Электромагнетизм

Электростатика

Q: ***1***. *Что такое электрический заряд?*

A: Электрический заряд - это физическая скалярная величина, показывающая способность тел быть источником электромагнитных полей и принимать участие в электромагнитном взаимодействии. Минимальная величина электрического заряда e (т.н. *элементарный* заряд) приблизительно равна $1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл (Кл - **кулон**). Такими зарядами обладают, например, электрон и протон $-e$ и $+e$. Заряд любого тела можно представить в виде: $q = \pm Ze$, где Z - целое число.

Q: ***2***. *Сформулируйте закон Кулона.*

A: Закон взаимодействия неподвижных точечных зарядов был установлен экспериментально Шарлем Огюстеном де Кулоном в 1785 году. Этот закон может быть записан в виде формулы:

$$\vec{F}_{12} = k\frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_{12}|^3}\vec{r}_{12},$$

где $\vec{F}_{12}$ - сила, действующая со стороны первого заряда на второй; $\vec{r}_{12}$ - вектор, направленный по прямой, соединяющий заряды в направлении от первого ко второму; q_1, q_2 - величины взаимодействующих зарядов с учетом знаков; k - коэффициент пропорциональности, зависящий от выбранной системы единиц.

В системе SI: $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9$ м/Ф (Ф - **фарад**). Величина $\varepsilon_0 \approx 0.885 \cdot 10^{-11}$ Ф/м называется электрической постоянной.

Q: ***3***. *Дайте определение напряженности электрического поля.*

A: Силовой характеристикой электрического поля является напряженность $\vec{E} = \vec{E}(\vec{r})$. Для определения напряженности в некоторой области пространства следует поместить в каждую точку этой области с радиус-вектором $\vec{r}$ пробный заряд q'. Тогда $\vec{E}(\vec{r})$ определяется по формуле:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q'}$$

где $\vec{F}(\vec{r})$ - сила, действующая на пробный заряд. Она зависит от q'. Если q' велико, то при внесении заряда q' будут соответственно изменяться положения зарядов, создающих поле $\vec{E}$. Но если q' достаточно мало, то искажение поля будет незначительным и $\vec{E}(\vec{r})$, определяемое по написанной выше формуле, перестает зависеть от q' - становится характеристикой невозмущенного поля.

По размерности $[E] = \text{В/м}$ (**вольт/метр**), но его можно измерять и в единицах Н/Кл (**ньютон/кулон**).

Q: *4. По какой формуле вычисляется напряженность электрического поля точечного заряда?*

A: Из определения напряжения электрического поля можно получить выражение для поля точечного заряда (для напряженности в произвольной точке). Для этого заменяем в законе Кулона: $q_1 = q,\ q_2 = q'$ и получим:

$$\vec{E} = k\frac{q}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}.$$

Q: *5. Сформулируйте принцип суперпозиции для вектора $\vec{E}$.*

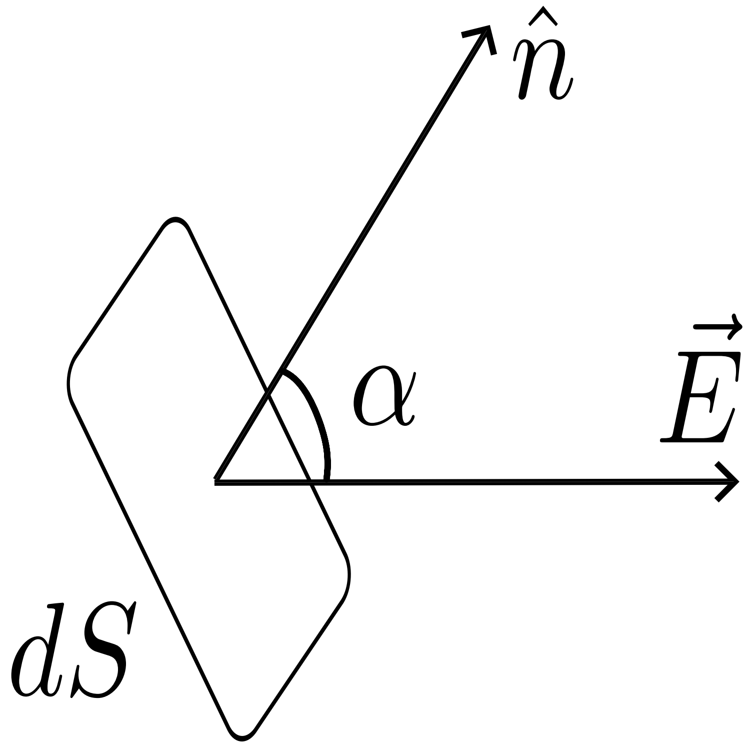
A: Из свойства электрического поля (независимость взаимодействий заядов) следует принцип суперпозиции (наложения) электрических полей: $\vec{E}(\vec{r}) = \sum \vec{E}_i(\vec{r})$, где $\vec{E}_i(\vec{r})$ - напряженность в точке $\vec{r}$, создаваемая i-й частью системы зарядов назависимо от наличия других частей. Для системы точечных зарядов формула выше переходит в

