Потенциальная энергия электрического диполя с моментом $\vec{p}$ в поле с напряженностью $\vec{E}$.

1. $-\vec{p}\vec{E}$

2. $|\vec{p}|\ |\vec{E}|$

3. $-\ |\vec{p}|\ |\vec{E}|$

4. $-\frac{|\vec{p}|}{|\vec{E}|}$

5. $\frac{|\vec{E}|}{|\vec{p}|}$

Ответ: Потенциальная энергия диполя в электрическом поле:

$$W = -\vec{p} \cdot \vec{E} = -pE(r) \cos \alpha,$$

где α – угол между $\vec{E}(\vec{r})$ и $\vec{p}$.

Точечный заряд q помещен в центр пирамиды. Поток вектора напряженности через грань пирамиды равен

1. $\frac{q}{4}$

2. $\frac{q}{4\varepsilon_0}$

3. $\frac{q}{6\varepsilon\varepsilon_0}$

4. $\frac{q}{\varepsilon_0}$

5. $\varepsilon\varepsilon_0 q$

Ответ: Из-за симметрии задачи, потоки вектора напряженности электрического поля через каждую из 4 граней пирамиды одинаковы. По теореме Остроградского-Гаусса полный поток Φ

$$\Phi = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

Поток через одну грань

$$\Phi_1 = \frac{q}{4 \cdot \varepsilon_0}$$

Элемент проводника с током I, длиной dl создает в точке A, положение которой задано вектором $\vec{r}$, магнитное поле с индукцией

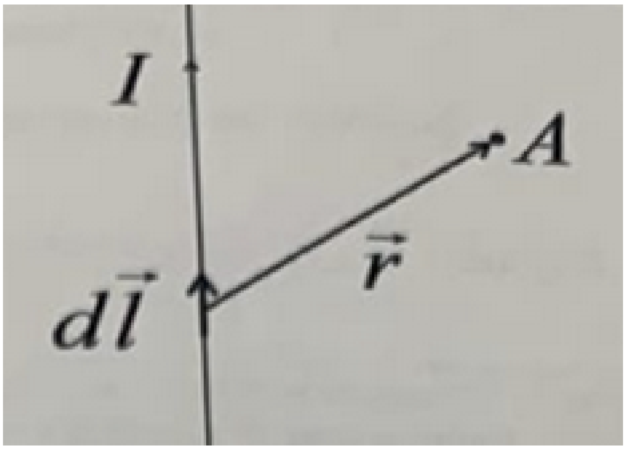

Рис. 1: Поясняющий рисунок.

1. $\boldsymbol{\frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{\left[d\vec{l},\vec{r}\right]}{r^3}}$
2. $\frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{\left[d\vec{l},\vec{r}\right]}{l^3}$
3. $\frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{\left[d\vec{l},\vec{r}\right]}{r^2}$
4. $\frac{\mu_0 I}{\pi}\frac{\left[d\vec{l},\vec{r}\right]}{r^2}$
5. $-\frac{\mu_0 I}{\pi}\frac{\left[d\vec{l},\vec{r}\right]}{l^2}$

Ответ: По закону Био-Савара-Лапласа для тонкого проводника:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{\left[d\vec{l},\vec{r}\right]}{r^3}$$

Диполь с моментом $\vec{p}$ помещен в электрическое поле напряженностью $\vec{E}$. На диполь действует механическй момент $\overrightarrow{M}$. Укажите верное выражение.

1. $\overrightarrow{M} = |\vec{p}|\ \vec{E}$
2. $\overrightarrow{M} = |\vec{E}|\ \vec{p}$
3. $\overrightarrow{M} = \left[\vec{E},\vec{p}\right]$
4. $M = 0$

5. $\boldsymbol{\overrightarrow{M} = \left[\vec{p},\vec{E}\right]}$

Ответ: В однородном электрическом поле энергия W изменяется за счет изменения угла α, при этом элементарная работа сил поля при повороте диполя равна: $dA = M_\alpha d\alpha = -dW$, где $\overrightarrow{M_\alpha} = \left[\vec{p} \times \vec{E}\right]$ – момент сил, действующий на диполь:

$$M_\alpha = -\frac{\partial W}{\partial \alpha} = -pE\sin\alpha$$

По витку радиусом R течет ток силой I. Индукция магнитного поля B в центре витка равна

1. $\frac{\mu_0 I}{2\pi R}$
2. $\boldsymbol{\frac{\mu_0 I}{2R}}$
3. $\frac{\mu_0 I}{\pi R}$
4. $\frac{\mu_0 I}{4\pi R}$
5. $\frac{\mu_0 I}{8\pi R}$

