦИЕЙ ЭМВ называется явление возникновения в пространстве устойчивого перераспределения интенсивности результирующей ЭМВ при наличии нескольких источников ЭМВ или неоднородностей среды.

ВОПРОС 8

Когда возникает дифракция ЭМВ?

ОТВЕТ

Дифракция возникает в результате сложения (суперпозиции) ЭМВ, излучаемых когерентными источниками ЭМВ, расположенными непрерывно.

ВОПРОС 9

Что такое дифракционная решетка?

ОТВЕТ

ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКОЙ называется совокупность большого числа N одинаковых, отстоящих друг от друга на одно и то же расстояние, прямоугольных щелей в плоском непрозрачном экране.

ВОПРОС 10

Для каких целей используется дифракционная решетка?

ОТВЕТ

Дифракционные решетки используются в первую очередь для спектрального анализа электромагнитного излучения, т.е. определения интенсивности отдельных гармонических волн, из которых состоит анализируемое ЭМИ.

ВОПРОС 11

Что такое постоянная дифракционной решетки?

ОТВЕТ

Постоянной (периодом) дифракционной решетки называется расстояние d между серединами соседних щелей или сумма ширины щели b и ширины непрозрачного участка a .

ВОПРОС 12

Зачем между дифракционной решеткой и экраном ставится собирающая линза?

ОТВЕТ

Линза собирает параллельные лучи, которые идут от разных щелей дифракционной решетки, в одну точку на экране.

ЗАДАНИЕ 13

Напишите формулу разности хода лучей, идущих от двух соседних щелей дифракционной решетки под углом ϑ .

ОТВЕТ

РАЗНОСТЬ ХОДА лучей, идущих под углом ϑ от двух соседних щелей шириной b (период решетки d): $\Delta = d \cdot \sin(\vartheta)$.

ЗАДАНИЕ 14

Напишите формулу разности фаз лучей от соседних щелей.

ОТВЕТ

РАЗНОСТЬ ФАЗ лучей, идущих под углом ϑ от двух соседних щелей шириной b (период решетки d): $\delta = 2\pi \frac{d}{\lambda} \sin(\vartheta) = \frac{2\pi}{\lambda} d \cdot \sin(\vartheta)$.

ВОПРОС 15

Как формируются главные максимумы дифракционной картины?

ОТВЕТ

Главные максимумы формируются лучами, которые для соседних щелей решетки имеют разность хода, равную длине волны и излучаются в направлении главных максимумов.

ВОПРОС 16

Как распространяется после решетки одна плоская гармоническая волна, падающая перпендикулярно плоскости решетки.

ОТВЕТ

Плоская гармоническая волна, падающая перпендикулярно плоскости решетки,

ки после решетки распространяется в виде нескольких плоских волн, идущих в направлении главных максимумов, т.е. как лучи, идущие под углами, равными углам главных максимумов.

ВОПРОС 17

Как будут распространяться после решетки две плоские гармонические волны с близкими длинами волн, падающие перпендикулярно плоскости решетки.

ОТВЕТ

Две плоские гармонические волны с близкими длинами волн, падающие перпендикулярно плоскости решетки, будут распространяться в направлении своих главных максимумов, причем разность углов для главных максимумов разных волн будет мала.

ВОПРОС 18

Как дифракционная решетка для радиолокационной волны будет отличаться от обычной дифракционной решетки для видимого света?

ОТВЕТ

Дифракционная решетка для радиолокационной волны будет иметь щели, которые хорошо наблюдаются глазом, т.к. их размер сопоставим с длиной ЭМВ радиолокатора, составляющей 1 – 10 см.