$$\vec{E} = k\sum \frac{q_i}{r_i^2} \cdot \frac{\vec{r}_i}{r_i}$$

где $\vec{r}_i$ - радиус-вектор, проведенный из точки нахождения заряда в интересующую нас точку.

Q: *6. Дайте определение потока вектора $\vec{E}$.*

A: **Поток вектора** $\vec{E}$. Для удобства представим, что густота силовых линий равна E. Тогда число линий, пронизывающих площадку dS (см. рис.) с нормалью $\vec{n}$ равна $EdS\cos\alpha$. Это число равно потоку $d\Phi$ вектора $\vec{E}$ сквозь площадку dS.



Если ввести вектор элеметнарной площадки $d\vec{S} = \hat{n}dS$, то поток можно представить в форме: $d\Phi = \vec{E}d\vec{S} = E_n dS$, где E_n - проекция вектора $\vec{E}$ на нормаль $\vec{n}$. Для отдельной площадки $\vec{n}$ определено неоднозначно (2 варианта), но если dS принадлежит замкнутой поверхности, то, как правило, вектор нормали $\vec{n}$ направляют наружу объема, охватываемого поверхностью. Полный поток, по его смыслу, равен

$$\Phi = \int_S \vec{E}d\vec{S}.$$

Q: *7. Сформулируйте теорему Гаусса в интегральной форме.*

A: Теорема Гаусса:

$$\oiint_S \vec{E}d\vec{S} = \frac{q_{\text{внутр}}}{\varepsilon_0}$$

Поток вектора $\vec{E}$ сквозь замкнутую поверхность равен, с точностью до множителя $\frac{1}{\varepsilon_0}$, алгебраической сумме зарядов $q_{\text{внутр}}$, находящихся внутри этой поверхности.

Если заряд распределен непрерывно, то при вычислении $q_{\text{внутр}}$ сумма заменяется интегралом по объему, поверхности или линии, которые попали внутрь поверхности, соответственно: $\int \rho dV, \quad \int \sigma dS, \quad \int \lambda dl.$

Q: ***8***. *Сформулируйте теорему Гаусса в дифференциальной форме.*

A: Пренебрежем дискретностью заряда, считая его распределенным в пространстве с плотностью $\rho = \rho(\vec{r})$. В этом случае теорема Гаусса имеет следующий вид:

$$\oiint_S \vec{E}d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0}\int_V \rho dV.$$

Интеграл по поверхности, можно с помощью математической теоремы Остроградского-Гаусса преобразовать к форме

$$\oint \vec{E}d\vec{S} = \int_V \text{div } \vec{E}dV.$$

Так как это справедливо для любых по форме и величине объемов, то из сравнения интегралов, представленных выше, следует

$$\text{div } \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}.$$

Q: ***9***. *В чем заключается физический смысл $div\vec{E}$?*

A: Дивергенция $\text{div } \vec{E}$ является скалярной величиной. Формула вычисления $\text{div } \vec{E}$ в разных системах координат выглядит по-разному. В произвольной системе координат $\text{div } \vec{E}$ (это справедливо для любого векторного поля) определяется как

$$\text{div } \vec{E} = \lim_{V\to 0}\frac{1}{V}\oiint \vec{E}d\vec{S}$$

В декартовых координатах:

$$\mathrm{div}\ \vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z}$$

Если использовать векторный дифференциальный оператор $\vec{\nabla}$ (“набла”), который имеет вид $\nabla = \hat{\imath}\frac{\partial}{\partial x} + \hat{\jmath}\frac{\partial}{\partial y} + \hat{k}\frac{\partial}{\partial z}$, то div $\vec{E}$ можно представить в виде скалярного “произведения”: div $\vec{E} = \vec{\nabla} \cdot \vec{E}$.