Ответ: По теореме Био-Савара-Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{\left[d\vec{l}, \vec{r}\right]}{r^3} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{dl}{r^2} =$$
$$= \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{r d\alpha}{r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{d\alpha}{R}.$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}\int_0^{2\pi} d\alpha = \frac{\mu_0 I 2\pi}{4\pi R} = \boldsymbol{\frac{\mu_0 I}{2R}}$$

Поток вектора индукции электростатического поля через замкнутую поверхность

1. Равен алгебраической сумме свободных зарядов, находящихся внутри поверхности.
2. Равен сумме абсолютных величин связанных зарядов, находящихся внутри поверхности.
3. Равен сумме абсолютных величин всех зарядов, находящихся внутри поверхности, деленной на электрическую постоянную.

4. Равен алгебраической сумме всех зарядов, охваченных поверхностью, деленную на электрическую постоянную.

5. Равен нулю.

Ответ: По теореме Остроградского-Гаусса для вектора электрической индукции $\vec{D}$:

$$\oiint_S \vec{D} d\vec{S} = q_{\text{внутр}}.$$

Точечный заряд q помещен в центр куба. Поток вектора напряженности через одну грань куба равен

1. $\frac{q}{6}$
2. $\boldsymbol{\frac{q}{6\varepsilon_0}}$
3. $\frac{q}{4\varepsilon\varepsilon_0}$
4. $\frac{q}{\varepsilon_0}$
5. $\varepsilon\varepsilon_0 q$

Ответ: Из-за симметрии задачи, потоки вектора напряженности электрического поля через каждую из шести граней куба одинаковы. По теореме Остроградского-Гаусса полный поток Φ

$$\Phi = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

Поток через одну грань

$$\Phi_1 = \frac{q}{6 \cdot \varepsilon_0}.$$

Укажите все верные утверждения. В однородном изотропном диэлектрике, который помещен в однородное электрическое поле.

1. $\operatorname{div} \vec{E} = \rho_{\text{своб}}$
2. $\operatorname{div} \vec{P} = -\rho_{\text{своб}}$
3. $\boldsymbol{\operatorname{div} \vec{D} = \rho_{\text{своб}}}$
4. $\boldsymbol{\operatorname{div} \vec{P} = -\rho_{\text{связ}}}$
5. $\operatorname{div} \vec{D} = 0$

Ответ: Плотность связанных зарядов определяется формулой:

$$\rho_{\text{связ}} = -\operatorname{div} \vec{P}$$

Вектор электрической индукции:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

Уравнения Гаусса для поля E

$$\mathrm{div}\ \vec{E} = \frac{\rho_{\text{полн}}}{\varepsilon_0}$$

где

$$\rho_{\text{полн}} = \rho_{\text{своб}} + \rho_{\text{связ}}$$

Возьмем дивергенцию для

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

Получим

$$\mathrm{div}\ \vec{D} = \varepsilon_0\ \mathrm{div}\ \vec{E} + \mathrm{div}\ \vec{P}$$

Подставляем в уравнение Гаусса

$$= \varepsilon_0 \cdot \frac{\rho_{\text{своб}} + \rho_{\text{связ}}}{\varepsilon_0} + \mathrm{div}\ \vec{P} =$$

$$= \rho_{\text{своб}} + \rho_{\text{связ}} + \mathrm{div}\ \vec{P}$$

Но мы знаем, что

$$\rho_{\text{связ}} = -\mathrm{div}\ \vec{P}$$

то есть

$$\mathrm{div}\ \vec{D} = \rho_{\text{своб}} + \rho_{\text{связ}} + \mathrm{div}\ \vec{P} = \rho_{\text{своб}} - \mathrm{div}\ \vec{P} + \mathrm{div}\ \vec{P} = \rho_{\text{своб}}$$

В результате получим

$$\mathrm{div}\ \vec{D} = \rho_{\text{своб}}$$

Электрическое поле проходит через границу раздела двух незаряженных диэлектриков $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$. Укажите все верные утверждения. На границе раздела
1. $D_{1n} = D_{2n}$

2. $D_{1n} < D_{2n}$
3. $D_{1n} > D_{2n}$
4. $\boldsymbol{D_{1\tau} < D_{2\tau}}$
5. $D_{1\tau} > D_{2\tau}$

