

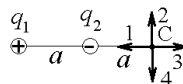
## Примеры тестовых заданий по физике (семестр 3)

В этом разделе приводятся примеры тестовых заданий, предлагаемых студентам в процессе тестирования при проведении двух текущих аттестаций, а также во время экзамена. Вопросы разбиты по темам, соответствующим порядку изучения учебного материала. Формулировка тестовых заданий, проверяющих приобретенные умения и навыки, предусматривает выбор ответа, но такие же задания могут быть предложены на экзамене без вариантов ответа. Задания, предлагавшиеся в процессе проверки остаточных знаний ФЭПО отмечены символом (\*).

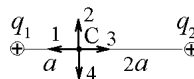
Для ответа на данные тесты необходимо иметь представления об основных явлениях электромагнетизма и ознакомиться с основными законами и формулами физики в любом учебном пособии или на лекционных занятиях. Предполагается, что при подготовке студент будет самостоятельно искать правильный ответ, но для контроля правильные ответы приведены в конце раздела.

### 3.1. Напряженность электростатического поля

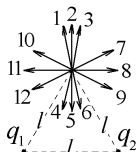
**1.1\*.** Электрическое поле создано точечными зарядами  $q_1$  и  $q_2$ . Если  $q_1 = +9q$ ,  $q_2 = -2q$ , а расстояния от заряда  $q_1$  до заряда  $q_2$  и от заряда  $q_2$  до точки С равны  $a$ , то вектор напряженности поля в точке С ориентирован в направлении: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) равен 0;



**1.2\*.** Электрическое поле создано точечными зарядами  $q_1 = +q$  и  $q_2 = +4q$ . Вектор напряженности поля в точке С, находящейся на расстоянии  $a$  от заряда  $q_1$  и на расстоянии  $2a$  от заряда  $q_2$ , ориентирован в направлении: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) равен 0;



**1.3.** Положительный точечный заряд  $q_1 = +q$  и отрицательный точечный заряд  $q_2 = -2q$  находятся в двух вершинах равностороннего треугольника с длиной стороны  $l$ . Указать направление вектора напряженности  $\vec{E}$  созданного ими электрического поля в третьей вершине этого треугольника: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5; е) 6; ж) 7; з) 8; и) 9; к) 10; л) 11; м) 12;



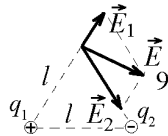
Решение. Направления векторов  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$ , созданных положительным и отрицательным зарядом в третьей вершине треугольника, пока-

зано на рисунке справа. Так как величина  $E_2 = 2q / (4\pi\epsilon_0 l^2)$  в 2 раза

больше величины  $E_1 = q / (4\pi\epsilon_0 l^2)$ , то направление

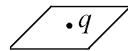
суммарного вектора  $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$  отмечено цифрой “9”.

При ответе аккуратно рисуйте направления и учитывайте и величину векторов напряженности, созданных каждым из зарядов.

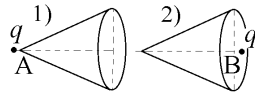


### 3.2. Теорема Гаусса для электростатического поля

**2.1.** Точечный заряд  $q$  находится на бесконечной плоскости. Чему равен поток вектора напряженности электростатического поля, созданного этим зарядом, через данную плоскость: а) 0; б)  $q/\epsilon_0$ ; в)  $q/2\epsilon_0$ ; г)  $\infty$ ;



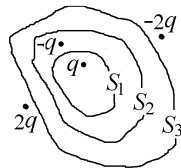
**2.2.** Частица с зарядом  $q$  находится **вне** конуса: в случае “1” – вблизи вершины конуса А; в случае “2” – вблизи центра его основания В (см.рисунок). Что можно сказать о величине



потока вектора электрической индукции  $\vec{D}$  через боковую поверхность?

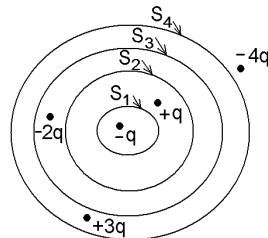
- а) она больше в первом случае; б) она больше во втором случае;  
в) в обоих случаях потоки одинаковы; г) для ответа не хватает данных;

**2.3\*.** Дана система точечных зарядов в вакууме и замкнутые поверхности  $S_1, S_2, S_3$ . Поток вектора напряженности электрического поля равен нулю сквозь...



- а) поверхности  $S_2$  и  $S_3$ ;  
б) поверхность  $S_3$ ; в) поверхность  $S_2$ ; г) поверхность  $S_1$ ;

**2.4.** Дана система точечных зарядов в вакууме и замкнутые поверхности  $S_1, S_2, S_3$  и  $S_4$ . Через какую поверхность поток вектора напряженности электростатического поля, созданного зарядами, равен  $-2q/\epsilon_0$ ?



- а)  $S_1$ ; б)  $S_2$ ; в)  $S_3$ ; г)  $S_4$ ;

**2.5.** На рисунке показаны две замкнутые поверхности  $S_1$  и  $S_2$  и положение точечных зарядов

$q_1 = +1$  мкКл,  $q_2 = -2$  мкКл,  $q_3 = +3$  мкКл,

$q_4 = -4$  мкКл и  $q_5 = +4$  мкКл, которые создают

электростатическое поле с индукцией  $\vec{D}$ . Потoki

вектора  $\vec{D}$  через замкнутые поверхности  $S_1$  и  $S_2$

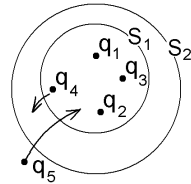
равны, соответственно,  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . Заряды  $q_4$  и  $q_5$  пе-

реместили в новые положения, указанные стрелками. При этом отно-

шение  $\Phi_1/\Phi_2$ :

а) увеличилось в 2 раза; б) увеличилось в 3 раза; в) поменяло знак;

г) уменьшилось в 3 раза и поменяло знак; д) не изменилось;



Если в задании приведено много ответов, не пытайтесь проверить каждый из них. Это займет много времени. Найдите то, что требуется в задании, сравните Ваш ответ с приведенными и выберите из них правильный.

**Решение.** Поток  $\Phi = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \sum q_{\text{внутри}}$  - это сумма зарядов внутри поверхности  $S$  с учетом их знака! Вначале

$\Phi_1 = \Phi_2 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = 1 - 2 + 3 - 4 = -2$  мкКл. После перемещения зарядов  $\Phi_1' = q_1 + q_2 + q_3 + q_5 = +6$  мкКл;

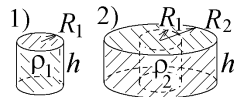
$\Phi_2' = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = +2$  мкКл. Отношение  $\Phi_1/\Phi_2$  увеличилось в 3 раза.

**2.6.** Внутри цилиндрической поверхности с радиусом  $R_1 = R$  находится равномерно распределенный с плотностью  $\rho_1$  электрический заряд  $q$ . Такой же заряд  $q$  с плотностью  $\rho_2$  распределен

внутри второй цилиндрической поверхности с радиусом  $R_2 = 3R$ .

$\Phi_1$  - поток вектора напряженности электрического поля через поверхность радиуса  $R_1$  на рис.1, а  $\Phi_2$  - такой же поток через поверхность то-

го же радиуса  $R_1$ , на рис.2. Высота  $h$  цилиндров одинакова. Чему равно отношение  $\Phi_1/\Phi_2$ ? а) 81; б) 27; в) 9; г) 3; д) 1;



**Решение.** Внутри указанной поверхности на рис.1 находится заряд  $q$  и создает поток  $\Phi_1 = \oint \vec{E} d\vec{S} = q/\epsilon_0$ . Внутри такой же поверхности на

рис.2 находится заряд  $q'$ , пропорциональный объему первоначального

цилиндра:  $q' = q \cdot \pi R_1^2 h / \pi R_2^2 h = q/9$ , создающий поток

$\Phi_2 = \oint \vec{E} d\vec{S} = q'/\epsilon_0$ . Поэтому  $\Phi_1/\Phi_2 = 9$ .

**2.7\*.** Даны формулы для вычисления напряженности электростатического поля:

$$\text{А) } E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}; \text{ Б) } E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r}; \text{ В) } E = \frac{\rho r}{3\epsilon_0}; \text{ Г) } E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}.$$

Укажите их соответствие с источником поля: 1) равномерно заряженная длинная нить; 2) равномерно заряженная бесконечная плоскость; 3) область внутри равномерно заряженного шара; 4) область вне равномерно заряженного шара:

а) 1А, 2Б, 3В, 4Г; б) 1Б, 2А, 3Г, 4В; в) 1Б, 2А, 3В, 4Г; г) 1Б, 2А, 3Г, 4В;

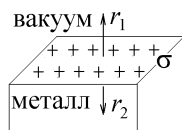
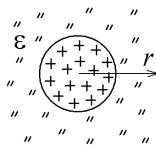
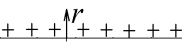
**2.8.** По бесконечно длинному и очень тонкому цилиндрическому прямому проводу с одинаковой во всех точках плотностью  $\rho = \text{const}$  распределен электрический заряд. На расстоянии  $r$  от оси провода величина напряженности электрического поля, созданного этим зарядом, равна  $E$ . Если измерить величину напряженности поля на расстоянии  $2r$  от оси провода, то она окажется равной:

а)  $E/4$ ; б)  $E/2$ ; в)  $E$ ; г)  $2E$ ; д)  $4E$ ;

**2.9.** По объему шара с равномерной плотностью  $\rho = \text{const}$  распределен электрический заряд. Шар окружен бесконечной диэлектрической средой с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2$ . На расстоянии  $r$  от центра шара (за его пределами) величина напряженности электрического поля, созданного этим зарядом, равна  $E$ . Если убрать диэлектрик, то поле с вдвое меньшей величиной напряженности  $E/2$  будет наблюдаться в вакууме за пределами шара на следующем расстоянии от его центра:

а)  $r/8$ ; б)  $r/4$ ; в)  $r/2$ ; г)  $r$ ; д)  $2r$ ; е)  $4r$ ; ж)  $8r$ ; з) другой ответ;

**2.10.** По практически бесконечной плоской поверхности очень толстой металлической пластины, фрагмент которой показан на рисунке, равномерно с поверхностной плотностью  $\sigma$  распределен положительный электрический заряд. На расстоянии  $r_1$  с одной стороны поверхности величина напряженности электрического поля, созданного этим зарядом, равна  $E_1$ . На расстоянии  $r_2 = 2r_1$  с другой стороны поверхности величина напряженности равна  $E_2$ .  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная. Разность величин (модулей) напряженностей  $E_2 - E_1$  равна:



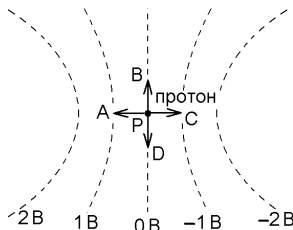
- а)  $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$ ; б)  $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ ; в)  $\frac{2\sigma}{\epsilon_0}$ ; г)  $-\frac{\sigma}{\epsilon_0}$ ; д)  $-\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ ; е)  $-\frac{2\sigma}{\epsilon_0}$ ; ж) 0;

### 3.3. Потенциал электростатического поля.

#### Работа по перемещению заряда

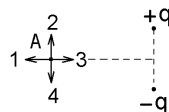
**3.1.** На рисунке показаны эквипотенциальные линии электростатического поля и значения потенциала на них. Свободный протон, вначале покоившийся в точке  $P$ :

- а) начнет двигаться в направлении  $A$ ;  
 б) начнет двигаться в направлении  $C$ ;  
 в) будет двигаться в направлении  $B$  или  $D$ ;  
 г) останется неподвижным в точке  $P$  с потенциалом  $0\text{ В}$ ;



**3.2.** Система из двух точечных зарядов, создает электрическое поле. Укажите направление вектора градиента потенциала этого поля в точке  $A$ :

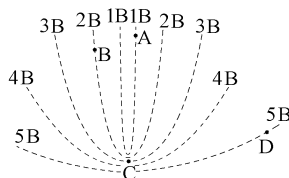
- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;



Решение. Нарисуйте линии  $\vec{E}$  поля электрического диполя и убедитесь, что в точке  $A$  вектор  $\vec{E}$  направлен вдоль стрелки 4, а вектор  $\text{grad } \phi = -\vec{E}$  – в противоположном направлении.

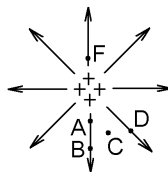
**3.3.** На рисунке показана картина эквипотенциальных линий электростатического поля и значения потенциала на них. Отмечены точки  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ . Укажите точку, в которой величина напряженности поля будет наименьшей:

- а)  $A$ ; б)  $B$ ; в)  $C$ ; г)  $D$ ;

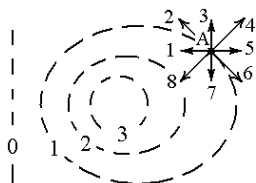


Решение. Величина напряженности  $E = |-\text{grad } \phi| \sim \Delta\phi/\Delta x$  уменьшается с увеличением расстояния  $\Delta x$  между эквипотенциальными поверхностями. В точке  $D$  это расстояние будет максимальным, а  $E$  – минимальна.

**3.4.** Силовые линии электростатического поля расходятся в радиальных направлениях. Величина разности потенциалов в этом поле имеет наименьшее значение между следующими точками:



- а) А и В; б) А и С; в) А и D; г) А и F;



**3.5.** На рисунке штриховыми линиями показаны эквипотенциальные линии системы зарядов и значения потенциала на них (в вольтах). Вектор напряженности электрического поля в точке А ориентирован в направлении:

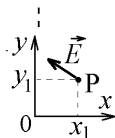
- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5; е) 6; ж) 7; з) 8;

**3.6\*.** Создано электростатическое поле, потенциал которого описывается функцией  $\varphi = -4y^2$ . Куда направлен вектор напряженности электрического поля в точке, показанной на рисунке?



- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;

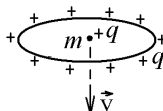
**3.7\*.** Вектор напряженности  $\vec{E}$  электростатического поля в точке  $P(x_1, y_1)$  направлен под некоторым углом к оси  $y$  (см. рисунок). Какая зависимость потенциала электрического поля от координат может соответствовать такому направлению  $\vec{E}$ ?



- а)  $\varphi = 3x^2 - 2y^2$ ; б)  $\varphi = 3x^2 + 2y^2$ ; в)  $\varphi = 3x^2$ ; г)  $\varphi = 2y^2 - 3x^2$ ;

Решение. Проекции вектора  $\vec{E} = -\text{grad } \varphi$  согласно рисунку имеют знак  $E_x = -\partial\varphi/\partial x < 0$ ,  $E_y = -\partial\varphi/\partial y > 0$ , что соответствует ответу (а).

**3.8.** По закрепленному кольцу распределен электрический заряд  $+q$ . В его центре первоначально покоилась свободная частица с массой  $m$  и таким же по величине и знаку зарядом  $+q$ . Удалившись под действием электрических сил на бесконечное расстояние, частица приобретает скорость, равную  $v$ . Каким будет выражение для расчета радиуса  $R$  кольца?



- а)  $\frac{4\pi\epsilon_0}{mq^2v^2}$ ; б)  $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0mv^2}$ ; в)  $\frac{2\pi\epsilon_0}{mq^2v^2}$ ; г)  $\frac{q^2}{2\pi\epsilon_0mv^2}$ ; д)  $\frac{\pi\epsilon_0}{mq^2v^2}$ ;

Решение. Работа электрического поля идет на увеличение кинетической энергии заряда  $q$ :  $A = q(\varphi_0 - \varphi_\infty) = mv^2/2$ . В центре кольца его заряд создает потенциал  $\varphi_0 = q/(4\pi\epsilon_0 R)$ , а на бесконечном удалении  $\varphi_\infty = 0$ . Отсюда  $R = q^2/(2\pi\epsilon_0 mv^2)$ .

### 3.4. Проводники в электростатическом поле

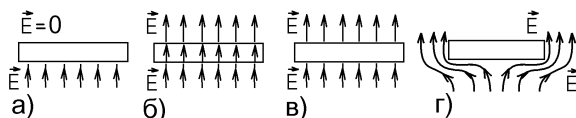
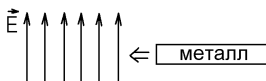
**4.1.** К концу “В” первоначально незаряженно-го металлического стержня поднесли положительный точечный заряд  $+q$ , после чего на стержне появился индуцированный заряд (см. рисунок). Каким станет соотношение между потенциалами противоположных концов стержня:



а)  $\varphi_A < \varphi_B$ ;    б)  $\varphi_A > \varphi_B$ ;    в)  $\varphi_A = \varphi_B$ ;    г) все индуцированные заряды должны иметь один знак;

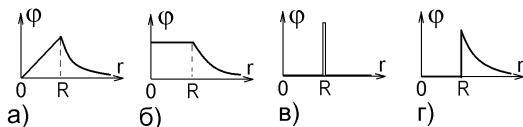
Решение. В случае покоящихся зарядов во всех точках проводника потенциал одинаков.

**4.2.** Небольшую плоскую металлическую пластинку внесли в однородное электростатическое поле с напряжённостью  $\vec{E}$ .