Q: ***10***. *Дайте определение циркуляции вектора* $\vec{E}$.

A: Из механики известно, что любое стационарное поле центральных сил является консервативным, т.е. работа сил этого поля не зависит от формы пути, а зависит только от положения его начальной и конечной точки. Именно таким свойством обладает электростатическое поле - поле, образованное системой неподвижных зарядов. Если в качестве пробного заряда, переносимого из точки 1 заданного поля $\vec{E}$ в точку 2, взять единичный положительный заряд, то элементарная работа сил поля на перемещении $d\vec{l}$ равна $\vec{E}d\vec{l}$, а вся работа сил поля на этом пути: $\int_1^2 \vec{E}d\vec{l}$.

Этот интеграл берется по некоторой линии (пути), поэтому его называют линейным. Интеграл по замкнутому пути называют циркуляцией вектора $\vec{E}$ и обозначают $\oint$.

Q: ***11***. *Сформулируйте теорему о циркуляции вектора* $\vec{E}$*?*

A: Циркуляция вектора $\vec{E}$ в любом электростатическом поле равна нулю, т.е.

$$\oint \vec{E}d\vec{l} = 0$$

Это утверждение и называют теоремой о циркуляции вектора $\vec{E}$.

Q: ***12***. *Дайте определение потенциального поля.*

A: Поле, обладающее этим свойством, называют потенциальным. Значит, любое электростатическо поле является потенциальным.

Q: ***13***. *Докажите, что линии электростатического поля $\vec{E}$ не могут быть замкнутыми.*

A: Теорема о циркуляции вектора $\vec{E}$ позволяет сделать ряд важных выводов, практически не прибегая к расчетам.

Пример 1. Линии электростатического поля $\vec{E}$ не могут быть замкнутыми.

Если это не так и какая-то линия вектора $\vec{E}$ замкнута, то, взяв циркуляцию вектора $\vec{E}$ вдоль этой линии, мы сразу же придем к противоречию с теоремой, т.к. вдоль силовой линии $\vec{E}d\vec{r} > 0$. Значит, действительно, в электростатическом поле замкнутых линий вектора $\vec{E}$ не существует: линии начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных (или уходят в бесконечность).

Q: ***14***. *По какой формуле можно определить потенциальную энергию системы точечных зарядов?*

A: Электростатическое поле является потенциальным, т.е. работа его сил по перемещению заряда не зависит от форму пути. Работа сил поля при перемещении точечного заряда q из точки 1 в точку 2 равна убыли его потенциальной энергии:

$$A = W_1 - W_2.$$

Потенциальная энергия заряда q в системе зарядов q_i:

$$W = k \sum_i \frac{q \cdot q_i}{r_i}$$

где r_i - расстояние между q и q_i.

Полная потенциальная энергия системы точечных зарядов:

$$W = \frac{k}{2} \sum_i \sum_{j \neq i} \frac{q_i \cdot q_j}{r_{ij}},$$

где r_{ij} - расстояние между зарядами q_i и q_j.

Q: ***15***. *Дайте определение потенциалов.*

A: Энергетическая характеристика электростатического поля - потенциал:

$$\varphi(\vec{r}) = \frac{W(\vec{r})}{q}.$$

Q: ***16****. Чему равен потенциал системы точечных зарядов?*

A:

Q: ***17****. Чему равен потенциал в случае непрерывного распределения заряда плотностью ρ?*

A:

Q: ***18****. Сформулировать теорему о циркуляции поля $\vec{E}$ в дифференциальной форме.*

A:

Q: ***19****. Как связаны между собой напряженность электростатического поля $\vec{E}$ и его потенциал?*

A:

Q: ***20****. Что такое эквипотенциальная поверхность?*

A:

Q: ***21****. Как расположены друг относительно друга эквипотенциальные поверхности и силовые линии поля $\vec{E}$?*

A:

Q: ***22****. Дайте определение электрического диполя.*

A:

Q: ***23****. Что такое электрический дипольный момент?*

A:

Q: ***24***. *Как найти момент сил, действующих на диполь?*

A:

Q: ***25***. *Какие молекулы называют полярными? Неполярными?*

A:

Q: ***26***. *Опишите процесс поляризации диэлектрика.*

A:

Q: ***27***. *Какие заряды называют связанными? Сторонними?*

A:

Q: ***28***. *Дайте определение поляризованности* $\vec{P}$.