Ответ: Так как

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho_{\text{своб}}$$

Проинтегрировав, получим

$$D_{2n} - D_{1n} = \rho_{\text{своб}}$$

Так как диэлектрики незаряжены

$$\rho_{\text{своб}} = 0$$

Тогда

$$D_{1n} = D_{2n}$$

Векторы $\vec{D}$ и $\vec{E}$ связаны

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$$

Из уравнения

$$\operatorname{rot} \vec{E} = 0$$

Следует

$$E_{1\tau} = E_{2\tau}$$

Теперь умножаем на ε

$$D_{1\tau} = \varepsilon_1 E_\tau$$
$$D_{2\tau} = \varepsilon_2 E_\tau$$

Так как

$$\varepsilon_2 > \varepsilon_1$$

то

$$D_{2\tau} > D_{1\tau}$$

Источник внутренним спротивлением r подключен к нагрузке, сопротивлением R. Какой из графиков правильно качественно отражает зависимость полезной мощности от R.
Ответ: По закону Ома для замкнутой цепи:

$$U = \mathcal{E} - Ir$$

Домножим на I.

$$IU = \mathcal{E}I - I^2 r$$

Переставим слагаемые и воспользуемся $U = IR$

$$I\mathcal{E} = I^2 R + I^2 r$$

где $I^2 R$ – полезная мощность.

Полное сопротивление

$$R_{\text{полн}} = R + r$$

Ток

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

Тогда полезная мощность

$$P(R) = I^2 \cdot R = \left(\frac{\mathcal{E}}{R + r}\right)^2 \cdot R = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R + r)^2}$$

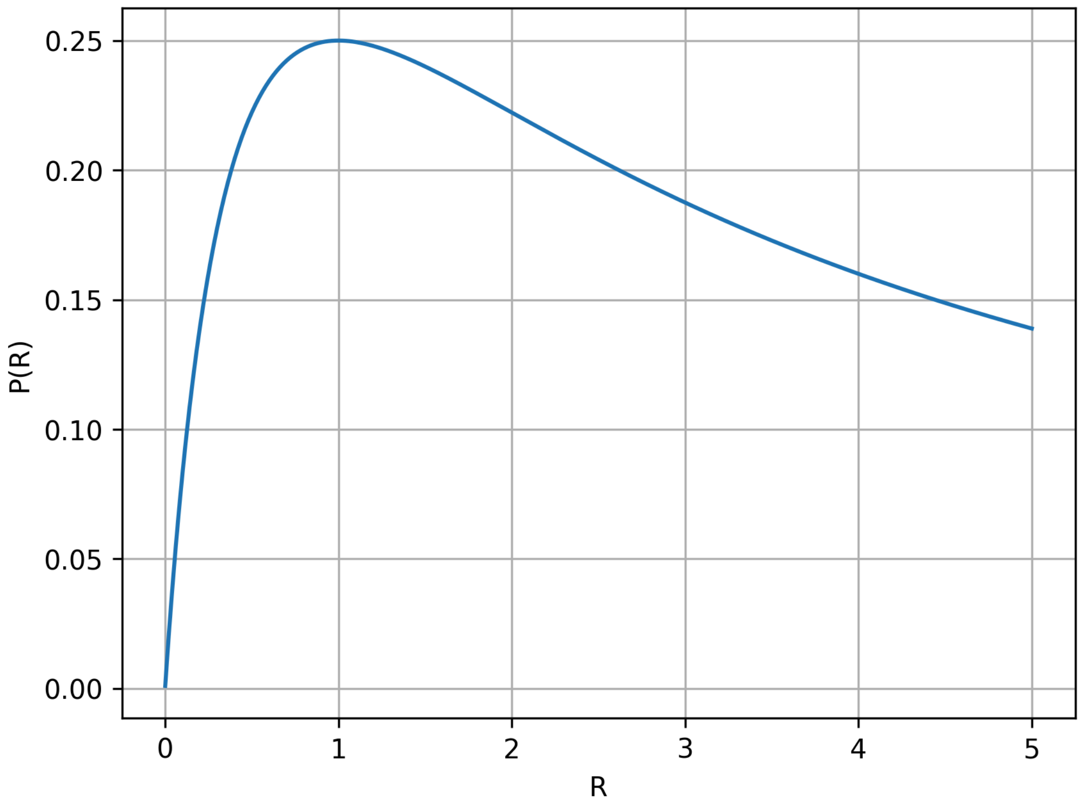

Рис. 2: График $P(R)$.

Какая формула позволяет вычислить разность потенциалов между точками A и B, расположенными на расстоянии l друг от друга в однородном электрическом поле напряженностью E.