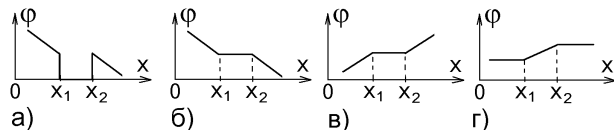


Укажите, какой станет после этого картина силовых линий электрического поля?

**4.3.** Заряд  $q$  поместили на уединённый металлический шар радиуса  $R$ . Укажите правильный график зависимости величины потенциала электрического поля от расстояния  $r$  до центра шара:



**4.4.** Металлическая пластинка внесена в однородное электрическое поле с напряжённостью  $\vec{E}$ , и на ней появляется индуцированный электрический заряд, показанный на рисунке. Каким будет график зависимости величины потенциала в зависимости от координаты  $x$ ?



**4.5.** Положительный заряд  $+q$  поместили на уединенный металлический шар радиуса  $R$ , окруженный бесконечной однородной диэлектрической средой с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_O$  в точке  $A$  на поверхности шара (на шаре) и в точке  $O$  его центра будет равна:



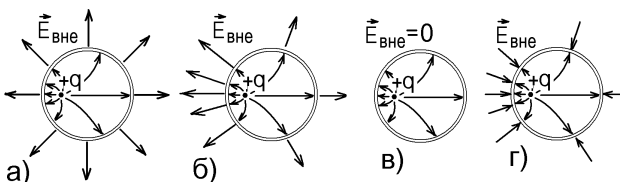
- а)  $+\frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}$ ; б)  $+\frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R}$ ; в) 0; г)  $-\frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$ ; д)  $-\frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R^2}$ ;

Решение. Потенциал в центре металлического шара равен потенциалу на его поверхности  $\varphi_O = \varphi_A = q/(4\pi\epsilon_0\epsilon R)$ .

**4.6.** Внутри первоначально незаряженной полый металлической сферы поместили точечный положительный электрический заряд, сместив его из центра сферы, как показано на рисунках. Укажите правильную картину силовых линий электрического поля в вакууме внутри и вне сферы:

Решение.

На внутренней поверхности металлической сферы появляется отрицательный индуцированный заряд  $-q$ , на котором заканчиваются все линии  $\vec{E}$  внутри сферы, не проникая в металл. На внешней поверхности сферы окажется положительный индуцированный заряд  $+q$ , распределенный **равномерно**, независимо от положения зарядов внутри сферы (экранировка электрического поля). Он создает поле вне сферы, указанное на рис.а.



### 3.5. Электрическое поле в диэлектриках. Граничные условия

**5.1\*.** Для электронной поляризации диэлектрика характерно (выберите все правильные утверждения):

- а) влияние теплового движения молекул на степень поляризации диэлектрика; б) смещение подрешетки положительных ионов по направлению вектора напряженности внешнего электрического поля, а отрицательных – против поля; в) ориентирующее действие внешнего электрического поля на собственные дипольные моменты молекул; г) возникновение у молекул индуцированного дипольного момента при помещении диэлектрика во внешнее электрическое поле;



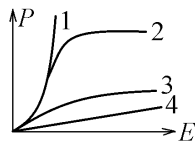
**5.2\*.** На рисунке представлены графики, схематически отражающие характер зависимости поляризованности  $P$  от напряженности поля  $E$ .

Сегнетоэлектрикам соответствует зависимость:

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;

Диэлектрикам соответствует зависимость:

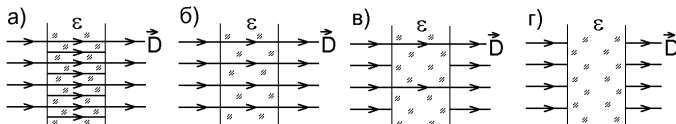
а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;



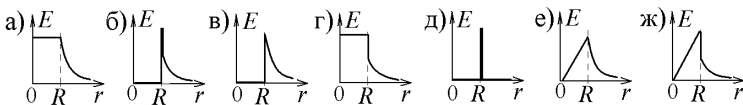
Решение. Кривая наэлектризованности сегнетоэлектрика аналогична кривой намагниченности ферромагнетика. В сильных полях сегнетоэлектрик электризуется до насыщения (кривая 2).

Для обычного изотропного диэлектрика в тестах ФЭПО предполагается зависимость  $\vec{P} = \epsilon_0 k \vec{E}$  (кривая 4), которая выполняется только в относительно слабых полях  $\vec{E}$ . В сильных полях будет наблюдаться заметное отклонение от графика 4.

**5.3.** Плоский слой диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon > 1$  поместили в вакууме перпендикулярно к линиям индукции  $\vec{D}$  внешнего однородного электростатического поля. Укажите правильную картину линий  $\vec{D}$  электрического поля внутри диэлектрика:



**5.4.** Положительный заряд  $+q$  поместили на уединенный металлический шар радиуса  $R$ , окруженный бесконечной однородной диэлектрической средой с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Каким будет график зависимости величины напряженности электрического поля от расстояния  $r$  до центра шара:

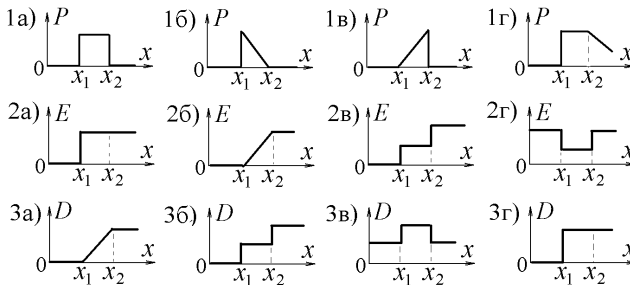


Решение. Внутри металла  $E = 0$ . Вблизи его заряженной поверхности, на диэлектрике, возникает связанный заряд противоположного знака, уменьшающий поле в диэлектрике в  $\epsilon$  раз. Правильный график – (б). Если бы шар находился в вакууме, то поле  $E$  изменялось бы по закону (в).

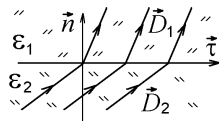
**5.5.** По плоской поверхности металла распределен с поверхностной плотностью  $\sigma$  электрический заряд. Сверху лежит плоский слой однородного идеального диэлектрика (см. рисунок). Какими будут в этом случае графики зависимости величины



- 1) вектора поляризованности  $\vec{P}$  ;  
 2) вектора напряженности  $\vec{E}$  ; 3) вектора электрической индукции  $\vec{D}$  ?

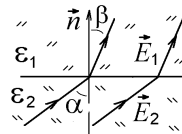


**5.6.** На рисунке показаны линии вектора электрической индукции  $\vec{D}$  на плоской границе двух диэлектрических сред с диэлектрическими проницаемостями  $\epsilon_1 = 3$  и  $\epsilon_2 = 2$ . Проекция этого вектора на касательное к границе направление  $\vec{\tau}$  с разных сторон от границы равны  $D_{1\tau}$  и  $D_{2\tau}$ . Чему равна величина  $D_{2\tau}$ , если  $D_{1\tau} = 6$  мкТл/м<sup>2</sup>?



- а) 1 мкТл/м<sup>2</sup>; б) 1,5 мкТл/м<sup>2</sup>; в) 4 мкТл/м<sup>2</sup>;  
 г) 6 мкТл/м<sup>2</sup>; д) 9 мкТл/м<sup>2</sup>;

**5.7.** На рисунке показаны линии вектора напряженности  $\vec{E}$  на плоской границе двух диэлектрических сред с диэлектрическими проницаемостями  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ . Эти линии образуют углы  $\alpha$  и  $\beta$  с нормалью к границе. Выберите правильное соотношение:

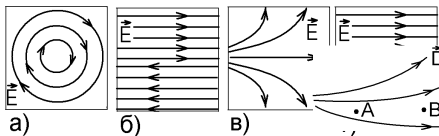


- а)  $\epsilon_1 \cos \alpha = \epsilon_2 \cos \beta$  ; б)  $\epsilon_2 \cos \alpha = \epsilon_1 \cos \beta$  ;  
 в)  $\epsilon_1 \tan \alpha = \epsilon_2 \tan \beta$  ; г)  $\epsilon_2 \tan \alpha = \epsilon_1 \tan \beta$  ;

**Решение.** Проекция вектора  $\vec{E}_1$  на нормальное и касательное к границе направления равны  $E_{1n} = E_1 \cos \beta$  ;  $E_{1\tau} = E_1 \sin \beta$  , откуда  $E_{1\tau} = E_{1n} \cdot \tan \beta$  . Аналогично  $E_{2\tau} = E_{2n} \cdot \tan \alpha$  . Используя граничные условия  $E_{1\tau} = E_{2\tau}$  и  $D_{1n} = \epsilon_1 \epsilon_0 E_{1n} = D_{2n} = \epsilon_2 \epsilon_0 E_{2n}$  получаем



**6.6.** На рисунках приведены картины силовых линий для фрагментов некоторых электрических полей. Какой из приведенных фрагментов **может** соответствовать электростатическому полю (использовать теорему о циркуляции)?



**6.7.** На рисунке показаны линии вектора  $\vec{D}$  электрической индукции электростатического поля. Каково соотношение между плотностью энергии  $w$  такого поля в точках А и В?

- а)  $w_A > w_B$ ;      б)  $w_A = w_B$ ;      в)  $w_A < w_B$ ;      г) недостаточно данных;

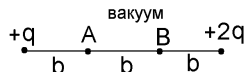
**6.8.** На металлический уединённый шар радиуса  $R$  поместили заряд  $q$ . Во сколько раз плотность энергии электростатического поля в точке В на расстоянии  $r_2 = 3R$  от центра шара меньше плотности энергии поля в точке А на расстоянии  $r_1 = 2R$  от центра шара?

- а) в 1,5 раза;      б) в 2 раза;      в) в 2,25 раз;      г) в 4 раза;      д) в 5,0625 раз;

Решение. Вне шара напряженность поля  $E = q / (4\pi\epsilon_0\epsilon r^2)$ , а плот-

ность энергии  $w = \epsilon_0\epsilon E^2 / 2$ . Поэтому  $w_1 / w_2 = r_2^4 / r_1^4 = (3/2)^4 = 81/16$ .

**6.9.** Электрическое поле создано двумя одинаковыми по знаку зарядами  $+q$  и  $+2q$ . Каким будет соотношение между плотностью энергии  $w_A$  этого поля в точках А и В? Расстояния от заряда  $+q$  до точки А, от точки А до точки В и от точки В до заряда  $+2q$  одинаковы и равны  $b$  (см. рисунок).

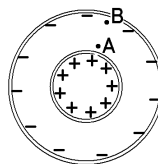


- а)  $w_A > w_B$ ;      б)  $w_A = w_B$ ;      в)  $w_A < w_B$ ;      г) недостаточно данных;

**6.10.** Две металлические тонкостенные сферы образуют заряженный воздушный сферический конденсатор (см. рисунок). Как соотносятся между собой плотности энергии  $w$  электрического поля в точках А и В внутри такого конденсатора?

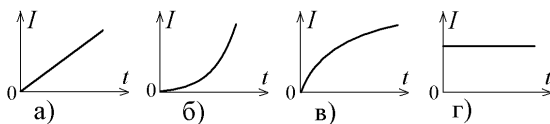
- а)  $w_A > w_B$ ;

- б)  $w_A = w_B$ ;      в)  $w_A < w_B$ ;      г) недостаточно данных;

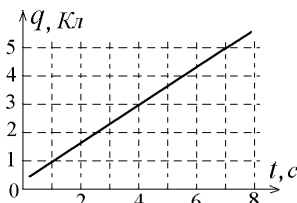


### 3.7. Квазистационарный ток. Законы Ома и Джоуля-Ленца

**7.1.** Величина электрического заряда  $q$ , протекающего через поперечное сечение проводника, меняется со временем  $t$  по закону, изображённому на рис.1. Укажите зависимость от времени величины тока  $I$ , текущего по проводнику:



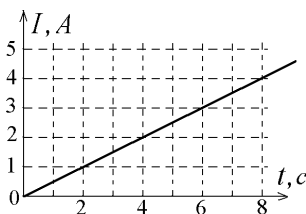
**7.2.** Величина электрического заряда, переносимого через поперечное сечение проводника, меняется со временем  $t$  по закону, изображённому на рисунке. Чему в момент времени  $t = 4$  с равна величина тока  $I$ , текущего по проводнику? а) 0,5 А; б) 0,667 А; в) 0,75 А; г) 1,5 А; д) 1,667 А; е) 2 А;



Решение. Производная  $I = \frac{dq}{dt} = 1,5$  А.

Это тангенс угла наклона прямой линии графика к оси  $t$ .

**7.3.** Величина электрического тока, текущего по проводнику, меняется со временем  $t$  по закону, изображённому на рисунке. Чему равна величина электрического заряда, протекшего через поперечное сечение проводника за интервал времени  $0 \leq t \leq 6$  с?

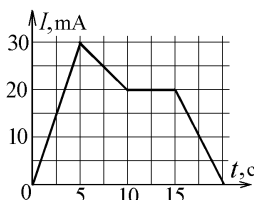


а) 0,5 Кл; б) 0,75 Кл; в) 9 Кл; г) 2 Кл; д) 18 Кл; е) 16 Кл;

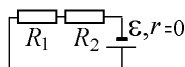
Решение. Интеграл  $q = \int Idt = 9$  Кл будет равен площади треугольника под графиком тока

**7.4\*.** На рисунке справа показана зависимость силы тока, протекающего в проводнике от времени. Заряд, протекший по проводнику за интервал времени  $0 \leq t \leq 15$  с равен:

а) 200 мКл; б) 300 мКл;  
в) 400 мКл; г) 150 мКл;

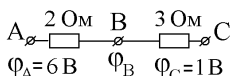


**7.5\*.** Если значения сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  со схемы на рисунке увеличить вдвое, то разность потенциалов на концах сопротивления  $R_1$ :



- а) увеличится в 4 раза;    б) увеличится в 2 раза;    в) не изменится;  
г) уменьшится в 2 раза;    д) уменьшится в 4 раза;

**7.6.** В замкнутой электрической цепи имеется участок, состоящий из двух резисторов, соединенных последовательно. В точках соединения резисторов А и С известны потенциалы  $\varphi_A$  и  $\varphi_C$  (см. рисунок).

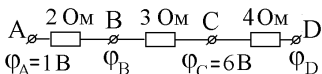


Укажите значение потенциала  $\varphi_B$  в точке В:

- а) 7,5 В;    б) 0 В;    в) 4 В;    г) 3 В;    д) 2 В;

Решение. Через сопротивления течет ток  $I$ . Его величина определяется из закона Ома:  $I = \frac{6 \text{ В} - \varphi_B}{2 \text{ Ом}} = \frac{\varphi_B - 1 \text{ В}}{3 \text{ Ом}}$ , откуда  $\varphi_B = 4 \text{ В}$ .

**7.7.** В замкнутой цепи имеется участок, состоящий из трех резисторов, соединенных последовательно. В точках соединения резисторов А и С известны потенциалы  $\varphi_A$  и  $\varphi_C$ , приведенные на рисунке. Укажите значение разности потенциалов  $\varphi_D - \varphi_B$  в точках D и В:

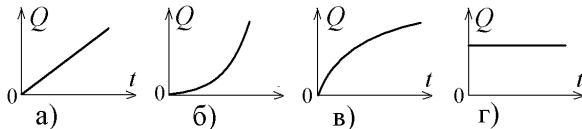
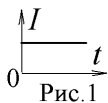


- а) 5 В;    б) 7 В;    в) -7 В;    г) -5 В;    д) 1 В;    е) -5 В;

**7.8\*.** По однородному проводу переменного сечения течет постоянный электрический ток  $I$ . Что можно сказать о соотношении между объемными плотностями тепловой мощности  $P_A$  и  $P_B$  в точке А и в точке В? а)  $P_A > P_B$ ; б)  $P_A < P_B$ ; в)  $P_A = P_B$ ;



**7.9.** Ток  $I$ , текущий по проводнику меняется со временем  $t$  по закону, изображенному на рис.1. По какому закону будет меняться со временем  $t$  величина джоулева тепла  $Q$ , выделяющегося в проводнике?



**7.10.** Величина джоулева тепла, выделившегося в проводнике с сопротивлением 3 Ом, возрастает со временем  $t$  по закону  $Q = 4t^3$  (время  $t$  в этой формуле измеряется в секундах, а тепло  $Q$  – в джоулях). Чему в момент времени  $t = 2$  с равна величина тока  $I$ , текущего по проводнику?

- а) 1 А; б) 2 А; в) 3 А; г) 4 А; д) 6 А; е) 12 А;

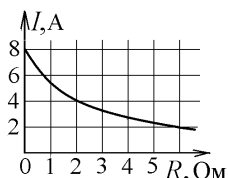
**7.11.** Реостат с общим сопротивлением  $R_{\text{общ}} = 2$  Ом подключен к источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом. Движок реостата перемещают влево (см. рисунок). Максимальная тепловая мощность будет выделяться в реостате при ... а) крайнем правом положении движка; б) среднем положении движка; в) крайнем левом положении движка; г) при любом положении движка;



Решение. Ток, текущий по цепи  $I = \mathcal{E}/(R+r)$ , а выделяемая на сопротивлении  $R$  мощность  $P = I^2 R = \mathcal{E}^2 R / (R+r)^2$ . При перемещении движка реостата меняется величина  $R$ . Условие максимума – равенство нулю производной  $\frac{dP}{dR} \sim \frac{d}{dR} \frac{R}{(R+r)^2} = \frac{(R+r) - 2R}{(R+r)^3} = 0$ . Т.е.  $P = \max$  при  $R = r = 1$  Ом  $= R_{\text{общ}}/2$ . Движок должен находиться в среднем положении.