A:

Q: ***29***. *Что такое диэлектрическая восприимчивость вещества?*

A:

Q: ***30***. *Дайте определение вектора* $\vec{D}$.

A:

Q: ***31***. *Интегральная форма теоремы Гаусса для вектора* $\vec{D}$.

A:

Q: ***32***. *Дифференциальная форма теоремы Гаусса для вектора* $\vec{D}$.

A:

Q: ***33***. *Какие диэлектрики называют изотропными?*

A:

Q: ***34***. *Как связаны между собой* $\vec{P}$ *и* $\vec{E}$ *в изотропных диэлектриках?*

A:

Q: ***35***. *Как связаны между собой* $\vec{D}$ *и* $\vec{E}$ *в изотропных диэлектриках?*

A:

Q: ***36***. *Докажите, что внутри проводника, внесенного во внешнее электрическое поле, отсутствуют избыточные заряды.*

A:

Q: ***37***. *Чему равна напряженность электрического поля у поверхности проводника?*

A:

Q: ***38***. *Дайте определение емкости уединенного проводника.*

A:

Q: ***39***. *Что такое конденсатор?*

A:

Q: ***40***. *Дайте определение емкости конденсатора.*

A:

Q: ***41***. *Как вычислить емкость батареи конденсаторов при последовательном соединении? При параллельном?*

A:

Q: ***42***. *По каким формулам вычисляете энергия электрического поля?*

A:

Q: ***43**. Как вычислить работу при поляризации диэлектрика?*

A:

Постоянный электрический ток

Q: ***1***. *Что такое электрический ток?*

A:

Q: ***2***. *Дайте определение плотности тока.*

A:

Q: ***3***. *Сформулируйте уравнение непрерывности (в интегральной форме).*

A:

Q: ***4***. *Сформулируйте уравнение непрерывности (в дифференицальной форме).*

A:

Q: ***5***. *Сформулируйте закон Ома для однородного проводника.*

A:

Q: ***6***. *Сформулируйте закон Ома в локальном виде.*

A:

Q: ***7***. *Что такое сторонние силы?*

A:

Q: ***8***. *Сформулируйте обобщенный закон Ома в локальной форме.*

A:

Q: ***9***. *Сформулируйте закон Ома для неоднородного участка цепи.*

A:

Q: ***10***. *Сформулируйте закон Джоуля-Ленца (для однородного участка цепи).*

A:

Q: ***11***. *Сформулируйте закон Джоуля-Ленца в локальной форме для однородного участка цепи.*

A:

Q: ***12***. *Сформулируйте закон Джоуля-Ленца для неоднородного участка цепи.*

A:

Магнитное поле. Электромагнитная индукция

Q: ***1***. *Дайте определение силы Лоренца.*

A:

Q: ***2***. *Что такое вектор* $\vec{B}$*?*

A:

Q: ***3***. *Сформулируйте принцип суперпозиции для вектора* $\vec{B}$*?*

A:

Q: ***4***. *Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа.*

A:

Q: ***5***. *Найдите поле* $\vec{B}$ *прямого тока.*

A:

Q: ***6***. *Какую силу называют силой Ампера?*

A:

Q: ***7***. *Дайте определение магнитного момента.*

A:

Q: ***8***. *Сформулируйте теорему Гаусса для вектора* $\vec{B}$.

A:

Q: ***9***. *В чем заключается механизм намагничения?*

A:

Q: ***10***. *Дайте определение намагниченности* $\vec{J}$.

A:

Q: ***11***. *Какие токи называют молекулярными?*

A:

Q: ***12***. *Какие токи называют поверхностными токами намагничивания?*

A:

Q: ***13***. *Какие токи называют объемными токами намагничивания?*

A:

Q: ***14***. *Дайте определение вектора* $\vec{H}$.