1. $\varphi_A - \varphi_B = -E \cdot l$
2. $\varphi_A - \varphi_B = E \cdot l \cdot \operatorname{tg} \alpha$
3. $\boldsymbol{\varphi_A - \varphi_B = E \cdot l \cdot \cos \alpha}$
4. $\varphi_A - \varphi_B = -E \cdot l \cdot \cos \alpha$
5. $\varphi_A - \varphi_B = -E \cdot l \cdot \operatorname{tg} \alpha$

Ответ: По определению разности потенциалов между точками A и B

$$\varphi_A - \varphi_B = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

Так как поле однородное, то $\vec{E} = \text{const}$ и интеграл упрощается до

$$\varphi_A - \varphi_B = \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

И по определению скалярного произведения

$$\varphi_A - \varphi_B = El\cos\alpha$$

Потенциальная энергия контура с магнитным моментом $\vec{P}_m$ в поле с индукцией $\vec{B}$ равна

1. $\boldsymbol{-\vec{P}_m\vec{B}}$
2. $-|\vec{P}_m|\,|\vec{B}|$
3. $\vec{P}_m \times \vec{B}$
4. $\vec{P}_m\vec{B}$
5. $|\vec{P}_m|\,|\vec{B}|$

Ответ: Для контура с током магнитный момент:

$$\vec{p}_m = I\vec{S}$$

Для электрического диполя в электрическом поле

$$U = -\vec{p}\cdot\vec{E}$$

Для контура с током в магнитном поле:

$$U = -\vec{p}_m\cdot\vec{B}$$

Магнитное поле проходит через границу раздела двух сред. Токи проводимости отсутствуют. $\mu_2 > \mu_1$. Укажите все верные утверждения. На границе раздела

1. $\boldsymbol{B_{1n} = B_{2n}}$
2. $B_{1n} < B_{2n}$
3. $B_{1n} > B_{2n}$

4. $\boldsymbol{B_{1\tau} < B_{2\tau}}$
5. $B_{1\tau} > B_{2\tau}$

Ответ: Уравнение Максвелла для магнитного поля

$$\operatorname{div}\vec{B} = 0$$

Проинтегрировав, получим

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{S} = 0$$

Переходя к пределу, получим граничное условие

$$B_{2n} - B_{1n} = 0 \Rightarrow B_{2n} = B_{1n}$$

Из уравнения Максвелла

$$\mathrm{rot}\ \vec{H} = \vec{\jmath}_{\text{пров}}$$

По условию

$$\vec{\jmath}_{\text{пров}} = 0$$

То есть

$$H_{1\tau} = H_{2\tau}$$

Так как

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

С учетом того, что $\mu_2 > \mu_1$

$$B_{2\tau} > B_{1\tau}$$

Укажите все выражения, которые входят в ток смещения

1. $\boldsymbol{\frac{\partial\vec{P}}{\partial t}}$

2. $\frac{\partial J}{\partial t}$

3. $\boldsymbol{\varepsilon_0\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}}$

4. $\vec{\jmath}_{\text{проводимости}}$

5. $\mu_0\frac{\partial\vec{H}}{\partial t}$

Ответ: По определению Максвелла плотность тока смещения

$$\vec{\jmath}_{\text{см}} = \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$$

По определению $\vec{D}$

$$\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}$$

Взяв производную по времени получим

$$\frac{\partial\vec{D}}{\partial t} = \varepsilon_0\frac{\partial\vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial\vec{P}}{\partial t}$$

В реальном колебательном контуре резонанс по величине ЭДС индукции в катушке наступает при частоте внешней ЭДС

1. намного меньше собственной частоты контура
2. намного больше собственной частоты контура
3. примерно равной собственной частоте контура
4. чуть меньше собственной частоты контура

5. чуть больше собственной частоты контура

Ответ: хз.

Укажите все волновые уравнения

1. $\boldsymbol{\Delta\vec{E} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}}$

2. $\oint_L \vec{H}d\vec{l} = \int_S\left(\vec{j} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}\right)d\vec{S}$

3. $\oint_L \vec{E}d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial\vec{B}}{\partial t}d\vec{S}.$

4. $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\varepsilon\mu_0\mu}}$

5. $\boldsymbol{\Delta\overrightarrow{H} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\overrightarrow{H}}{\partial t^2}}$

Ответ: Волновое уравнение – это дифференциальное уравнение вида

$$\Delta\vec{F} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\vec{F}}{\partial t^2}$$

где Δ – оператор Лапласа.

Эквипотенциальные поверхности поля точечного положительного заряда имеют вид

1. равноотстоящих друг от друга плоскостей

2. концентрических сфер

3. коаксиальных цилиндров
4. эллипсоидов вращения
5. пересекающихся плоскостей

Ответ: Эквипотенциальная поверхность – это поверхность, на которой

$$\varphi = \text{const}$$

Для точечного положительного заряда q

$$\varphi(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$$

Если $\varphi = \text{const}$, то из формулы следует

$$\frac{1}{r} = \text{const} \Rightarrow r = \text{const}$$

Множество точек, находящихся на одинаковом расстоянии от одной точки, это сфера.

Укажите все верные утверждения. Электрическое поле проходит через границу раздела двух незаряженных диэлектриков $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$. Укажите все верные утверждения. На границе раздела

1. $E_{1n} = E_{2n}$
2. $E_{1n} < E_{2n}$

3. $\boldsymbol{E_{1n} > E_{2n}}$

4. $E_{1\tau} < E_{2\tau}$

5. $\boldsymbol{E_{1\tau} = E_{2\tau}}$

Ответ: Закон Фарадея

$$\text{rot}\ \vec{E} = 0$$

Интегрируя по малому контуру, пересекающему границу, получаем

$$E_{1\tau} = E_{2\tau}$$

Из уравнения Гаусса

$$\text{div}\ \vec{D} = \rho_{\text{своб}}$$

Интегрирование дает

$$D_{2n} - D_{1n} = \rho_{\text{своб}}$$

Так как диэлектрики незаряжены

$$\rho_{\text{своб}} = 0 \Rightarrow D_{1n} = D_{2n}$$

Так как

$$\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E}$$

Получим

$$\varepsilon_1 E_{1n} = \varepsilon_2 E_{2n}$$

Тогда если

$$\varepsilon_1 < \varepsilon_2$$

То

$$E_{1n} > E_{2n}$$

Проводящий шар заряжен положительным зарядом. Внутри шара

1. линии напряженности замкнуты
2. линии напряженности идут вдоль радиусов к поверхности
3. линии напряженности идут вдоль радиусов к центру

4. напряженность поля равна нулю

5. линии напряженности перпендикулярны радиусам шара

Ответ: В электростатическом равновесии внутри проводника

$$\vec{E} = 0$$

Укажите все верные утверждения

1. Первый закон Кирхгофа является следствием закона Кулона

2. Первый закон Кирхгофа является следствием закона сохранения заряда 3. Второй закон Кирхгофа является следствием закона Ома для неоднородного участка цепи.

4. Второй закон Кирхгофа является следствием закона Джоуля-Ленца.
5. Второй закон Кирхгофа является следствием закона Ома для однородного участка цепи.

Ответ: По первому закону Кирхгофа алгебраическая сумма токов в узле равна нулю

$$\sum I = 0$$

то есть

$$\sum I_{\text{вход}} = \sum I_{\text{выход}}$$

то есть заряд не накапливается в узле.

По второму закону Кирхгофа в любом замкнутом контуре алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжений.

$$\sum E = \sum IR$$

или эквивалентно:

$$\sum U = 0$$

Закон сохранения заряда

$$\frac{dq}{dt} = 0$$

Закон Ома для неоднородного участка цепи

$$U = IR - \mathcal{E}$$

или

$$IR = U + \mathcal{E}$$

Укажите формулу, которая всегда окажется верной при вычислении объемной плотности энергии электричского поля
1. $\frac{\vec{E}\vec{D}}{2}$
2. $\frac{|\vec{E}||\vec{D}|}{2}$
3. $\frac{\varepsilon_0\varepsilon\ |\vec{E}|^2}{2}$
4. $\vec{D}\vec{E}$
5. $\frac{|\vec{D}|^2}{2\varepsilon_0\varepsilon}$

Ответ: Объемная плотность энергии $w = \frac{\vec{E}\vec{D}}{2}$ содержит в себе как собственную энергию электрического поля $\frac{\varepsilon_0 E^2}{2}$, так и энергию поляризации диэлектрика $\frac{\vec{E}\vec{P}}{2}$.

Укажите все верные утверждения. Магнитное поле создают 1. Электрический ток 2. Движущаяся заряженная частица

3. Потенциальное электрическое поле
4. Вихревое электрическое поле

5. Ток смещения

Ответ: По закону Био-Савара и Ампера

$$\vec{B} \sim \vec{j}$$

Движущийся заряд – это микроскопический ток. Если заряд q движется со скоростью $\vec{v}$, он создает магнитное поле:

$$\vec{B} \sim .$$