**7.12\*.** К источнику тока с внутренним сопротивлением 2 Ом подключили реостат. На графике дана зависимость силы тока в реостате от его сопротивления. Максимальная тепловая мощность, которая выделяется в реостате, равна:

- а) 20 Вт; б) 50 Вт; в) 36 Вт; г) 32 Вт;



**7.13\*.** По двум однородным цилиндрам одинакового сечения, но разной длины, изготовленным из одинакового материала, течет постоянный ток. Каким будет соотношение между величинами напряженностей электрического поля в цилиндре А и в цилиндре В?



- а)  $E_A < E_B$ ; б)  $E_A = E_B$ ; в)  $E_A > E_B$ ;

г) для ответа надо знать соотношение между длиной и площадью цилиндра;

**7.14\*.** Два однородных сплошных цилиндра А и В из одинакового материала подключены параллельно к источнику постоянного напряжения  $U$ . Что можно сказать о соотношении между величинами напряженностей электрического поля в этих цилиндрах?



а)  $E_A = E_B$ ; б)  $E_A < E_B$ ; в)  $E_A > E_B$ ;  
г) для ответа надо знать точное соотношение между длиной и площадью цилиндра;

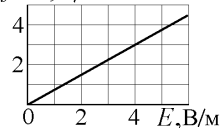
**Решение.** Величину  $E$  можно найти из закона Ома в локальной форме, выражая плотность тока  $j$  через ток  $I$ :  $E = j/\sigma = j\rho = \rho I/S$ . Величина тока следует из закона Ома:  $I = U/R$ , где  $R = \rho l/S$ . Отсюда  $I/S = U/\rho l$ . После подстановки находим  $E = U/l$ . Результат не зависит от площади поперечного сечения  $S$  цилиндра, а зависит от его длины  $l$ , которая заметно больше у цилиндра А. Поэтому  $E_A < E_B$ .

Этот же результат можно было сразу получить из связи напряженности с разностью потенциалов на краях цилиндра:  $\Delta\varphi = U = \int Edl = El$ . Как видим, для ответа можно использовать материал разных разделов физики.

**7.15\*.** Дан график зависимости плотности тока в проводнике от напряженности электрического поля. Удельное сопротивление проводника в единицах  $\text{Ом} \cdot \text{м}$

равно: а)  $0,75 \cdot 10^{-8}$ ;

б)  $3 \cdot 10^{-8}$ ; в)  $1,33 \cdot 10^{-8}$ ; г)  $1,5 \cdot 10^{-8}$ ;



**7.16\*.** Удельное сопротивление проводника  $\rho = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , концентрация электронов проводимости в нем  $n = 5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ , величина заряда электрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ . При напряженности электрического поля  $E = 3,2 \text{ В/м}$  скорость упорядоченного движения (дрейфа) электронов в проводнике (в мм/с) равна:

а) 1; б) 0,25; в) 0,5; г) 2;

**Решение.** Плотность тока связана с дрейфовой скоростью  $\vec{u}$ :  $\vec{j} = -en\vec{u}$ . Закон Ома в локальной форме дает  $\vec{j} = \vec{E}/\rho$ , откуда  $u = E/(\rho en) = 2 \text{ мм/с}$ .



**7.17.** Вдоль цилиндрического провода радиуса  $r$ , участок которого длины  $L$  имеет сопротивление  $R$ , действует стороннее электрическое поле с напряжённостью  $E$ . Чему равна плотность тока, вызванного этим полем?

а)  $j = \frac{\pi r^2 RE}{L}$ ; б)  $j = \frac{\pi r^2 E}{RL}$ ; в)  $j = \frac{EL}{\pi r^2 R}$ ; г)  $j = \frac{\pi r^2 R}{EL}$ ; д)  $j = \frac{LR}{\pi r^2 E}$ ;

### 3.8. Разветвленные электрические цепи. Правила Кирхгофа



*Чтобы ответить на тестовое задание, связанное с использованием правил Кирхгофа в разветвленной цепи, перерисуйте приведенную схему, не ошибаясь в заданных направлениях ЭДС и токов. Расставьте на ней все приведенные в условии числовые данные. После этого найдите замкнутый контур, в котором известны величины всех элементов, кроме того, который надо определить. Не ошибаясь в знаках, запишите уравнение 2-го правила Кирхгофа для этого контура и найдите из него требуемую величину.*

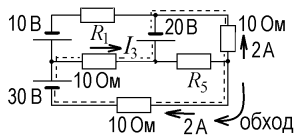
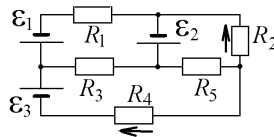
**8.1.** В электрической схеме, показанной на рисунке,  $R_2 = R_3 = R_4 = 10 \text{ Ом}$ ,  $\mathcal{E}_1 = 10 \text{ В}$ ,  $\mathcal{E}_2 = 20 \text{ В}$ ,  $\mathcal{E}_3 = 30 \text{ В}$ . Внутренние сопротивления источников тока равны нулю. Определите направление и силу тока, протекающего через резистор  $R_3$ , если через резистор  $R_4$  протекает ток  $2 \text{ А}$  справа налево, а через резистор  $R_2$  протекает ток  $2 \text{ А}$  снизу вверх.

- а)  $1 \text{ А}$ , налево; б)  $1 \text{ А}$ , направо; в)  $0,5 \text{ А}$ , направо; г)  $0,5 \text{ А}$ , налево; д)  $1,5 \text{ А}$ , направо; е)  $1,5 \text{ А}$ , налево; ж) ток равен нулю;

Решение.

Обозначив на схеме величины всех известных из условия элементов цепи, видим, что в контуре, выделенном на рисунке пунктиром, не определен только ток  $I_3$ , протекающий через сопротивление  $R_3$ .

Указывая его направление стрелкой и выбирая направление обхода по часовой стрелке, запишем 2-е правило Кирхгофа:  $I_3 R_3 - I_2 R_2 + I_4 R_4 = \mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_2$ , или, подставляя числа,  $I_3 \cdot 10 - 2 \cdot 10 + 2 \cdot 10 = 30 - 20$ , откуда  $I_3 = +1 \text{ А}$ . Знак “+” показывает, что направление тока  $I_3$  выбрано верно, он течет направо.

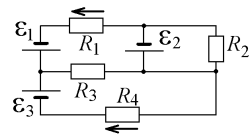


**8.2.** В электрической схеме, показанной на рисунке,  $R_1 = R_4 = 10 \text{ Ом}$ ,  $\mathcal{E}_1 = 70 \text{ В}$ ,  $\mathcal{E}_3 = 50 \text{ В}$ .

Внутренние сопротивления источников тока равны нулю. Найдите подходящий замкнутый контур цепи и определите величину ЭДС  $\mathcal{E}_2$ ,

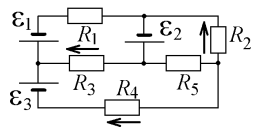
если через резистор  $R_4$  протекает ток 2 А справа налево, а через резистор  $R_1$  протекает ток 1 А тоже справа налево.

- а) 90 В;    б) 100 В;    в) 45 В;    г) 60 В;    д) 120 В;    е) 30 В;



**8.3.** В электрической схеме, показанной на рисунке,  $R_2 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 5 \text{ Ом}$ ,  $\mathcal{E}_2 = 25 \text{ В}$ ,  $\mathcal{E}_3 = 10 \text{ В}$ . Внутренние сопротивления источников тока равны нулю. Определите величину сопротивления резистора  $R_3$ , если через него протекает ток 0,5 А справа налево, а через резистор  $R_4$  протекает ток 1 А также справа налево, а через резистор  $R_2$  течет ток 3 А снизу вверх.

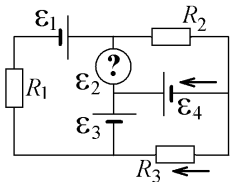
а) 5 Ом;    б) 2 Ом;    в) 4 Ом;    г) 10 Ом;    д) 6 Ом;    е) 3 Ом;



*Если нет контура, в котором величина, которую Вы хотите найти, остается единственной неизвестной, то найдите узел, в котором один из токов не известен, или контур, для которого можно определить одно из не заданных величин  $R$  или  $\mathcal{E}$ . Знание их величины поможет найти ответ.*

**8.4.** В электрической схеме, показанной на рисунке,  $R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$ ,  $\mathcal{E}_3 = 20 \text{ В}$ ,  $\mathcal{E}_4 = 15 \text{ В}$ .

Внутренние сопротивления источников тока равны нулю. Какова величина ЭДС источника тока  $\mathcal{E}_2$  и его расположение в цепи, если через резистор  $R_3$  протекает ток 0,5 А справа налево, а через источник тока  $\mathcal{E}_4$  также справа налево течет ток 0,5 А?

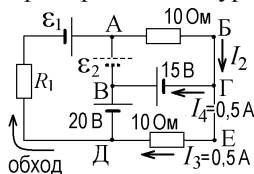


- а) , 10 В;    б) , 10 В;    в) , 5 В;    г) , 5 В;    д) , 15 В;

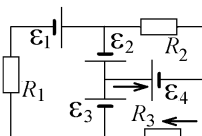
Решение. В контуре АБЕД имеется две неизвестные величины – ЭДС  $\mathcal{E}_2$  и ток  $I_2$ , который можно найти, записав 1-е правило Кирхгофа для узла Г:  $I_2 = I_3 + I_4 = 1 \text{ А}$ . Тогда, выбрав направление  $\mathcal{E}_2$ , как

показано на рисунке, записываем 2-е правило Кирхгофа для контура АБГЕДВ (обход – по часовой стрелке):

$I_2 R_2 + I_3 R_3 = \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$ . Подстановка числовых данных в системе СИ дает  $\mathcal{E}_2 = 10 \cdot 1 + 10 \cdot 0,5 - 20 = -5$  В. Знак “–” означает, что направление  $\mathcal{E}_2$  было выбрано неверно и правильный ответ – г).

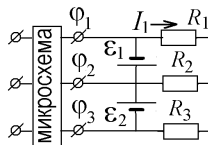


**8.5.** В электрической схеме, показанной на рисунке,  $R_3 = 10$  Ом,  $\mathcal{E}_2 = 25$  В,  $\mathcal{E}_3 = 20$  В. Внутренние сопротивления источников тока равны нулю. Чему равно сопротивление резистора  $R_2$ , если через резистор  $R_3$  протекает ток 0,5 А справа налево, а через источник тока  $\mathcal{E}_4$  слева направо течет ток 1 А?



- а) 25 Ом; б) 20 Ом; в) 15 Ом; г) 10 Ом; д) 5 Ом;

**8.6.** На рисунке показана часть электрической схемы, для которой известны некоторые параметры.  $R_1 = 4$  Ом,  $R_3 = 1$  Ом. Оба источника тока имеют одинаковые внутренние сопротивления. Потенциалы  $\phi_1 = 3$  В,  $\phi_3 = 7$  В. Сила тока через сопротивление  $R_1$  равна  $I_1 = 1$  А. Чему равна сила тока через сопротивление  $R_3$ ?



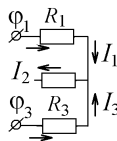
- а) 0,8 А; б) 8 А; в) 0 А;

г) нельзя рассчитать, т.к. не хватает данных;

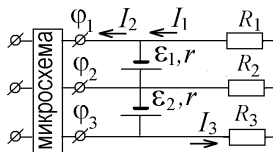
Решение.

**Совет:** Старайтесь выделить только ту часть условий, которая приведет Вас к ответу.

Заданная разность потенциалов  $U = \phi_3 - \phi_1$  – это падение напряжения на показанном справа участке цепи, где стрелками обозначены токи, текущие по сопротивлениям  $R_1$  и  $R_3$ . С учетом их направлений  $\phi_3 - \phi_1 = I_3 R_3 - I_1 R_1$ , откуда  $I_3 = 8$  А.



**8.7.** Гоказана часть электрической схемы, для которой известны следующие параметры:  $R_1 = 4$  Ом,  $R_3 = 1$  Ом,  $\mathcal{E}_1 = 3$  В. Внутренние сопротивления источников тока  $r = 1$  Ом одинаковы. Направление текущих

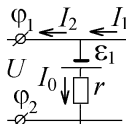


по проводникам токов указаны стрелками, и они равны  $I_1 = 1 \text{ А}$ ,  $I_2 = 2 \text{ А}$ ,  $I_3 = 0,5 \text{ А}$ . Чему равна величина разности потенциалов  $\varphi_2 - \varphi_1$ ?

- а)  $0,8 \text{ А}$ ; б)  $8 \text{ А}$ ; в)  $0 \text{ А}$ ; г) нельзя рассчитать, т.к. не хватает данных;

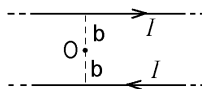
Решение.

$U_1 = \varphi_2 - \varphi_1$  - это падение напряжения на клеммах источника тока  $\mathcal{E}_1$ , равное  $\mathcal{E}_1 - I_0 r$ . На выделенном справа фрагменте схемы видно, что текущий через источник  $\mathcal{E}_1$  ток  $I_0 = I_1 - I_2 = -1 \text{ А}$ . Его направление противоположно указанному, и он будет не разряжать, а заряжать батарею  $\mathcal{E}_1$ . Поэтому падение напряжения  $\varphi_2 - \varphi_1 = U_1 = 3 - 1 \cdot (-1) = 4 \text{ В}$  больше величины ЭДС  $\mathcal{E}_1$ .



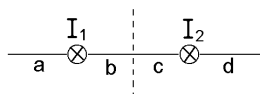
### 3.9. Расчет магнитных полей. Теорема Био-Савара-Лапласа

**9.1.** По двум параллельным прямым бесконечным проводникам текут токи одинаковой величины так, как показано на рисунке. В точке  $O$  на одинаковом расстоянии  $b$  от обоих проводников эти токи создают магнитное поле с напряжённостью  $H$ . Чему равна величина каждого из токов?

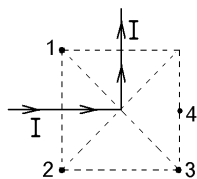


- а)  $I = bH$ ; б)  $I = 2bH$ ; в)  $I = 2\pi bH$ ; г)  $I = \pi bH$ ; д)  $I = 2\pi bH$ ; е) определить нельзя, так как в этой точке  $H = 0$ ;

**9.2\*.** На рисунке изображены сечения двух параллельных прямолинейных длинных проводников с однонаправленными токами, причем  $I_1 = 2I_2$ . На каком участке находится точка, в которой индукция магнитного поля этих токов равна нулю? а)  $a$ ; б)  $b$ ; в)  $c$ ; г)  $d$ ;

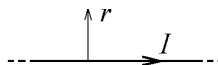


**9.3.** Длинный проводник с током  $I$  согнут под прямым углом (см. рисунок). Индукция  $\vec{B}$  магнитного поля, созданного этим током, имеет наибольшую величину в следующей из точек, указанных на рисунке:



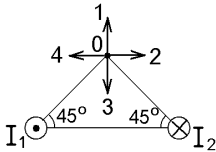
- а) в точке 1; б) в точке 2; в) в точке 3; г) в точке 4;

**9.4.** На расстоянии  $r_1 = 6 \text{ м}$  от бесконечного прямого проводника с током  $I$  величина индукции магнитного поля, созданного током, равна  $B_1 = 3 \text{ мкТл}$ . На каком расстоянии от проводника величина индукции



равна  $B_2 = 4$  мкТл?

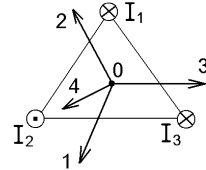
- а) 0,5 м; б) 2 м; в) 4,5 м; г) 16 м; д) 24 м;



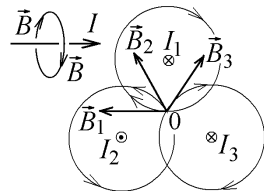
**9.5.** Два параллельных прямолинейных длинных проводника с текущими в противоположные стороны токами одинаковой величины  $|I_1| = |I_2|$  направлены перпендикулярно к плоскости

рисунка. Индукция  $\vec{B}$  магнитного поля этих токов в точке О имеет направление: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;

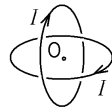
**9.6.** На рисунке изображены сечения трех параллельных прямолинейных длинных проводников с разнонаправленными токами одинаковой величины  $|I_1| = |I_2| = |I_3|$ . Расстояния между проводниками одинаковы, и в точке О, равноудаленной от всех проводников, каждый из токов создает магнитное поле, величина индукции которого равна  $B$ . Вектор индукции суммарного магнитного поля всех токов в точке О имеет направление: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;



Решение. Круговые линии  $\vec{B}$  охватывают прямолинейные токи. Как видно из рисунка справа, эти линии направлены по часовой стрелке для токов  $I_1$ ,  $I_3$ , и против часовой стрелки для тока  $I_2$ . В центре треугольника О на одинаковом расстоянии от токов векторы индукции имеют одинаковую величину и направлены по касательным к окружностям. Видно, что их сумма будет направлена вдоль вектора  $\vec{B}_2$ , созданного током  $I_2$ . Ответ – (б).

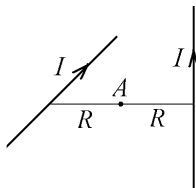


**9.7.** По двум круговым взаимно перпендикулярным виткам одинакового радиуса  $R$  текут одинаковые по величине токи  $I$  (см. рисунок). В их общем центре О токи создают магнитное поле с индукцией  $B$ . Чему равна величина радиуса  $R$ ?



- а)  $R = \frac{\mu_0 I}{B}$ ; б)  $R = \sqrt{2} \frac{\mu_0 I}{2B}$ ; в)  $R = \frac{\mu_0 I}{2B}$ ; г)  $R = \sqrt{2} \frac{\mu_0 I}{B}$ ; д)  $R = 2 \frac{\mu_0 I}{B}$ ;

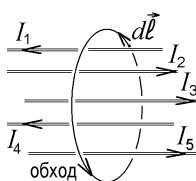
**9.8.** Два бесконечных прямых проводника взаимно перпендикулярны. По проводникам текут токи одинаковой величины. Наименьшее расстояние между проводниками равно  $2R$  (см. рисунок). В точке  $A$  посередине этого отрезка токи создают магнитное поле с напряжённостью  $H$ . Чему равна величина каждого из токов?



- а)  $I = \pi RH$ ; б)  $I = \sqrt{2}\pi RH$ ; в)  $I = 2\pi RH$ ; г)  $I = \pi RH/2$ ;

### 3.10. Теорема о циркуляции для магнитного поля

**10.1.** На рисунке показано направление обхода замкнутого контура и направление токов  $I_1, I_2, I_3, I_4$  и  $I_5$ , текущих по проводникам. Чему равна циркуляция вектора индукции магнитного поля по этому контуру, делённая на магнитную постоянную  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0$ ?

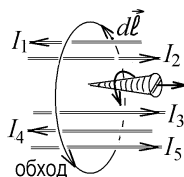


- а)  $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5$ ; б)  $-I_1 - I_2 - I_3 - I_4 - I_5$ ; в)  $-I_1 + I_2 + I_3 - I_4 + I_5$ ; г)  $I_1 - I_2 - I_3 + I_4 - I_5$ ;

Решение. Величина  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0$  равна **алгебраической** сумме токов, охватываемых замкнутым контуром.

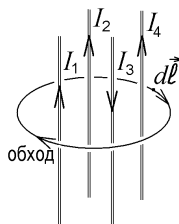
**Совет:** Чтобы определить знак тока в этой сумме, поставьте перпендикулярно плоскости контура винт и вращайте его по направлению обхода. Те токи, направление которых совпадает с направлением поступательного движения винта, войдут в сумму со знаком "+". Токи, направленные противоположно движению винта имеют знак "-".

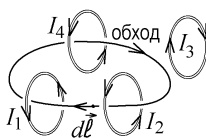
Как видно из рисунка справа, винт при вращении движется направо. В эту сторону направлены токи  $I_2, I_3$  и  $I_5$ . Поэтому  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0 = -I_1 + I_2 + I_3 - I_4 + I_5$ .



**10.2.** Замкнутый контур охватывает проводники с токами  $I_1, I_2, I_3$  и  $I_4$ . Направление обхода контура и направления токов показаны на рисунке справа. Чему равна циркуляция вектора индукции магнитного поля по этому контуру, делённая на магнитную постоянную  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0$ :

- а)  $I_1 + I_2 + I_3 + I_4$ ; б)  $-I_1 - I_2 - I_3 - I_4$ ;  
в)  $I_1 + I_2 - I_3 + I_4$ ; г)  $-I_1 - I_2 + I_3 - I_4$ ;

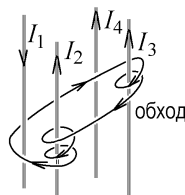




**10.3.** Имеется замкнутый контур и проводники с токами  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  и  $I_4$ . Направление обхода контура и направления токов показаны на рисунке слева. Чему равна циркуляция вектора индукции магнитного поля по этому контуру, делённая на магнитную постоянную  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0$ ?

- а)  $I_1 - I_2 + I_4$ ;      б)  $-I_1 + I_2 - I_4$ ;      в)  $I_1 + I_2 - I_4$ ;  
 г)  $-I_1 - I_2 + I_4$ ;      д)  $I_1 + I_2 + I_3 - I_4$ ;      е)  $I_1 + I_2 - I_3 - I_4$ ;

**10.4.** Замкнутый контур может охватывать прямые проводники с токами  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  и  $I_4$ . Такой контур, направление его обхода и направления токов указаны на рисунке. Чему равна циркуляция вектора индукции магнитного поля по этому контуру, делённая на магнитную постоянную  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0$ ?



- а)  $I_1 - I_2 - I_3 - I_4$ ;      б)  $-I_1 + I_2 + I_3 + I_4$ ;      в)  $I_1 - 3I_2 - 2I_3 - I_4$ ;  
 г)  $-I_1 + 3I_2 + 2I_3 + I_4$ ;      д)  $I_1 - 3I_2 - 2I_3$ ;

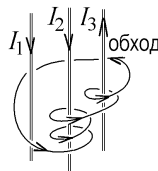
Решение.



Внимательно следите по рисунку, сколько раз контур охватывает ток. Столько же раз этот ток войдет в алгебраическую сумму.

Из рисунка видно, что контур охватывает ток  $I_1$  один раз, ток  $I_2$  - три раза, ток  $I_3$  - два раза, а ток  $I_4$  не охватывает совсем, так как проходит перед ним. Винт, вращаемый по направлению обхода, будет двигаться вниз. Поэтому  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0 = I_1 - 3I_2 - 2I_3$ .

**10.5.** Замкнутый контур охватывает прямые проводники с токами  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$ . Направление обхода контура и направления токов указаны на рисунке. Чему равна циркуляция вектора индукции магнитного поля по этому контуру, делённая на магнитную постоянную  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0$ :



- а)  $I_1 + I_2 - I_3$ ;      б)  $-I_1 - I_2 + I_3$ ;  
 в)  $I_1 + 3I_2 - 2I_3$ ;      г)  $-I_1 - 3I_2 + 2I_3$ ;      д)  $I_1 + 3I_2 - I_3$ ;

**10.6.** Чему равна циркуляция вектора индукции магнитного поля по замкнутому контуру, делённая на магнитную постоянную  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0$ ?

Направление обхода контура и охватываемые им токи  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  и  $I_4$  показаны на рисунке.

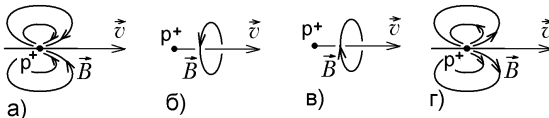


- а)  $I_1 - I_2 - I_3 - I_4$ ;      б)  $-I_1 + I_2 + I_3 + I_4$ ;      в)  $I_1 - I_2 - 2I_3 - 2I_4$ ;      г)  $-I_1 + I_2 + 2I_3 + 2I_4$ ;

### 3.11. Движение заряженной частицы в электромагнитном поле.

#### Магнитное поле движущейся заряженной частицы

**11.1.** Протон движется вдоль прямой линии со скоростью  $v$ . Укажите правильный вид линии индукции магнитного поля, которое создаётся при его движении:



**11.2\*.** В некоторый момент времени электрон движется параллельно бесконечному прямому проводнику с током  $I$ . Выберите правильные утверждения: а) нормальное ускорение электрона постоянно; б) в указанном положении на электрон действует сила Лоренца, направленная вправо; в) в точке нахождения электрона вектор магнитной индукции направлен перпендикулярно плоскости рисунка “от нас”; г) кинетическая энергия электрона остается постоянной; д) траектория движения электрона – окружность;

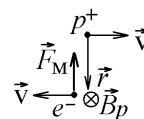
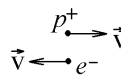
Замечание. Правильные ответы – б), в). В тестах ФЕПО предусмотрено “школьное” представление о том, что в постоянном магнитном поле величина скорости электрона не меняется. В действительности, двигаясь с ускорением, он быстро теряет энергию за счет магнитно-тормозного излучения. Поэтому ответы а) и г), вообще говоря, неверны, хотя их тоже считают правильными.

**11.3.** Электрон и протон движутся на небольшом расстоянии друг от друга параллельно в разные стороны. Что можно сказать о направлении магнитной силы между ними?

- а) эта сила равна нулю;      б) она притягивает частицы друг к другу;      в) она отталкивает частицы друг от друга;      г) дать ответ нельзя, так как не задана величина расстояния между электронами;

Решение. На расстоянии  $\vec{r}$ , вблизи электрона, протон создает магнитное поле с индукцией  $\vec{B}_p = \frac{\mu_0 q}{4\pi} \frac{[\vec{v}, \vec{r}]}{r^3}$ ,

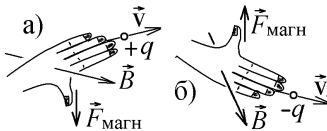
направление которой показано на рисунке справа. Действующая на электрон магнитная составляющая силы Лоренца  $\vec{F}_M = -e[\vec{v}, \vec{B}_p]$  будет притягивать его к протону.



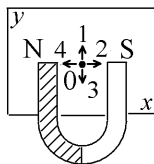




Определить направление силы Лоренца  $\vec{F}_M = q[\vec{v}, \vec{B}]$ , действующей на частицу с положительным зарядом удобнее с помощью “правила левой руки”: если направить четыре пальца по первому вектору  $\vec{v}$ , а второй вектор  $\vec{B}$  входит в ладонь, то большой палец показывает направление силы  $\vec{F}_M$ . Для частицы с отрицательным зарядом используйте “правило правой руки”.

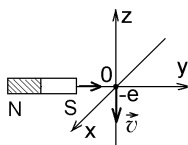


**11.4.** Светящееся пятно, образованное сфокусированным лучом на экране  $xu$  осциллографа, находилось в точке 0. К пятну, как показано на рисунке, подносят подковообразный магнит. Укажите, в какую сторону сместится светящееся пятно:



а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;

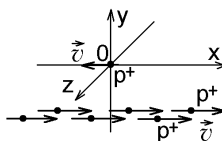
**11.5.** Пучок электронов движется со скоростью  $\mathbf{v}$  против оси  $z$ . К



этому пучку подносят вдоль оси  $y$  постоянный магнит (см. рисунок). Куда будут смещаться в результате взаимодействия с полем магнита электроны, пролетающие через начало координат О:

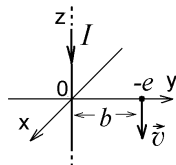
а) вдоль оси  $x$ ; б) против оси  $x$ ; в) вдоль оси  $y$ ;  
г) против оси  $y$ ; д) вдоль оси  $z$ ; е) против оси  $z$ ;

**11.6.** Однородный пучок протонов, летящих со скоростью  $\mathbf{v}$  в направлении оси  $x$ , находится в плоскости  $xu$ . В какую сторону этот пучок будет отклонять протон, движущийся против оси  $x$  и находящийся в начале координат О (см. рисунок)?



а) вдоль оси  $y$ ; б) против оси  $y$ ; в) вдоль оси  $z$ ; г) против оси  $z$ ;

**Решение.** Пучок положительно заряженных протонов создает ток  $I$ , направленный вдоль их скорости  $\vec{v}$ . Индукция  $\vec{B}$  магнитного поля этого тока в точке О направлена вдоль оси  $z$ , а сила Лоренца  $\vec{F}_M = +q[\vec{v}, \vec{B}]$ , действующая на протон в точке О, отклоняет его вверх, вдоль оси  $y$ .

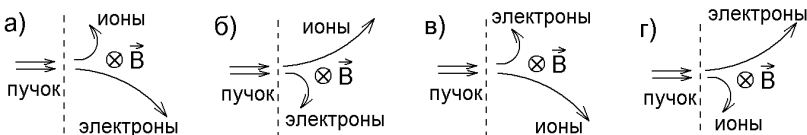


**11.7.** Ток  $I$  в прямом проводнике течёт против оси  $z$ . Электрон с зарядом  $-e$ , находится на оси  $y$  на расстоянии  $b$  от начала координат О и движется со скоростью  $\mathbf{v}$  в том же направлении. Найти проекцию

на ось  $y$  магнитной силы, действующей на электрон со стороны тока?

- а)  $F_y = \frac{\mu_0 e I v}{2b}$ ; б)  $F_y = -\frac{\mu_0 e I v}{2b}$ ; в)  $F_y = \frac{\mu_0 e I v}{2\pi b}$ ; г)  $F_y = -\frac{\mu_0 e I v}{2\pi b}$ ;  
 д)  $F_y = 0$ ;

**11.8.** Смешанный пучок электронов и положительно заряженных ионов водорода, движущихся в плоскости рисунка с одинаковой скоростью, влетает в перпендикулярное магнитное поле, индукция которого направлена за плоскость рисунка. Выберите правильный рисунок траекторий движения частиц в этом поле:

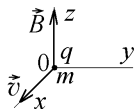


**11.9.** В циклотроне и положительные, и отрицательные ионы вращаются в перпендикулярном магнитном поле  $\vec{B}$  по круговым траекториям одинакового радиуса. Величины заряда ионов одинаковы. Чему равно отношение массы положительного иона к массе отрицательного иона, если величина скорости положительного иона в 4 раза меньше величины скорости отрицательного иона?

- а) 16; б) 4; в) 0,0625; г) 0,25; д) нет правильного ответа;

**11.10.** Линии индукции однородного магнитного поля направлены вдоль оси  $z$ . Частица с удельным зарядом  $q/m$  в начальный момент вылетает из начала координат  $0$  со скоростью  $\vec{v}$ , направленной вдоль оси  $x$ , а затем в первый раз возвращается в точку  $0$  спустя время  $\Delta t$ . Какая формула при этом правильно задаёт величину индукции  $B$  магнитного поля?

- а)  $B = \frac{q\Delta t}{2m}$ ; б)  $B = \frac{2q\Delta t}{m}$ ; в)  $B = \frac{\pi m}{2q\Delta t}$ ; г)  $B = \frac{\pi m}{q\Delta t}$ ; д)  $B = \frac{2\pi m}{q\Delta t}$ ;

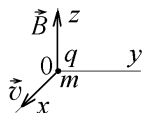


Решение. Частица, скорость которой  $\vec{v} \perp \vec{B}$ , вращается по круго-

вой траектории и вернется в точку  $0$  через период  $T = \frac{2\pi m}{qB} = \Delta t$ . От-

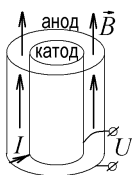
вет – (д).

**11.11.** Линии индукции  $\vec{B}$  однородного магнитного поля направлены вдоль оси  $z$ . Частица с удельным зарядом  $q/m$  в начальный момент вылетает из начала координат  $0$  со скоростью  $\vec{v}$ , направленной вдоль оси  $x$ . Ка-



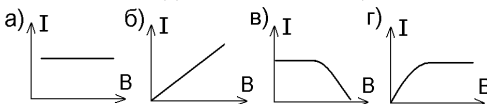
кая формула правильно задаёт величину  $\Delta r$  максимального удаления частицы от точки 0?

- а)  $\Delta r = \frac{qv}{2mB}$ ; б)  $\Delta r = \frac{qv}{mB}$ ; в)  $\Delta r = \frac{2qv}{mB}$ ; г)  $\Delta r = \frac{mv}{2qB}$ ; д)  $\Delta r = \frac{2mv}{qB}$ ;

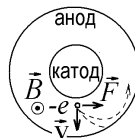


**11-12.** В пространстве между коаксиальными длинными цилиндрическими катодом и анодом создано однородное магнитное поле  $\vec{B}$ , параллельное их оси. Между анодом и катодом приложено прямое напряжение  $U$ , приводящее к появлению анодного тока  $I$  в цепи.

Укажите правильный график зависимости этого тока от величины магнитного поля  $B$ :



**Решение.** Вспомните результаты выполнения лабораторной работы №25. С увеличением индукции  $B$  растет величина силы Лоренца  $\vec{F} = -e[\vec{v}, \vec{B}]$ , отклоняющая летящие с катода на анод электроны, и при достижении критической величины  $B$  они перестают попадать на анод. Ответ – (в).

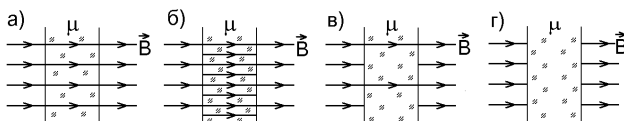


### 3.12. Магнитное поле в магнетиках

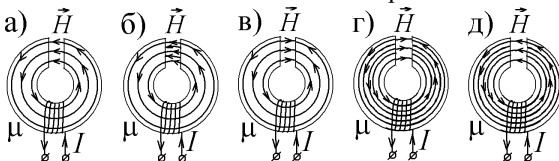
**12.1\*.**  $\vec{B}$  – вектор индукции магнитного поля в веществе.  $\vec{H}$  – напряженность внешнего магнитного поля. Вещество является однородным, изотропным парамагнетиком, если магнитная восприимчивость ...

- а)  $\ll 1$  и  $\vec{B} \uparrow \downarrow \vec{H}$ ; б)  $\ll 1$  и  $\vec{B} \uparrow \uparrow \vec{H}$ ;  
в)  $\gg 1$  и  $\vec{B} \uparrow \downarrow \vec{H}$ ; д)  $\gg 1$  и  $\vec{B} \uparrow \uparrow \vec{H}$ ;

**12.2.** Плоский слой магнетика с магнитной проницаемостью  $\mu > 1$  расположен в вакууме перпендикулярно к линиям индукции  $\vec{B}$  внешнего однородного постоянного магнитного поля. Выберите правильную картину линий  $\vec{B}$  магнитного поля внутри магнетика:



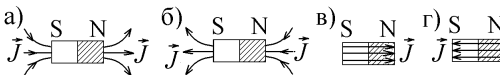
**12.3.** Записывающая головка магнитофона имеет вид тороидального сердечника из материала с магнитной проницаемостью  $\mu > 1$ , в которой сделана прорезь. Ток  $I$ , текущий по обмотке, навитой на сердечник, создает в нем магнитное поле с линиями напряженности  $\vec{H}$ . Укажите рисунок с правильной картиной линий  $\vec{H}$ :



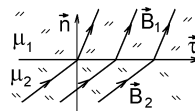
Решение.

Линии индукции  $\vec{B}$  всегда замкнуты, и величина  $B$  одинакова в прорези и в сердечнике. Так как  $\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$ , то  $\mu \cdot H_{\text{в сердечнике}} = 1 \cdot H_{\text{в прорези}}$ . В прорези напряженность магнитного поля в  $\mu$  раз больше, чем в сердечнике. Правильная картина – (б).

**12.4.** Укажите рисунок с правильным направлением линий вектора намагниченности  $\vec{J}$  для постоянного магнита, находящегося в вакууме:

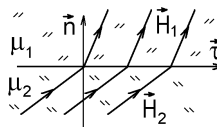


**12.5.** На рисунке показаны линии вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  на плоской границе двух однородных магнетиков с магнитными проницаемостями  $\mu_1 = 3$  и  $\mu_2 = 2$ . Проекция  $\vec{B}$  на нормальное к границе направление с разных сторон от границы равны  $B_{1n}$  и  $B_{2n}$ . Токи проводимости на границе сред отсутствуют. Чему равна величина  $B_{1n}$ , если  $B_{2n} = 6$  Тл?



а) 1 Тл; б) 1,5 Тл; в) 4 Тл; г) 6 Тл; д) 9 Тл; е) другой ответ;

**12.6.** На рисунке показаны линии вектора напряженности  $\vec{H}$  магнитного поля на плоской границе двух однородных магнетиков с магнитными проницаемостями  $\mu_1$  и  $\mu_2$ . Проекция этого вектора на нормальное направление  $\vec{n}$  к границе с разных сторон от границы равны  $H_{1n} = 6$  А/м и  $H_{2n} = 4$  А/м. Токи проводимости на границе сред отсутствуют. Чему равна величина  $\mu_1$ , если  $\mu_2 = 2$ ?



а) 1; б) 1,33; в) 1,5; г) 3; д) 12; е) другой ответ;

Решение. В отсутствии поверхностных токов проводимости на границе двух магнетиков сохраняются нормальные составляющие индукции:  $B_{1n} = \mu_0 \mu_1 H_{1n} = B_{2n} = \mu_0 \mu_2 H_{2n}$ .

Отсюда  $\mu_1 = \mu_2 H_{2n} / H_{1n} = 1,33$ .

**12.7.** На рисунке показаны линии вектора индукции  $\vec{B}$  магнитного поля на плоской границе двух однородных магнетиков с магнитными проницаемостями  $\mu_1$  и  $\mu_2$ . Эти линии образуют углы  $\alpha$  и  $\beta$  с нормалью к границе. Выберите правильное утверждение:



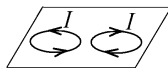
- а)  $\mu_1 \cos \alpha = \mu_2 \cos \beta$ ;      б)  $\mu_2 \cos \alpha = \mu_1 \cos \beta$ ;  
в)  $\mu_1 \tan \alpha = \mu_2 \tan \beta$ ;      г)  $\mu_2 \tan \alpha = \mu_1 \tan \beta$ ;

### 3.13. Проводник с током в магнитном поле. Сила Ампера

**13.1.** По двум параллельным длинным прямым проводам в разные стороны текут токи  $I_1$  и  $I_2$ . Под действием магнитных сил эти провода:

- а) притягиваются;      б) отталкиваются;  
в) результат зависит от величины токов и расстояния между ними;

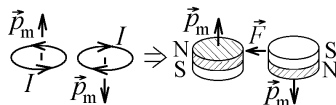
**13.2.** На гладкой горизонтальной поверхности лежат два одинаковых круговых витка с одинаковыми по величине, но направленными в противоположные стороны токами. Как будут вести себя под действием магнитных сил эти витки? Они:



- а) притягиваются;      б) отталкиваются;

в) не взаимодействуют друг с другом;

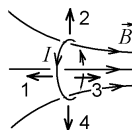
Решение. Круговые токи являются магнитными диполями с величиной магнитного момента  $p_m = IS$ . Замените их эквивалентными постоянными магнитами с теми же по величине и направлению моментами  $\vec{p}_m$ . Как и витки с токами, такие магниты будут притягиваться друг к другу.



**13.3.** Линии неоднородного магнитного поля с индукцией  $\vec{B}$  симметричны относительно кругового витка с током  $I$  и пересекают его плоскость, как показано на рисунке. В каком направлении действует на виток магнитная сила?

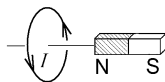
- а) 1;      б) 2;      в) 3;      г) 4;

д) величина магнитной силы, равна нулю;

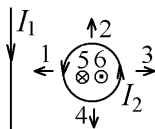


Решение. Укажите на рисунке правильное направление векторного произведения для силы Ампера  $d\vec{F} = I [\vec{dl}, \vec{B}]$ , действующей на каждый элемент тока, и Вы увидите, что сумма этих сил направлена направо.

**13.4.** По закреплённому витку течёт ток  $I$ . Постоянный магнит неподвижен относительно витка с током, а его ось совпадает с осью витка. Укажите направление силы, с которой текущий по витку ток действует на магнит:  
 а) она притягивает магнит к витку с током; б) она отталкивает магнит от витка с током; в) она стремится сместить магнит вбок; г) она равна нулю, так как виток и магнит неподвижны;

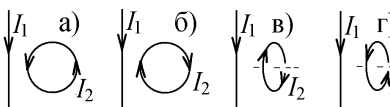


**13.5.** На гладкой горизонтальной плоскости закреплён прямой бесконечный провод с током  $I_1$ , а рядом лежит круговой виток с током  $I_2$ . В какую сторону направлена магнитная сила, старающаяся сместить виток с током?  
 а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;

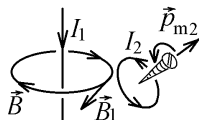


д) 5 (за рисунок); е) 6 (из рисунка наружу);

**13.6.** Рядом с бесконечным прямым проводником с током  $I_1$  расположен круговой виток с током  $I_2$ . Укажите правильное положение витка с током, в которое он будет поворачиваться под действием магнитных сил:



Решение. На рисунке справа показано, как линии индукции  $\vec{B}_1$  магнитного поля тока  $I_1$  охватывают этот ток. В этом поле магнитный момент  $\vec{p}_{m2}$  второго кругового тока  $I_2$ , направление которого определяется по правилу винта, вращаемого “по току”, имеет энергию  $W = -\vec{p}_{m2} \cdot \vec{B}_1 = -p_{m2} B_1 \cos \alpha$ , где  $\alpha$  – угол между векторами  $\vec{p}_{m2}$  и  $\vec{B}_1$ . Момент сил поворачивает виток с током до тех пор, пока его энергия  $W$  не станет минимальной и равной  $W = -p_{m2} B_1 \cdot 1$  при  $\alpha = 0$ , что соответствует рисунку (а).



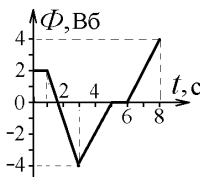
**13.7.** По двум близко расположенным виткам текут одинаковые по величине



не токи. При какой ориентации витков величина энергии их магнитного взаимодействия будет наибольшей (центры витков во всех четырех случаях находятся на одинаковом расстоянии):

### 3.14. Явление электромагнитной индукции

**14.1.** На рисунке показана зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый замкнутый проводящий контур, от времени. Чему равно отношение  $\mathcal{E}(t_1)/\mathcal{E}(t_2)$  величин (модулей) ЭДС электромагнитной индукции в контуре в моменты времени  $t_1=2$  с и  $t_2=7$  с?

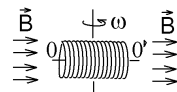


- а) 0,33;    б) 0,5;    в) 1;    г) 1,5;    д) 2;

Решение. Для линейных зависимостей  $\mathcal{E} = |\Delta\Phi / \Delta t|$ . Из графика видно,

$$\text{что } \mathcal{E}(t_1) = \left| \frac{-4 \text{ Вб} - 2 \text{ Вб}}{3 \text{ с} - 1 \text{ с}} \right| = 3 \text{ В}, \quad \mathcal{E}(t_2) = \left| \frac{4 \text{ Вб} - 0 \text{ Вб}}{8 \text{ с} - 6 \text{ с}} \right| = 2 \text{ В}, \quad \frac{\mathcal{E}(t_1)}{\mathcal{E}(t_2)} = 1,5.$$

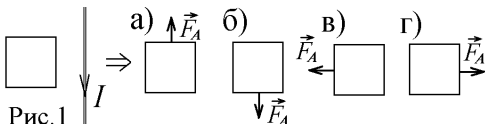
**14.2.** Короткозамкнутая катушка из  $N$  витков, имеющая сопротивление  $R$ , вращается с угловой скоростью  $\omega$  вокруг оси, перпендикулярной к направлению линий индукции  $\vec{B}$  однородного постоянного магнитного поля. При каком условии величина индукционного тока, возникающего в катушке, равна нулю?



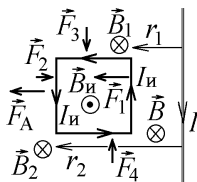
- а) ось катушки  $00'$  параллельна вектору  $\vec{B}$ ;  
 б) ось катушки  $00'$  перпендикулярна вектору  $\vec{B}$ ;  
 в) при указанных условиях индукционный ток всегда отличен от нуля;

Решение. Индукционный ток определяется величиной ЭДС индукции:  $I = \frac{\mathcal{E}_{\text{инд}}}{R} = -\frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{1}{R} \frac{d}{dt}(BSN \cos \alpha)$ , где  $\alpha = \omega t$  – угол между осью катушки и вектором  $\vec{B}$ . Взяв производную, находим  $I \sim \sin \alpha$ , т.е.  $I = 0$  при  $\alpha = 0$  – ответ (а).

**14.3.** Прямолинейный ток  $I$  параллелен стороне квадратного проводящего контура, сделанного из тонкой проволоки (рис.1). Величину тока  $I$  медленно увеличивают. Указать направление действующей на контур результирующей силы Ампера  $\vec{F}_A$ ?

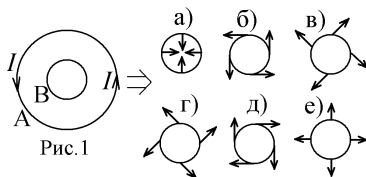


Решение. Направление индукции  $\vec{B}$  магнитного поля тока  $I$  показано на рисунке справа. С увеличением  $I$  растет магнитный поток через площадь контура. В нем возникает индукционный ток  $I_{\text{и}}$ , обтекающий контур против часовой стрелки и создающий магнитное поле с противоположно направленным вектором индукции  $\vec{B}_{\text{и}}$ , компенсирующим увеличение индукции  $\vec{B}$ . На индукционном токе, текущий по сторонам квадрата действуют силы Ампера  $\vec{F} = I_{\text{и}} [\vec{l}, \vec{B}]$ , направления которых указаны на рисунке. Так как  $B = \mu_0 I / (2\pi r)$ , и  $r_1 < r_2$ , то  $B_1 > B_2$ . На ближнюю сторону квадрата действует большая сила  $\vec{F}_1$ , чем противоположно направленная сила  $\vec{F}_2$ , действующая на дальнюю сторону квадрата (силы  $\vec{F}_3$  и  $\vec{F}_4$  компенсируются). Поэтому результирующая сила Ампера  $\vec{F}_A = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$  направлена налево.

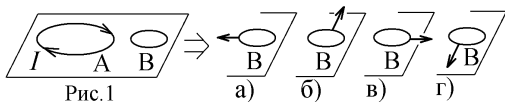


На заданный вопрос можно ответить проще, используя правило Ленца: чтобы скомпенсировать увеличение магнитного потока  $\Phi = \int B dS$ , контур стремится отодвинуться на большее расстояние  $r$ , чтобы величина индукции  $B = \mu_0 I / (2\pi r)$  не менялась. Поэтому сила  $\vec{F}_A$  толкает его влево.

**14.4.** Два замкнутых круговых витка А и В из медной проволоки имеют общую ось и лежат в одной плоскости (рис.1). По витку А течет ток  $I$ . Каким будет направление сил Ампера, действующих на виток В, если величину силы тока в витке А уменьшать?

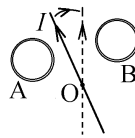


**14.5.** Два замкнутых контура А и В из медной проволоки находятся в одной плоскости, и по контуру А течет ток  $I$  (рис.1). Укажите, направление результирующей силы Ампера, действующей на контур В, если величина силы тока  $I$  возрастает:



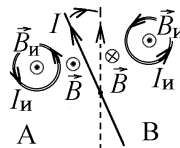


**14.6.** В одной плоскости лежат два кольца А и В из тонких проводников, а между ними – прямой провод, по которому течет постоянный ток  $I$ . Провод с током начали поворачивать **по часовой** стрелке вокруг перпендикулярной к плоскости оси О, как показано на рисунке. Потечет ли электрический ток по кольцам и, если да, то в какие стороны?



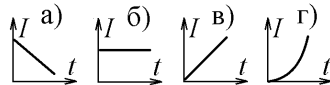
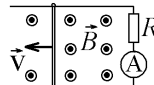
- а) в кольцах А и В потечет против часовой стрелки;
- б) в кольцах А и В потечет по часовой стрелке;
- в) в кольце В - по часовой стрелке, а в кольце А - против часовой стрелки;
- г) в кольце А - по часовой стрелке, а в кольце В - против часовой стрелки;

Решение. При повороте прямого провода с током  $I$  он удаляется от левого кольца А и приближается к правому кольцу В. Поток магнитной индукции через кольцо А уменьшается, и в нем возникает индукционный ток  $I_{\text{и}}$ , создающий индукцию  $\vec{B}_{\text{и}}$  сонаправ-

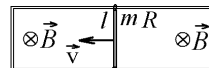


ленную с индукцией  $\vec{B}$  поля прямого тока и компенсирующую ослабление магнитного поля. В кольце В, наоборот, магнитный поток растёт и индукционный ток создаст поле  $\vec{B}_{\text{и}}$ , направленное противоположно  $\vec{B}$  и компенсирующее его увеличение. Как видно из рисунка, оба индукционных тока в кольцах текут против часовой стрелки.

**14.7\*.** По прямоугольной рамке из тонких проводников, находящейся в однородном магнитном поле, с равномерно возрастающей скоростью перемещают проводящую перемычку (см. рисунок). Единственным сопротивлением  $R$  обладает резистор, включенный в цепь. Укажите правильный график зависимости индукционного тока от времени  $t$ :



**14.8.** Горизонтально расположенная П-образная рамка находится в постоянном магнитном поле, линии индукции  $\vec{B}$  которого перпендикулярны к плоскости рамки и направлены за плоскость рисунка. По рамке может без трения двигаться поперечная проводящая перекладина с массой  $m$ , длиной  $l$  и сопротивлением  $R$ . Перекладину толкнули влево с начальной скоростью  $\vec{v}$ . По замкнутому контуру, образованному рамкой и перекладиной начнет протекать индукционный



ток, величина которого со временем ...., и который обтекает контур .....

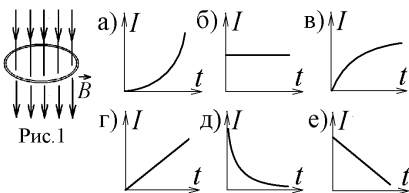
- а) не изменяется, по часовой стрелке; б) уменьшается, по часовой стрелке; в) растёт, против часовой стрелки; г) уменьшается, против часовой стрелки; д) растёт, по часовой стрелке;

**14.9.** Линии индукции  $\vec{B}$  магнитного поля перпендикулярны замкнутому проводящему витку (см. рисунок). Величина  $B$  меняется со временем  $t$  по закону  $B = \beta \cdot t^2$ , где  $\beta$  – положительная константа. Укажите зависимость величины возникающего в витке тока от времени и его направление:



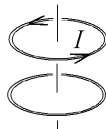
- а)  $I = \text{const} \cdot t^2$ , по часовой стрелке; б)  $I = \text{const} \cdot t^2$ , против часовой стрелки; в)  $I = \text{const} \cdot t$ , по часовой стрелке; г)  $I = \text{const} \cdot t$ , против часовой стрелки; д)  $I = \text{const}$ , против часовой стрелки;

**14.10.** Закрепленный замкнутый проводящий круговой виток с сопротивлением  $R$  расположен в горизонтальной плоскости в магнитном поле, линии индукции которого вертикальны (рис.1), а величина индукции на-



чинает изменяться со временем  $t$  по закону  $B = B_0 + \beta t^{3/2}$ , где  $B_0$  и  $\beta$  – положительные константы. Укажите правильный график зависимости от времени  $t$  величины индукционного тока, возникающего в витке:

**14.11.** Два тонких проводящих витка имеют общую ось и закреплены. Постоянный ток  $I_0$  в верхнем витке начал убывать со временем  $t$  по квадратичному закону:  $I = I_0 - \alpha t^2$ , где  $\alpha$  – положительная константа. При этом в нижнем витке возникает индукционный ток, величина которого изменяется со временем  $t$  по закону ...., и который направлен ...:



- а)  $I = \text{const} \cdot t^2$ , по часовой стрелке; б)  $I = \text{const} \cdot t^2$ , против часовой стрелки; в)  $I = \text{const} \cdot t$ , по часовой стрелке; г)  $I = \text{const} \cdot t$ , против часовой стрелки; д)  $I = \text{const}$ , по часовой стрелке;

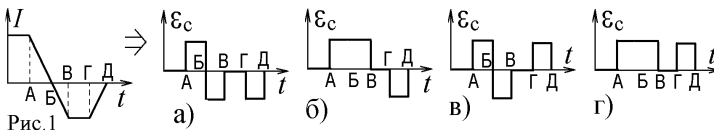
**14.12\*.** Сила тока в проводящем круговом контуре с индуктивностью 200 мГн изменяется со временем  $t$  по закону



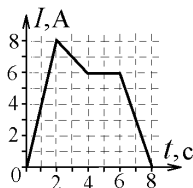
$I = (\alpha + \beta t)$ , где  $\alpha = 2 \text{ А}$ ,  $\beta = 0,5 \text{ А/с}$ . При этом величина ЭДС самоиндукции равна ....., а индукционный ток направлен .....

- а) 0,1 В, по часовой стрелке; б) 0,05 В, по часовой стрелке;  
в) 0,05 В, против часовой стрелки; г) 0,01 В, против часовой стрелки;

**14.13\*.** На рис.1 показана зависимость силы тока, протекающего в катушке индуктивности, от времени. Укажите правильный график изменения возникающей в катушке ЭДС самоиндукции  $\mathcal{E}_c$  со временем.

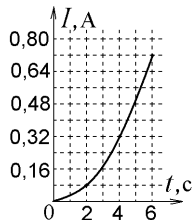


**14.14.** В катушке с индуктивностью  $L = 3 \text{ Гн}$  течет ток, меняющийся со временем  $t$ , как показано на рисунке. Величину  $\mathcal{E}$  ЭДС самоиндукции в катушке измеряют 4 раза в моменты времени  $t_1 = 1 \text{ с}$ ,  $t_2 = 3 \text{ с}$ ,  $t_3 = 5 \text{ с}$  и  $t_4 = 7 \text{ с}$ . Чему равна максимальная величина  $\mathcal{E}$ , измеренная в эти моменты времени?



- а) 4 В; б) 6 В; в) 8 В; г) 9 В; д) 12 В; е) 18 В;

**14.15.** По замкнутому проводящему контуру с индуктивностью  $L = 2 \text{ Гн}$  течет ток, величина которого меняется со временем  $t$  по параболическому закону  $(\sim t^2)$ , как показано на графике. Определите величину ЭДС самоиндукции, возникающей в контуре в момент времени  $t = 2 \text{ с}$ :



- а) 0,08 В; б) 0,16 В; в) 0,24 В;  
г) 0,32 В; д) 0,48 В; е) 0,64 В; ж) 0,72 В;

Решение. Зависимость тока от времени  $I = \alpha t^2$ . Постоянную  $\alpha$  можно найти по точкам графика:  $I = 0,32 \text{ А}$  при  $t = 4 \text{ с}$ , откуда  $\alpha = 0,02 \text{ А/с}^2$ . Величина ЭДС  $\mathcal{E}_c = |-d(LI)/dt| = 2L\alpha t = 0,32 \text{ В}$ .

**14.16.** Источник ЭДС  $\mathcal{E}$  с внутренним сопротивлением  $r$  последовательно с реостатом подсоединен к катушке с индуктивностью  $L$  и сопротивлением  $R_k$  (рис.1). Движком реостата меняют величину его сопротивления так, что ток  $I$ , протекающий по цепи, меняется со временем  $t$  по закону  $I = I_0 + \alpha_1 t - \alpha_2 t^2$ , где  $I_0$ ,  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – положи-

тельные константы. Укажите правильный график временной зависимости величины (модуля) ЭДС самоиндукции  $\mathcal{E}_c$ , возникающей в катушке:

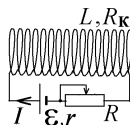
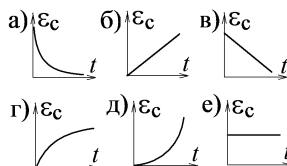


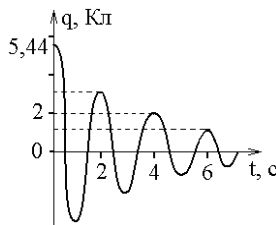
Рис. 1



### 3.15. Собственные электрические колебания

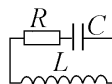
**15.1.** На рисунке показан график временной зависимости заряда  $q$  на конденсаторе в электрическом колебательном контуре, определяемый уравнением  $q(t) = Ae^{-t/\tau} \sin(\omega t + \phi)$ . Укажите время  $\tau$  релаксации (затухания) колебаний:

- а) 2 с; б) 4 с; в) 6 с; г) 1 с; д) 2,72 с;



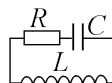
**Решение.** Из графика видно, что уменьшение начальной амплитуды  $Ae^{-t/\tau}$  в  $e = 2,72$  раз от величины  $A = 5,44$  Кл до величины  $Ae^{-1} = 2$  Кл происходит за время  $\tau = t = 4$  с.

**15.2.** Собственные затухающие колебания в контуре с индуктивностью  $L$ , ёмкостью  $C$  и резистором  $R$  описываются уравнением  $q(t) = Ae^{-\beta t} \sin(\omega t + \phi)$ . С уменьшением величины индуктивности  $L$  при неизменных  $R$  и  $C$ :



- а) скорость уменьшения амплитуды колебаний не изменится;  
б) амплитуда колебаний будет уменьшаться со временем быстрее;  
в) амплитуда колебаний будет уменьшаться со временем медленнее;

**15.3.** Собственные затухающие колебания в колебательном контуре с индуктивностью  $L$  и ёмкостью  $C$  описываются уравнением  $q(t) = Ae^{-\beta t} \sin(\omega t + \phi)$ , где



$\beta = \frac{4}{5} \frac{1}{\sqrt{LC}}$ . Во сколько раз изменится циклическая частота  $\omega$  колебаний, если коэффициент затухания  $\beta$  уменьшить в  $4/3 = 1,33$  раз?

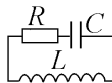
- а) не изменится; б) увеличится в 1,33 раза; в) уменьшится в 1,33 раз;

**Решение.** Циклическая частота затухающих колебаний  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ ,

где  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ . Коэффициент затухания был равен  $\beta_1 = 4\omega_0/5$ , стал равен  $\beta_2 = 3\omega_0/5$ . Частота увеличилась в

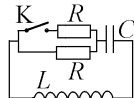
$$\omega_2/\omega_1 = \sqrt{(\omega_0^2 - \beta_2^2)/(\omega_0^2 - \beta_1^2)} = 4/3 = 1,33 \text{ раз.}$$

**15.4.** В электрическом колебательном контуре с индуктивностью  $L$ , ёмкостью  $C$  и резистором  $R$  происходят собственные затухающие электрические колебания с частотой  $\omega$  и с коэффициентом затухания  $\beta$ . Если величину сопротивления  $R$  уменьшить при неизменных величинах  $C$  и  $L$ , то:



- а)  $\omega$  уменьшается,  $\beta$  не меняется;      б)  $\omega$  уменьшается,  $\beta$  растёт;  
в)  $\omega$  растёт,  $\beta$  не меняется;      г)  $\omega$  не меняется,  $\beta$  уменьшается;  
д)  $\omega$  растёт,  $\beta$  уменьшается;      е)  $\omega$  не меняется,  $\beta$  растёт;

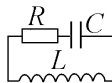
**15.5.** При разомкнутом ключе “К” циклическая частота собственных затухающих колебаний в контуре, изображённом на рисунке, определялась параметрами  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$  и  $\beta = R/2L$ . Укажите формулу циклической частоты собственных затухающих колебаний в данном контуре после замыкания ключа “К”:



- а)  $\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ ; б)  $\sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$ ; в)  $\sqrt{\omega_0^2 - 4\beta^2}$ ; г)  $\sqrt{\omega_0^2 - \frac{\beta^2}{2}}$ ; д)  $\sqrt{\omega_0^2 - \frac{\beta^2}{4}}$ ;

Решение. После подключения параллельного резистора омическое сопротивление контура уменьшилось в два раза:  $R \rightarrow R/2$ , как и коэффициент затухания колебаний:  $\beta = R/2L \rightarrow \beta/2 = R/4L$ . Правильный ответ – (д).

**15.6.** В электрическом колебательном контуре, изображённом на рисунке, постепенно увеличивают величину ёмкости  $C$  конденсатора. При этом собственные электрические затухающие колебания прекратятся при достижении



значения: а)  $C = 4 \frac{R^2}{L}$ ; б)  $C = \frac{1}{4} \frac{L}{R^2}$ ; в)  $C = 4 \frac{L}{R}$ ; г)  $C = \frac{1}{4} \frac{L}{R}$ ;

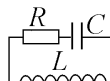
д)  $C = 4 \frac{L}{R^2}$ ; е)  $C = \frac{1}{4} \frac{R^2}{L}$ ; ж) при любом значении  $R$  электрические колебания не прекращаются;

Решение. С ростом ёмкости  $C$  период собственных колебаний

$T = 2\pi / \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}}$  растёт. Колебания прекратятся, когда знаменатель этого выражения станет равным нулю, т.е. при  $C = 4L/R^2$ .

**15.7.** В электрическом колебательном контуре можно:

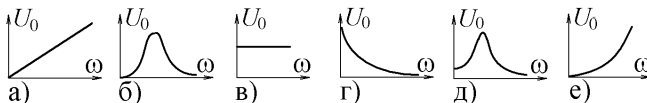
1) уменьшить величину сопротивления  $R$ ; 2) увеличить величину ёмкости  $C$ . При этом величина логарифмического декремента затухания электрических колебаний:



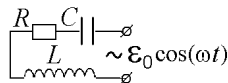
- а) 1 – уменьшится, 2 – увеличится; б) 1 – увеличится, 2 – уменьшится;  
в) 1 – уменьшится, 2 – уменьшится; г) 1 – увеличится, 2 – увеличится;  
д) 1 – увеличится, 2 – не изменяется; е) 1 – уменьшится, 2 – не изменяется;  
ж) для ответа не хватает знания величин  $L$ ,  $C$  и  $R$ ;

### 3.16. Вынужденные электрические колебания

**16.1.** Укажите правильный график зависимости амплитуды  $U_0$  напряжения на конденсаторе  $C$  от частоты  $\omega$  источника внешней ЭДС для вынужденных электрических колебаний в цепи, изображенной на рисунке:



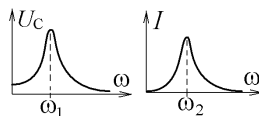
**16.2.** Частота собственных электрических колебаний контура, изображенного на рисунке, равна  $\omega_c$ . Резонанс тока  $I$  в таком контуре будет



происходить при частоте внешней ЭДС  $\omega = \omega_p$ . При этом

- а)  $\omega_p < \omega_c$ ; б)  $\omega_p = \omega_c$ ; в)  $\omega_p > \omega_c$ ; г) резонанс тока  $I$  невозможен;  
г) в данном контуре резонанс тока  $I$  нет при любой частоте  $\omega_{вн}$ .

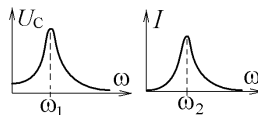
**16.3.** Зависимости амплитуд вынужденных колебаний напряжения на конденсаторе  $U_C$  и тока  $I$  в электрическом колебательном контуре от частоты  $\omega$  внешней ЭДС показаны на рисунке, где  $\omega_1 = 10^6 \text{ с}^{-1}$ , а коэффициент затухания для этого контура равен  $\beta = 2 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ . Какой должна быть величина частоты  $\omega_2$ ?



- а)  $5 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ ; б)  $10^6 \text{ с}^{-1}$ ; в)  $3 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ ; г)  $1,72 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ ; д)  $2 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ ;

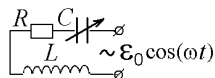
Решение. Резонансная частота для амплитуды напряжения на конденсаторе  $\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$ . Отсюда резонансная частота для амплитуды тока в цепи  $\omega_2 = \omega_0 = \sqrt{\omega_1^2 + 2\beta^2} = 3 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ .

**16.4.** Зависимости амплитуды вынужденных колебаний напряжения на конденсаторе  $U_C$  и амплитуды тока  $I$  в электрическом колебательном контуре от частоты  $\omega$  внешней ЭДС показаны на рисунке. Какой может быть величина отношения  $\omega_2/\omega_1$  частот, указанных на этом рисунке?



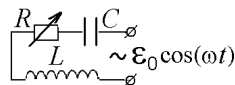
- а) 1,1; б) 1; в) 0,9; г) 0,5; д)  $e^{-1} = 0,368$ ;

**16.5.** В электрический колебательный контур с активным сопротивлением  $R$ , ёмкостью  $C$  и индуктивностью  $L$  включен последовательно источник переменного тока с такой частотой  $\omega$ , что амплитуда падения напряжения на сопротивлении  $R$  достигает максимальной резонансной величины. Ёмкость  $C$  конденсатора увеличили в 2 раза. Что надо сделать с параметрами контура, чтобы резонансное увеличение амплитуды падения напряжения на сопротивлении  $R$  по-прежнему наблюдалось при той же частоте  $\omega$ ?



- а) увеличить  $L$  в 2 раза; б) увеличить  $R$  в 2 раза; в) ничего не менять; г) уменьшить  $L$  в 2 раза; д) уменьшить  $R$  в 2 раза;

**16.6.** В электрический колебательный контур с активным сопротивлением  $R$ , ёмкостью  $C$  и индуктивностью  $L$  включен последовательно источник переменного тока с такой частотой  $\omega$ , что



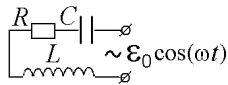
амплитуда падения напряжения на конденсаторе  $C$  достигает максимальной резонансной величины. Переменное сопротивление  $R$  увеличили в 2 раза. Что надо сделать с параметрами контура, чтобы резонансное увеличение амплитуды падения напряжения на конденсаторе по-прежнему наблюдалось при той же частоте  $\omega$ :

- а) и  $L$ , и  $C$  увеличить в 2 раза;  
б)  $L$  увеличить, а  $C$  уменьшить в 2 раза;  
в)  $C$  увеличить, а  $L$  уменьшить в 2 раза;  
г) и  $L$ , и  $C$  уменьшить в 2 раза;

Решение. Резонансная частота для амплитуды напряжения на кон-

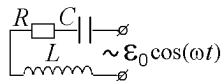
денсаторе  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}}$  не изменится, если вместе с увеличением  $R$  увеличить  $L$  в 2 раза и уменьшить  $C$  в 2 раза.

**16.7.** Полное сопротивление цепи, изображенной на рисунке (где  $R$  – активное сопротивление,  $L$  – индуктивность,  $C$  – ёмкость,  $\mathcal{E}_0$  – амплитуда ЭДС внешнего источника) достигает **наибольшего возможного** значения, если частота  $\omega$  внешнего источника равна:

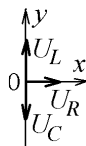


- а)  $\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}}$ ; б)  $\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ ; в)  $\sqrt{\frac{1}{LC}}$ ; г)  $\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{2R^2}{L^2}}$ ; д) 0;

**16.8\*.** Резистор, катушка индуктивности и конденсатор подключены к источнику ЭДС, создающей в цепи ток, изменяющийся по закону  $I = I_0 \cos(\omega t)$ , где



$I_0 = 0,1 \text{ A}$ ,  $\omega = 3,14 \text{ c}^{-1}$ . На втором рисунке представлена фазовая диаграмма падений напряжений на указанных элементах. Амплитудные значения напряжений равны, соответственно,  $U_R = 3 \text{ В}$ ;  $U_L = 1 \text{ В}$ ;  $U_C = 5 \text{ В}$ . При этом полное сопротивление контура равно:

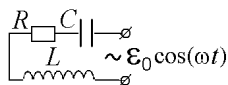


- а) 70 Ом; б) 50 Ом; в) 90 Ом; г) 120 Ом;

Решение. Амплитуды падения напряжения на реактивных и активном сопротивлении цепи связаны с амплитудой тока соотношениями  $U_R = I_0 R$ ;  $U_L = I_0 X_L = I_0 \omega L$ ;  $U_C = I_0 X_C = I_0 / \omega C$ . Полное сопротивление цепи

$$Z = \sqrt{\left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2 + R^2} = \frac{\sqrt{(U_C - U_L)^2 + U_R^2}}{I_0} = 50 \text{ Ом}.$$

**16.9.** В электрический колебательный контур с активным сопротивлением  $R$ , ёмкостью  $C$  и индуктивностью  $L$  включен источник переменной ЭДС с амплитудой  $\mathcal{E}_0$  (см. рисунок). Какому соотношению должна удовлетворять его циклическая частота  $\omega$ , чтобы амплитуда тока в цепи была в 2 раза меньше максимального резонансного значения?



- а)  $\frac{1}{\omega C} - \omega L = 2R$ ; б)  $\frac{1}{\omega C} - \omega L = R$ ; в)  $\frac{1}{\omega C} - \omega L = \sqrt{2}R$ ; г)  $\frac{1}{\omega C} - \omega L = \sqrt{3}R$ ;



Решение: Резонансная величина амплитуды тока  $I_{0\max} = \epsilon_0 / R$ .

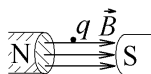
Амплитуда уменьшается в два раза  $I_0 = \frac{I_{0\max}}{2} = \frac{\epsilon_0}{Z}$ , если полное со-

противление цепи переменному току  $Z = \sqrt{\left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2 + R^2} = 2R$ , от-

куда  $\frac{1}{\omega C} - \omega L = \sqrt{3}R$ .

### 3.17. Переменное электромагнитное поле. Уравнения Максвелла

**17.1.** Величина индукции магнитного поля  $\vec{B}$  между полюсами электромагнита начинает равномерно расти со временем. Что при этом можно сказать о возникающем электрическом поле?



- а) его силовые линии будут кругами, охватывающими линии  $\vec{B}$ ;
- б) его силовые линии будут направлены вдоль линий  $\vec{B}$ ;
- в) его силовые линии будут направлены по радиусам от оси магнита;
- г) в случае равномерного роста  $\vec{B}$  электрическое поле не возникает;

**17.2\*.** Одно из уравнений Максвелла имеет вид  $\oint_L \vec{E} d\vec{\ell} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$ .

Оно является обобщением:

- а) теоремы Гаусса для электростатического поля в среде;
- б) теоремы Остроградского-Гаусса для магнитного поля в среде;
- в) закона полного тока в среде; г) закона электромагнитной индукции;

**17.3\*.** Следующая система уравнений Максвелла  $\oint_L \vec{E} d\vec{\ell} = 0$ ;  $\oint_L \vec{H} d\vec{\ell} = \int_S \vec{j} d\vec{S}$ ;  $\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV$ ;  $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$  справедлива

для: а) стационарных электрических и магнитных полей в отсутствии токов проводимости; б) переменного электромагнитного поля при наличии заряженных тел и токов проводимости; в) стационарных электрических и магнитных полей при наличии заряженных тел и токов проводимости; г) стационарных электрических и магнитных полей в отсутствии заряженных тел;

**17.4.** Следующая система уравнений Максвелла

$\text{rot } \vec{E} = 0$ ;  $\text{rot } \vec{H} = \vec{j}$ ;  $\text{div } \vec{D} = \rho$ ;  $\text{div } \vec{B} = 0$  описывает:

- а) электростатическое поле; б) постоянное электромагнитное поле;  
в) переменное электромагнитное поле; г) электромагнитную волну;

**17.5\*.** Следующая система уравнений Максвелла

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = 0; \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

- а) не соответствует никакому реальному электромагнитному полю;  
б) описывает постоянное электромагнитное поле;  
в) описывает электромагнитную волну в вакууме или диэлектрике;  
г) записана неверно (с ошибками);

**17.6.** Согласно уравнениям Максвелла в случае электромагнитного поля в идеальной диэлектрической среде циркуляция вектора напряженности электрического поля равна:

а)  $\int_S \vec{j} d\vec{S}$ ; б)  $\mu\mu_0 \int_S \vec{j} d\vec{S}$ ; в)  $\frac{d}{dt} \int_S \vec{D} d\vec{S}$ ; г)  $-\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S}$ ; д)  $\int_V \rho dV$ ;

**17-7.** Какие из приведенных уравнений системы Максвелла запи-

саны **без ошибок** (правильно)?

1)  $\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$ ;

2)  $\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \epsilon\epsilon_0 \int_V \rho dV$ ; 3)  $\oint_L \vec{H} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S} + \int_S \vec{j} d\vec{S}$ ; 4)  $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$ ;

- а) 1 и 4; б) 2 и 3; в) 1 и 3; г) 3 и 4; д) 2 и 4; е) 1 и 2;

**17-8.** Какие из приведенных уравнений системы Максвелла запи-

саны **с ошибкой** (неверно)?

1)  $\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$ ;

2)  $\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \int_V \rho dV$ ; 3)  $\oint_L \vec{H} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S} + \int_S \vec{j} d\vec{S}$ ; 4)  $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$ ;

- а) 1 и 4; б) 2 и 3; в) 1 и 3; г) 3 и 4; д) 2 и 4; е) 1 и 2;

**17.9.** Какие из приведенных в дифференциальной форме уравнений системы Максвелла записаны **без ошибок** (правильно)?

1)  $\text{rot } \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ ; 2)  $\text{rot } \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j}$ ; 3)  $\text{div } \vec{D} = \epsilon\epsilon_0 \rho$ ; 4)  $\text{div } \vec{B} = 0$ ;

- а) 1 и 4; б) 2 и 3; в) 1 и 3; г) 3 и 4; д) 2 и 4; е) 1 и 2;

**17.10.** Какие из приведенных в дифференциальной форме уравнений системы Максвелла записаны **с ошибкой** (неверно)?

$$1) \operatorname{rot} \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \quad 2) \operatorname{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \mu_0 \vec{j}; \quad 3) \operatorname{div} \vec{D} = \rho; \quad 4) \operatorname{div} \vec{B} = 0;$$

а) 1 и 4; б) 2 и 3; в) 1 и 3; г) 3 и 4; д) 2 и 4; е) 1 и 2;

### 3.18. Электромагнитные волны. Вектор Пойнтинга

**18.1.** Выберите правильное перечисление диапазонов электромагнитных волн **в порядке убывания длин волн излучения**:

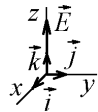
- а) ультракороткие радиоволны, видимый свет, инфракрасное излучение, микроволновый диапазон;
- б) оптический диапазон, инфракрасный диапазон, микроволновый диапазон, УКВ-диапазон;
- в) инфракрасное излучение, оптический диапазон, ультрафиолетовое излучение, рентгеновское излучение;
- г) рентгеновское излучение, оптический диапазон, ультрафиолетовое излучение, микроволновый диапазон;

**18.2\*.** Величина вектора напряженности электрического поля плоской электромагнитной синусоидальной волны, распространяющейся в диэлектрической среде с  $\epsilon > 1$  вдоль оси  $Ox$ , имеет вид  $E = A \cdot \sin(\alpha t - \beta x)$ , где  $A = 0,01 \text{ В/м}$ ,  $\alpha = 6,28 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$ ,  $\beta = 2 \text{ м}^{-1}$ . При этом длина волны равна: а) 3,14 м; б) 2 м; в) 3 м; г) 0,01 м;

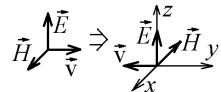
**18.3.** Напряженность электрического поля плоской электромагнитной волны имеет вид  $\vec{E} = \vec{k} E_0 \cos(\omega t + k y)$ .

Напряженность  $\vec{H}$  магнитного поля этой волны имеет вид  $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k} - \text{орты декартовой системы координат})$ :

- а)  $\vec{i} H_0 \cos(\omega t + k y)$ ; б)  $\vec{j} H_0 \cos(\omega t + k y)$ ;
- в)  $-\vec{j} H_0 \cos(\omega t + k y)$ ; г)  $-\vec{i} H_0 \cos(\omega t + k y)$ ;

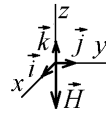


Решение. Знак аргумента  $(\omega t + k y)$  говорит о том, что волна распространяется **против** оси  $y$  — это направление её скорости  $\vec{v}$ . Векторы  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  и  $\vec{v}$  образуют правую тройку векторов. Повернув эту тройку вектором  $\vec{E}$  вдоль оси  $z$ , а вектором  $\vec{v}$  против оси  $y$ , видим, что  $\vec{H}$  направлен против оси  $x$  — ответ (г).



**18.4.** Напряженность магнитного поля плоской электромагнитной волны имеет вид  $\vec{H} = -\vec{k} H_0 \cos(\omega t - k x)$ .

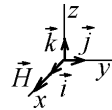
Напряженность  $\vec{E}$  электрического поля этой волны имеет вид ( $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – орты декартовой системы координат):



- а)  $-\vec{j} E_0 \cos(\omega t - k x)$ ; б)  $\vec{k} E_0 \cos(\omega t - k x)$ ; в)  $-\vec{k} E_0 \cos(\omega t - k x)$ ; г)  $\vec{j} E_0 \cos(\omega t - k x)$ ; д) такая волна не существует;

**18.5.** Напряженность магнитного поля плоской электромагнитной волны имеет вид  $\vec{H} = \vec{i} H_0 \cos(\omega t - k x)$ . На-

пряженность  $\vec{E}$  электрического поля этой волны имеет вид ( $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – орты декартовой системы координат):



- а)  $-\vec{j} E_0 \cos(\omega t - k z)$ ; б)  $\vec{k} E_0 \cos(\omega t - k z)$ ; в)  $-\vec{i} E_0 \cos(\omega t - k z)$ ; г)  $\vec{j} E_0 \cos(\omega t - k z)$ ; д) такая волна не существует;

Решение. Знак аргумента  $(\omega t - k x)$  показывает, что волна должна распространяться вдоль оси  $x$ . По условию вектор  $\vec{H}$  направлен в ту же сторону, хотя должен быть перпендикулярен скорости волны  $\vec{v}$ . Таких “продольных” электромагнитных волн не существует.

**18.6.** В плоской электромагнитной волне, распространяющейся в вакууме, в некоторый момент вектор напряженности электрического поля направлен вдоль вектора  $\vec{i}$ , а вектор напряженности магнитного поля – **против** вектора  $\vec{k}$ , где  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – орты декартовой системы координат. Вектором скорости этой волны будет ( $c$  – скорость света):

- а)  $\vec{j} c$ ; б)  $-\vec{j} c$ ; в)  $(\vec{i} + \vec{k})c/\sqrt{2}$ ; г)  $(\vec{i} - \vec{k})c/\sqrt{2}$ ; д)  $(\vec{k} - \vec{i})c/\sqrt{2}$ ;

**18.7.** Энергия электромагнитного поля переносится электромагнитной волной вдоль оси  $Oz$ . В некоторый момент времени вектор напряженности электрического поля этой волны направлен вдоль оси  $Oy$ . В тот же момент времени вектор напряженности магнитного поля волны направлен:

- а) вдоль оси  $Ox$ ; б) против оси  $Oz$ ; в) против оси  $Oy$ ; г) против оси  $Ox$ ;

**18.8.** Амплитуда напряженности магнитного поля электромагнитной волны, распространяющейся в вакууме, уменьшилась в 4 раза. При этом величина амплитуды вектора Пойнтинга для этой волны:

- а) увеличилась в 2 раза; б) уменьшилась в 2 раза;  
 в) увеличилась в 4 раза; г) уменьшилась в 4 раза;  
 д) увеличилась в 16 раз; е) уменьшилась в 16 раз;

Решение. Так как в электромагнитной волне напряженности электрического и магнитного полей пропорциональны,  $\sqrt{\epsilon\epsilon_0}E = \sqrt{\mu\mu_0}H$ , то амплитуда вектора Пойнтинга  $\vec{j}_W = [\vec{E}, \vec{H}]$  будет пропорциональна  $H^2$  и уменьшится в 16 раз.

**18.9.** Величина амплитуды плотности энергии электромагнитной волны, распространяющейся в вакууме, увеличилась в 4 раза. При этом амплитуда напряженности электрического поля этой волны:

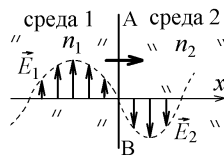
- а) увеличилась в 2 раза; б) уменьшилась в 2 раза;  
 в) увеличилась в  $\sqrt{2}$  раз; г) уменьшилась в  $\sqrt{2}$  раз;  
 е) увеличилась в 4 раза; ж) уменьшилась в 4 раза;

**18.10.** Величина амплитуды напряженности магнитного поля электромагнитной волны, распространяющейся в вакууме, равна  $H_0 = 1$  А/м. Известно, что  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;  $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$  Гн/м. Величина амплитуды вектора Пойнтинга этой волны равна:

- а)  $2,65 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>с; б) 1 Дж/м<sup>2</sup>с;  
 в) 377 Дж/м<sup>2</sup>с; г)  $7,04 \cdot 10^{-6}$  Дж/м<sup>2</sup>с;

**18.11\*.** На рисунке представлена мгновенная «фотография» электрической составляющей электромагнитной волны, переходящей из среды 1 в среду 2 перпендикулярно границе раздела АВ. Напряженности электрического поля в первой и второй среде определяются формулами

$E_1 = E_0 \sin(\omega t - 5 \cdot 10^6 \pi x)$  и  $E_2 = E_0 \sin(\omega t - 8 \cdot 10^6 \pi x)$ . Относительный показатель преломления двух сред  $n_2/n_1$  равен: а) 1,6; б) 1; в) 0,625;



Решение. При переходе из одной среды в другую не меняется частота волны  $\omega$ , но меняются её скорость  $v = c/n$  ( $c$  – скорость света в вакууме), длина волны  $\lambda = \frac{2\pi v}{\omega} = \frac{2\pi c}{\omega n}$  и волновое число  $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v} = n \frac{\omega}{c}$ ,

входящее в уравнение  $E = E_0 \sin(\omega t - kx)$ . Поэтому  $\frac{n_2}{n_1} = \frac{k_2}{k_1} = \frac{8}{5} = 1,6$ .

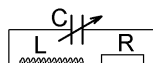
### 3.19. Задания, проверяющие владение изученным материалом

Такие задания приводятся в открытой форме без выбора варианта ответа. За ответы на них, и даже за правильную попытку ответа, дается максимальное число баллов.



*Помните, что большая часть подобных заданий аналогична заданиям с выбором ответа, и только построена в форме, позволяющей проверить умение студента самостоятельно оценить суть вопроса и выбрать подходящий закон или формулу для ответа.*

**Пример 1.** Первый экспериментатор считает, что собственные электрические колебания в цепи, изображенной на рисунке, имеют место при любой величине ёмкости  $C$  переменного конденсатора. Второй экспериментатор уверен, что колебания прекращаются при некотором значении ёмкости  $C_0$ . Выскажите своё мнение о том, кто из них прав, обосновав его законами и формулами физики. Нарисуйте и объясните примерный график зависимости  $T$  от величины  $C$ . Если, по Вашему мнению, прав второй экспериментатор, то получите величину  $C_0$ , выразив её через параметры цепи  $L$  и  $R$ .



Решение.



*В формулировке вопроса уже можно найти указание на то, какую формулу или закон надо использовать для ответа.*

Период собственных колебаний  $T = 2\pi / \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$  стремится к бесконечности, когда знаменатель обращается в ноль,

т.е. при  $C = C_0 = \frac{4L}{R^2}$ . Колебания прекращаются. Сравните это

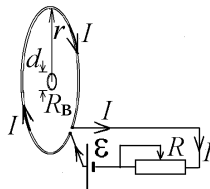


задание с вопросом 15.6. из раздела 3.15.



*Не пытайтесь найти готовый ответ сразу на всю ситуацию, предложенную в задании. Решайте её по частям, следуя тексту задания, и Вы получите ответ на самые сложные вопросы.*

**Пример 2.** В центре круглого проводящего витка с радиусом  $r$  находится маленький проводящий виток с диаметром  $d$  и с сопротивлением  $R_B$  ( $d \ll r$ , плоскости витков совпадают). Меняя



сопротивление  $R$  реостата (см. рисунок) изменяют ток  $I$ , протекающий по внешнему витку, причем этот ток меняется со временем  $t$  по закону  $I = I_0 + \alpha t + \beta t^2$ , где  $I_0, \alpha, \beta$  – положительные константы. Выскажите своё обоснованное мнение о том, появится ли индукционный ток в маленьком внутреннем витке? Если да, то как этот ток будет зависеть от времени  $t$  и от параметров  $R_B, d, r, I_0, \alpha, \beta$ . Получите формулы и нарисуйте график зависимости индукционного тока от времени  $t$ .

Решение. Сделайте последовательную цепочку рассуждений:

- 1) по внешнему витку течет ток  $I$ , который создаёт в центре, в плоскости маленького витка магнитное поле с индукцией  $B = \mu_0 I / 2r$ ;
- 2) это поле меняется вместе с током и создает переменный магнитный поток  $\Phi = BS$  в плоскости маленького витка ( $S = \pi d^2 / 4$  – его площадь);

- 3) поэтому во внутреннем витке создается ЭДС электромагнитной ин-

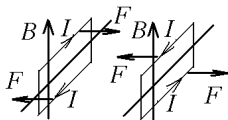
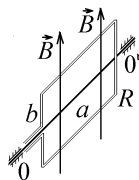
$$\text{дукции } \mathcal{E}_и = \left| -\frac{d\Phi}{dt} \right| = \frac{\mu_0}{2r} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \frac{dI}{dt} = \frac{\mu_0 \pi d^2}{8r} (\alpha + 2\beta t);$$

- 4) ЭДС создает во внутреннем витке индукционный ток, ли-

$$\text{нейно меняющийся со временем: } I_и = \frac{\mathcal{E}_и}{R_B} = \frac{\mu_0 \pi d^2}{8r R_B} (\alpha + 2\beta t).$$



**Пример 3.** Экспериментатор уверен, что может продемонстрировать действие электромотора, пропуская ток по прямоугольной проволочной рамке с сопротивлением  $R$ , способной вращаться без трения в постоянном магнитном поле с индукцией  $B$  вокруг оси  $00'$  (см. рисунок). Объясните, прав он или не прав, и что ему надо сделать, чтобы рамка, как и электромотор, вращалась все время в одну сторону? Ответ подтвердить с помощью физических законов и формул.



Решение. Если по рамке пропускать **постоянный** ток  $I$  в одном направлении, то вначале момент сил Ампера начнет поворачивать рамку по часовой стрелке (левый рисунок). После поворота на  $90^\circ$  момент сил поменяет направление и

начнет тормозить вращение рамки. Повернувшись на  $180^\circ$  рамка остановится (правый рисунок), а затем начнет вращение в обратную сторону. Возникнут периодические колебания вокруг положения, в котором  $\vec{B}$  перпендикулярно плоскости рамки. Чтобы рамка совершала враще-

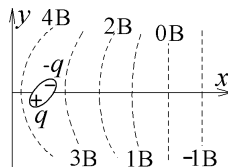
ние только в одну сторону, по ней надо пропускать **переменный** ток с циклической частотой, равной угловой скорости вращения рамки (чтобы после поворота на  $180^\circ$  ток менял направление). Или с такой же частотой менять направление поля  $\vec{B}$ .

*Примеры открытых тестов для поиска самостоятельного ответа.*

**19.4.** Зависимость потенциала электростатического поля от координат имеет вид  $\varphi = \beta \cdot \sqrt{x^2 + y^2}$ , где  $\beta$  – положительная константа. Нарисуйте на плоскости  $xy$  несколько эквипотенциальных поверхностей и силовых линий такого поля. Укажите направление вектора напряженности  $\vec{E}$ . Ответ обосновать и подтвердить формулами.

**19.5.** Напряженность электростатического поля зависит от координат  $x$ ,  $y$  и  $z$  следующим образом:  $\vec{E} = \vec{i}\alpha x^3 - \vec{j}\alpha y^2 - \vec{k}\alpha z$ , где  $\alpha = 1 \text{ В/м}^3$ . На плоскости  $z = 0$  нарисуйте линию  $y = y(x)$  из точек, в которых объемная плотность электрического заряда, создающего данное поле, равна нулю. Ответ обосновать выводом формул.

**19.6.** На плоскости  $xy$  показана картина эквипотенциальных поверхностей электростатического поля, в котором находится полярная молекула с зарядами  $+q$  и  $-q$  на концах (см. рисунок). Какое положение примет эта молекула и как она будет двигаться? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



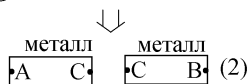
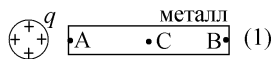
**19.7.** Свободная полярная молекула оказалась во внешнем однородном электростатическом поле с величиной напряженности  $E_0$ , силовые линии которого перпендикулярны оси  $z$ , и повернулась так, что её электрический дипольный момент принял выражение  $\vec{p}_e = -\vec{i} \cdot 3\rho_0 + \vec{j} \cdot 4\rho_0$ , где  $\rho_0$  – положительная константа, а  $\vec{i}$  и  $\vec{j}$  – орты декартовой системы координат. Нарисуйте линии  $\vec{E}$  на плоскости  $xy$ , укажите их направление, получите выражение зависимости потенциала данного поля от координат.

**19.8.** Плоскость  $z = 0$  равномерно заряжена с поверхностной плотностью электрического заряда  $\sigma$ . Другие заряды отсутствуют. Объясните, как найти зависимость потенциала  $\varphi$  электростатического поля от координаты  $z$ , если известно, что потенциал точки  $x = y = z = 0$  равен  $\varphi_0$ . Получите формулу для определения зависимо-



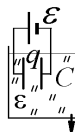
сти  $\varphi(z)$  и постройте график зависимости величины  $\varphi = \varphi(z)$  в интервале  $-a \leq z \leq a$ .

**19.9.** В эксперименте первоначально незаряженный металлический стержень АСВ подносят к телу с зарядом  $q$  (1). После этого стержень разделяют на две части АС и СВ и переносят разделенные части на очень большое удаление от заряженного тела (2). Выскажите свое мнение о том, какой должна быть разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_B$  в точках А и В на концах стержня до разделения (рисунок 1) и после разделения и перемещения (рисунок 2). Определите причины возможного изменения величины  $\varphi_A - \varphi_B$  или отсутствия этого изменения. Ответ обоснуйте физическими законами.

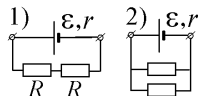


**19.10.** По металлическому шару радиуса  $r_1$  равномерно с поверхностной плотностью  $\sigma$  распределен электрический заряд. Этот шар окружен тонкой металлической сферической поверхностью радиуса  $r_2$  (центры шара и сферической поверхности совпадают). Как определить величину энергии электрического поля, заключенного между данными проводниками? Получите формулу этой энергии.

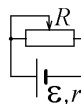
**19.11.** Плоский конденсатор подключен к источнику постоянной ЭДС  $\mathcal{E}$ , а его пластины, на которых находится заряд  $q$ , погружены в жидкий диэлектрик. Диэлектрик убирают, и по цепи при этом протекает заряд  $\Delta q$ . Можно ли по этим данным определить величину диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  диэлектрика? Если это можно сделать, то получите формулу для её вычисления



**19.12.** Два электронагревательных элемента с сопротивлениями  $R$  каждый в одном случае подключают к батарее с ЭДС  $\mathcal{E}$  и с внутренним сопротивлением  $r = R$  последовательно (рисунок 1), а в другом – параллельно (рисунок 2). В каком случае нагреватели выделяют больше тепла и во сколько раз? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

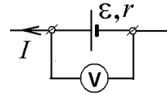


**19.13.** Сопротивление реостата, подключенного к источнику постоянной ЭДС  $\mathcal{E}$  с внутренним сопротивлением  $r$ , было равно  $R$ . Передвинув ползунок реостата, увеличили его сопротивление в 2 раза:  $R \rightarrow 2R$ . Первый экспериментатор счи-

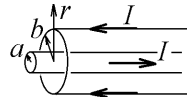


тает, что при этом тепловая мощность, выделяемая на реостате, обязательно должна измениться. По мнению второго экспериментатора выделяемая на реостате тепловая мощность не изменится при определенном соотношении между  $R$  и  $r$ . Выскажите свое обоснованное законными физики мнение о том, кто из них прав. Если прав второй экспериментатор, получите необходимое соотношение между  $R$  и  $r$ .

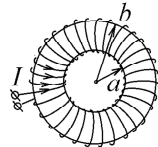
**19.14.** Через батарею с ЭДС  $\mathcal{E}$  с внутренним сопротивлением  $r$  течет ток  $I$ , как показано на рисунке. Чему равна величина разности потенциалов на клеммах батареи и как, по Вашему мнению, она изменится, если ток  $I$  поменяет направление?



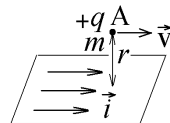
**19.15.** По центральной жиле радиуса  $a$  прямого коаксиального кабеля течёт ток  $I$ . такой же ток  $I$  течет по внешнему цилиндрическому слою (“стакану”) радиуса  $b$  навстречу. Нарисуйте график зависимости величины напряженности магнитного поля, созданного этими токами, от расстояния  $r$  до оси кабеля. Ответ обосновать и подтвердить формулами.



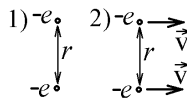
**19.16.** На ферромагнитный тороидальный сердечник равномерно намотаны  $N$  витков провода, по которому течет постоянный ток  $I$  (см. рисунок). Может ли величина индукции магнитного поля внутри в разных точках сердечника отличаться в два раза? Если да, то при каком условии? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



**19.17.** По бесконечной плоскости, участок которой показан на рисунке, течет однородный постоянный электрический ток с поверхностной плотностью  $\vec{i}$ . Над плоскостью на расстоянии  $r$  параллельно направлению тока летит со скоростью  $\vec{v}$  частица с положительным зарядом  $+q$  и массой  $m$ . Может ли частица спустя некоторое время снова вернуться в точку А, не столкнувшись с плоскостью? Если да, то при каком условии это происходит и через какой промежуток времени  $\Delta t$  частица вернется в точку А? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



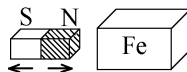
**19.18.** Два электрона находятся на одинаковом расстоянии  $r$ , но в случае (1) они покоятся, а в случае (2) летят параллельно друг другу с одинаковыми скоростями  $\vec{v}$ . Объясните, почему силы их взаимодействия имеют разную величину. Определите, в каком случае сила взаимодействия больше и во сколько раз. Ответ обосновать и подтвердить необходимыми законами и формулами.



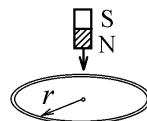
**19.19.** Постоянный магнит прямоугольной формы, изготовленный из ферромагнетика, находится в вакууме. Нарисуйте две картины: линий индукции магнитного поля, созданного магнитом, и линий напряженности этого поля. При построении учтите граничные условия для полей  $\vec{B}$  и  $\vec{H}$ . Могут ли линии напряженности  $\vec{H}$  обрываться? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



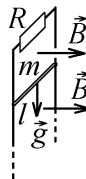
**19.20.** Постоянный магнит быстро приближают и удаляют от куска железа, которое при этом нагревается. Объясните причину и механизм этого нагревания.



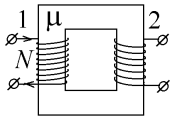
**19.21.** К закрепленному проводящему витку радиуса  $r$  приближают магнит так, что поток магнитной индукции через площадь витка убывает со временем  $t$  по закону  $\Phi = \Phi_0 \exp(-\alpha t)$ , где  $\alpha$  – положительная константа. Определите величину и направление вектора напряженности  $\vec{E}$  электрического поля, возникающего в витке. По какой причине возникает это поле? Нарисуйте приблизительный график зависимости  $E$  от времени.



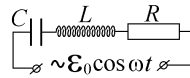
**19.22.** По двум вертикальным металлическим проводникам может без трения скользить поперечная металлическая перекладина длины  $l$  с массой  $m$ . Сопротивление проводников и перекладины равно нулю, а проводники сверху соединены сопротивлением  $R$  (см. рисунок). Перпендикулярно плоскости проводников создано магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ . Перекладину отпускают, и она начинает падать под действием силы тяжести с ускорением  $g$ . По какой причине скорость падения перекладины становится постоянной? При какой величине индукции  $B$  скорость падения перекладины не превысит значения  $v_0$ ? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



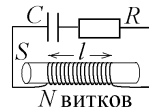
**19.23.** На ферромагнитный сердечник из материала с магнитной проницаемостью  $\mu$  намотана первичная катушка (обмотка) из  $N$  витков провода “1” и вторичная обмотка “2” (см. рисунок). На клеммы обмотки “1” подается меняющееся с частотой  $\omega$  по гармоническому закону напряжение с амплитудой  $U_0$ . Сколько витков и почему должна содержать обмотка “2”, чтобы на её клеммах создавалось большее напряжение с амплитудой  $2U_0$ ? По какой причине происходит увеличение напряжения? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



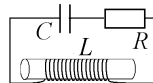
**19.24.** В цепь, показанную на рисунке, включена внешняя переменная ЭДС с циклической частотой  $\omega$ . Меняя эту частоту, определили, что амплитуда напряжения на конденсаторе  $C$  имеет максимальную величину при  $\omega = \omega_1$ . Может ли максимальная величина амплитуды тока в цепи наблюдаться при частоте  $\omega = 2\omega_1$ ? Если может, то как при этом индуктивность цепи  $L$  должна зависеть от параметров  $R$  и  $C$ ? Если нет, то почему? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



**19.25.** Электрический колебательный контур содержит конденсатор с емкостью  $C$ , активное сопротивление  $R$  и катушку индуктивности, из провода, не имеющего активного сопротивления и намотанного на ферритовый сердечник с поперечным сечением  $S$ . Меняя число витков  $N$  в катушке и длину намотки  $l$ , т.е. меняя индуктивность катушки, экспериментатор после долгих опытов определил самое большое значение частоты собственных колебаний тока в такой цепи при заданных величинах  $C$  и  $R$ . Предложите свой способ найти это значение с помощью законов физики. Приведите его обоснование и получите формулу для максимальной частоты  $\omega$ , выраженной через параметры  $C$  и  $R$ .



**19.26.** Два экспериментатора рассуждают о том, как может изменяться величина  $\theta$  логарифмического декремента затухания собственных электрических колебаний в электрическом колебательном контуре, где величины активного сопротивления цепи  $R$  и емкости конденсатора  $C$  фиксированы, а индуктивность катушки  $L$  можно изменять в любых пределах  $0 \leq L \leq \infty$ . Первый считает, что величина  $\theta$  не может превысить некоторого значения, а второй уверен в том, что величина  $\theta$  меняется неограниченно и достигает величины  $\theta = \infty$  при  $L = \infty$ .



Приведите свое мнение о том, кто из них прав, и обоснуйте его, определив пределы изменения величины  $\theta$ . Может ли  $\theta$  стать равной бесконечности или нулю, и если да, то при каком значении  $L$ ? Нарисуйте приблизительный график зависимости  $\theta$  от  $L$ .

### 3.20. Ответы на вопросы тестовых заданий

1.1. в	1.2. д	2.1. а	2.2. б	2.3. а	2.4. в	2.7. в
2.8. б	2.9. д	2.10. г	3.1. б	3.2. б	3.3. г	3.4. г
3.5. г	3.6. а	4.2. в	4.3. б	4.4. б	4.5. в	5.1. а-г
5.2.	5.3. б	5.5. 1а 2в 3г		5.6. в	6.1. е	6.2. в
6.3. б	6.4. б	6.6. в	6.7. а	6.9. а	6.10. а	7.1. г
7.4. б	7.5. в	7.7. б	7.8. а	7.9. а	7.10. г	7.12. г
7.13. б	7.15. в	7.17. в	8.2. е	8.3. г	8.5. б	9.1. г
9.2. в	9.3. а	9.4. в	9.5. а	9.7. б	9.8. б	10.2. г
10.3. г	10.5. г	10.6. в	11.1. б	11.4. в	11.5. а	11.7. в
11.8. б	11.9. б	11.11. д	12.1. б	12.2. а	12.4. в	12.5. г
12.7. в	13.1. б	13.3. в	13.4. б	13.5. а	13.7. а	14.4. е
14.5. в	14.7. в	14.8. б	14.9. в	14.10..в	14.11. г	14.12. г
14.13.б	14.14. д	14.16. в	15.2. б	15.4. д	15.7. а	16.1. д
16.2. в	16.4. а	16.5. г	16.7. д	17.1. а	17.2. г	17.3. в
17.4. б	17.5. в	17.6. г	17.7. а	17.8. б	17.9. д	17.10. е
18.1. в	18.2. а	18.4. а	18.6. а	18.7. г	18.9. а	18.10. в

19.4.	$\vec{E} = -\beta(\vec{i}x + \vec{j}y) / \sqrt{x^2 + y^2}$ , линии $\vec{E}$ направлены к точке 0
19.5.	парабола $y = (3x^2 - 1)/2$
19.7.	$\varphi = E_0(3x - 4y)/5 + \text{const}$
19.8.	$\varphi(z) = \varphi_0 - \sigma z / (2\varepsilon_0\varepsilon)$
19.10.	$W = 2\pi\sigma^2 r_1^3(r_2 - r_1) / (\varepsilon_0\varepsilon r_2)$
19.11.	можно, $\varepsilon = q / (q - \Delta q)$
19.13.	тепловая мощность не меняется, если $r = \sqrt{2}R$
19.16.	может, если $b > 2a$
19.17.	может, если $r > 4mv / (\mu_0 qi)$ ; $\Delta t = 4\pi m / (\mu_0 qi)$
19.18.	$F_1 / F_2 = 1 / (1 - \varepsilon_0\mu_0 v^2)$
19.21.	$E = \Phi_0 \exp(-\alpha t) / (2\pi\alpha r)$ , по часовой стрелке
19.22.	$B \geq \sqrt{mgR / v_0 l^2}$
19.24.	может; $L = 2CR^2/3$
19.25.	$\omega_{\max} = 1/RC$
19.26.	оба не правы; $0 \leq \theta \leq \infty$ при $R = 2\sqrt{L/C}$ (при $\beta = \omega_0$ )