A:

Q: ***15***. *Сформулируйте теорему о циркуляции вектора* $\vec{H}$ *(в интегральной и дифференциальной форме).*

A:

Q: ***16***. *Связь между* $\vec{J}$ *и* $\vec{H}$*? Между* $\vec{B}$ *и* $\vec{H}$*?*

A:

Q: ***17***. *В чем заключается явление электромагнитной индукции?*

A:

Q: ***18***. *Дайте определение ЭДС индукции.*

A:

Q: ***19***. *Сформулируйте правило Ленца.*

A:

Q: ***20***. *Какие токи называют токам Фуко?*

A:

Q: ***21***. *Сформулируйте закон электромагнитной индукции.*

A:

Уравнения Максвелла

Q: ***1***. *Дайте определение тока смещения.*

A:

Q: ***2***. *Дайте определение полного тока.*

A:

Q: ***3***. *Сформулируйте теорему о циркуляции вектора* $\vec{H}$ *в случае произвольных токов (в интегральной и дифференциальной форме).*

A:

Q: ***4***. *Сформулируйте уравнения Максвелла.*

A:

Q: ***5***. *В чем заключается содержание этих уравнений?*

A:

Оптика

Q: ***1***. *Уравнения Максвелла в интегральной форме (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***2***. *Уравнения Максвелла в дифференциальной форме (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***3***. *Уравнения Максвелла в интегральной форме для случая отсутствия токов и зарядов (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***4***. *Уравнения Максвелла в дифференциальной форме для случая отсутствия токов и зарядов (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***5***. *Волновое уравнение (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***6***. *Уравнение плоской ЭМ волны (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: *7. Волновое число и волновой вектор (Определение. Направление. Формула).*

A:

Q: ***8***. *Волновой фронт (Определение. Примеры (сферический и плоский ВФ)).*

A:

Q: ***9***. *Показатель преломления среды (формула 1 через скорость света и фазовую скорость, формула 2 через проницаемости).*

A:

Q: ***10***. *Вектор Пойнтинга (формула без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***11***. *Интенсивность ЭМ излучения (Размерность. Выражение через квадрат амплитуды.).*

A:

Q: ***12***. *Двухлучевая интерференция (Формула 1 через амплитуды и формула 2 через интенсивности).*

A:

Q: ***13***. *Связь разности хода и разности фаз (формула, с объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***14***. *Условие максимума через разность хода и разность фаз (формула, с объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***15***. *Условие минимума через разность хода и разность фаз (формула, с объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***16***. *Видность интерференционной картины (формула, с объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***17***. *Ширина интерференционной полосы на примере схемы Юнга (ШИП выражается через параметры схемы. Без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***18***. *Время и длина когерентности (Определение. Формула без вывода.).*

A:

Q: ***19***. *Разность хода при интерференции в тонких пленках (Формула через толщину и показатель преломления пленки. Без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)*

A:

Q: ***20***. *Вид интерференционной картины в случае плоскопараллельной пластины, клина, сферической линзы, лежащей на пластине (Словесное описание или эскиз. Особенности картин.).*

A:

Q: ***21***. *Принцип Гюйгенса Френеля (Определение, примеры для отверстия, экрана).*

A:

Q: ***22***. *Интеграл Фраунгофера (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***23***. *Решение интеграла Фраунгофера для узкой щели (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***24***. *Условие минимумов при дифракции на щели (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***25***. *Вид решения для круглого отверстия (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***26***. *Условие максимумов при дифракции на решетке (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***27***. *Разрешающая способность диф. решетки (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***28***. *Линейная поляризация(определение).*

A:

Q: ***29***. *Закон Малюса (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***30***. *Степень поляризации (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***31***. *Эллиптическая поляризация(определение).*

A:

Q: ***32***. *Двулучепреломление в кристаллах. Обыкновенный и необыкновенный луч. (Определение, причины нарушения законов геом. оптики.)*

A:

Q: ***33***. *Полуволновые и четверть волновые пластины (принцип работы с примерами).*

A:

Q: ***34***. *Формулы Френеля для s и p поляризации (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов).*

A:

Q: ***35***. *Что называется углом Брюстера?*

A:

Q: ***36***. *Как связан угол Брюстера с показателями преломления среды, из которой падает волна и показателем преломления среды, в которую волна проходит.*

A: