

Вихревое электрическое поле

ЗАДАЧА 1. В цилиндрическом сердечнике радиусом R создано однородное магнитное поле, направленное вдоль оси цилиндра. Индукция магнитного поля изменяется со временем по закону $B = \alpha t$. Найдите напряжённость вихревого электрического поля на расстоянии r от оси цилиндра.

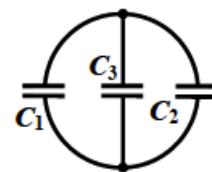
$$\frac{d\vec{z}}{dt} = E, \text{ то } R, \text{ то } r < R \text{ и } \frac{d\vec{z}}{dt} = E, \text{ то } r \geq R$$

Цепь с конденсатором

ЗАДАЧА 2. Катушка с площадью сечения S и числом витков N помещена в однородное магнитное поле, линии которого параллельны оси катушки. К выводам катушки подключён конденсатор ёмкостью C . Индукция магнитного поля линейно убывает со временем: $B = B_0 - \alpha t$, где B_0 и α — заданные константы. Определите заряд конденсатора.

$$NS^2C = b$$

ЗАДАЧА 3. («Покори Воробьёвы горы!», 2017, 10–11) Три конденсатора с ёмкостями $C_1 = 1$ мкФ, $C_2 = 2$ мкФ, $C_3 = 1$ мкФ соединены в контур в виде окружности с перемычкой по диаметру. Контур помещён в переменное магнитное поле, скорость изменения потока через контур постоянна и составляет $f = 10$ Вб/с. Какой заряд образуется при этом на обкладках конденсатора C_3 ?



$$\frac{(\epsilon_3 C_3 + \epsilon_2 C_2 + \epsilon_1 C_1) f}{|\epsilon_1 C_1 - \epsilon_2 C_2 + \epsilon_3 C_3|} = \epsilon b$$

Индукционный ток

ЗАДАЧА 4. Проволочное кольцо радиусом r находится в однородном магнитном поле, линии которого перпендикулярны плоскости кольца. Индукция магнитного поля возрастает со временем t линейно: $B = \alpha t$, где α — заданная константа. Найдите силу индукционного тока в кольце. Сопротивление единицы длины проволоки равно ρ .

$$\frac{d\vec{z}}{dt} = I$$

ЗАДАЧА 5. Проволочный виток сопротивлением R находится вблизи магнита. Магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром, равен Φ . Магнит убирают. Найдите заряд, который прошёл по витку.

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

ЗАДАЧА 6. (МФТИ, 1995) На гладкой горизонтальной поверхности расположено тонкое проволочное кольцо радиуса r . Кольцо находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 , направленной перпендикулярно плоскости кольца. Индукция внешнего магнитного поля стала уменьшаться со временем t по закону $B(t) = B_0 - At$, где A — константа.

- 1) Найти ток в кольце.
- 2) Чему равна максимальная сила натяжения проволоки кольца, обусловленная взаимодействием тока в кольце и внешнего магнитного поля?

Сопротивление проволоки кольца равно R . Самоиндукцией кольца пренебречь.

$$\oint \vec{v} \cdot \vec{E} = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

ЗАДАЧА 7. (Эффективное значение тока) Проволочный виток, охватывающий площадь S , находится в однородном магнитном поле, линии которого перпендикулярны плоскости витка. Индукция магнитного поля меняется со временем t по закону: $B = B_0 \cos \omega t$, где B_0 и ω — заданные константы. Сопротивление витка равно R , его индуктивность пренебрежимо мала.

1) Чему равно среднее значение силы индукционного тока в витке (за достаточно большой промежуток времени)?

2) Чему равна средняя тепловая мощность W , выделяющаяся в витке?

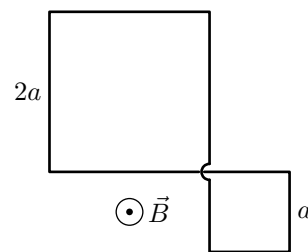
3) Чему равно эффективное значение силы тока в витке?

Примечание. Эффективным значением переменного тока называется сила такого постоянного тока, при котором в витке выделяется та же мощность W . Например, амперметр переменного тока, включённый в виток, покажет именно эффективное значение, поскольку принцип действия такого амперметра основан на тепловом действии тока.

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(B_0 \cos \omega t)}{dt} = -\omega B_0 \sin \omega t \quad (1)$$

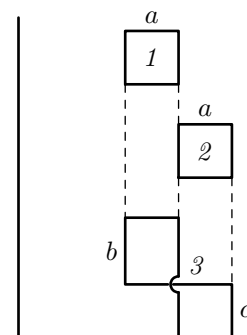
Комбинированные контуры в переменном магнитном поле

ЗАДАЧА 8. Плоский контур выполнен из одного куска проволоки и имеет вид двух квадратов «с перехлёстом» (см. рисунок). Стороны квадратов равны a и $2a$. Контур находится в однородном магнитном поле, линии которого перпендикулярны плоскости контура. Индукция магнитного поля возрастает со временем t по закону $B = \beta t$, где β — заданная константа. Найдите силу индукционного тока в контуре. Сопротивление единицы длины провода равно ρ .



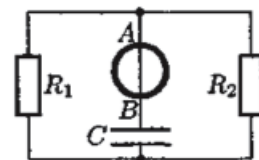
$$\frac{d\Phi}{dt} = I$$

ЗАДАЧА 9. (МФТИ, 1994) По длинному прямолинейному проводу течёт переменный ток. В плоскости, проходящей через провод, расположены три проволочных контура, изготовленные из одного куска провода (см. рисунок). Контур 1 и 2 являются квадратами с длиной сторон a , третий контур состоит из двух прямоугольников со сторонами a , b и a , c . В некоторый момент времени токи в контурах 1 и 2 равны соответственно I_1 и I_2 . Чему равен в этот момент ток в контуре 3? Штриховые линии на рисунке параллельны проводу.



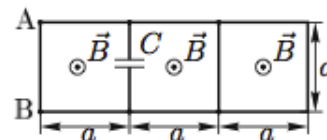
$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = \epsilon I$$

ЗАДАЧА 10. (Всеросс., 2006, ОЭ, 11) Электрическая цепь состоит из двух резисторов сопротивлениями R_1 и R_2 и конденсатора ёмкостью C (рис.). Участок AB провода проходит вдоль диаметра одного из витков длинного соленоида, сила тока в котором линейно растёт со временем. Найдите заряд q конденсатора в установившемся режиме, если ток в резисторе R_1 при этом равен I_1 .



$$|\varepsilon_{\text{И}} - \varepsilon_{\text{У}}| \cdot I_{\text{О}} \frac{\xi}{\Gamma} = b$$

ЗАДАЧА 11. (Всеросс., 2013, финал, 11) Из одного куска проволоки спаяна плоская фигура (рис.), состоящая из трёх квадратов со стороной a . В один из отрезков проволоки впаян небольшой по размерам конденсатор ёмкости C . Конструкция находится в однородном магнитном поле \vec{B} , которое перпендикулярно плоскости фигуры и увеличивается с постоянной скоростью $dB/dt = k > 0$. Сопротивление куска проволоки длины a равно r . Для установившегося режима определите:

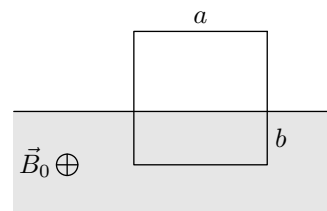


- 1) силу и направление тока в отрезке AB ;
- 2) заряд на конденсаторе Q и знак зарядов на обкладках;
- 3) количество теплоты W , выделяющееся в цепи за время τ .

$$\frac{I}{I} = \frac{I}{I} = I$$

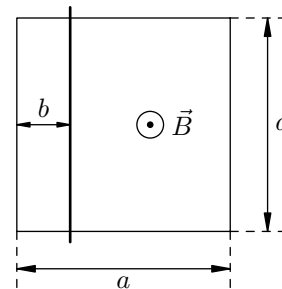
Электромагнитный разгон

ЗАДАЧА 12. (МФТИ, 1997) Проволочный контур в виде квадрата со стороной, равной a , и общим сопротивлением контура R расположен на гладкой горизонтальной поверхности (см. рисунок). Часть контура находится в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B}_0 , перпендикулярной плоскости контура. Контур неподвижен и входит в область однородного магнитного поля на глубину b . После выключения магнитного поля контур приобретает некоторый импульс. Определить величину и направление этого импульса, полагая, что за время спада индукции магнитного поля смещение контура пренебрежимо мало. Самоиндукцией контура пренебречь.



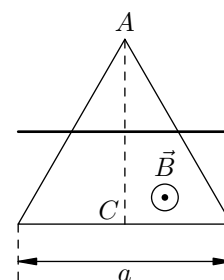
$$\frac{0}{\xi} \frac{H \xi}{I \tau} = d$$

Задача 13. (МФТИ, 2001) На горизонтальной поверхности стола закреплена тонкая неподвижная проводящая квадратная рамка со стороной a . На рамке симметрично лежит стержень параллельно боковым сторонам рамки на расстоянии $b = a/4$ (см. рисунок). Рамка и стержень изготовлены из одного куска провода, омическое сопротивление единицы длины которого равно ρ . В некоторый момент включается однородное магнитное поле, вектор индукции которого перпендикулярен плоскости рамки. Какую скорость приобретёт стержень за время установления магнитного поля, если установившееся значение индукции равно B_0 ? Смещением стержня за время установления магнитного поля пренебречь. Трение не учитывать. Масса стержня M .



$$\frac{N^d \mathcal{E}}{\mathcal{E} \wedge \mathcal{E} \tau^p} = a$$

Задача 14. (МФТИ, 2001) На горизонтальной поверхности стола закреплена тонкая проводящая рамка в виде равностороннего треугольника со стороной a . На рамке лежит стержень, который параллелен основанию треугольника, а середина стержня находится на середине высоты AC (см. рисунок). Рамка и стержень изготовлены из одного куска провода, омическое сопротивление единицы длины которого равно ρ . В некоторый момент включается однородное магнитное поле, вектор индукции которого перпендикулярен плоскости рамки. Какую скорость приобретает стержень за время установления магнитного поля, если установившееся значение индукции равно B_0 ? Смещением стержня за время установления магнитного поля пренебречь. Трение не учитывать. Масса стержня M .



$$\frac{N^d \mathcal{E} \mathbb{1}}{\mathcal{E} \wedge \mathcal{E} \tau^p} = a$$

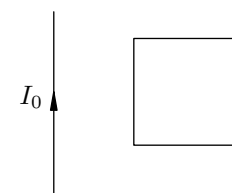
Задача 15. (МФТИ, 1993) Прямоугольная проволочная рамка со сторонами a и b ($b = 3a$) находится вблизи длинного прямого провода с током (см. рисунок). При выключении тока рамка приобретает импульс p_0 . Какой импульс получила бы рамка, если бы она была квадратной со сторонами, равными a ? Самоиндукцией рамки пренебречь.

$${}^0 d \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}} = d$$



Задача 16. (МФТИ, 1993) Квадратная проволочная рамка с диаметром проволоки d_0 находится вблизи длинного прямого провода с током I_0 (см. рисунок). При выключении тока рамка приобретает импульс p_0 . Какой импульс получила бы рамка, если бы начальный ток в проводе был $I = 3I_0$, а диаметр проволоки рамки $d = 2d_0$? Самоиндукцией рамки пренебречь.

$${}^0 d g \mathcal{E} = d$$



ЗАДАЧА 17. (МФТИ, 1995) На гладкой горизонтальной поверхности расположено тонкое непроводящее кольцо массой m , вдоль которого равномерно распределён заряд Q . Кольцо находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 , направленной перпендикулярно плоскости кольца. Внешнее магнитное поле выключают.

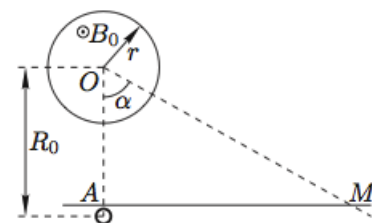
- 1) По какой причине (указать механизм) кольцо начнёт вращаться?
- 2) Найти угловую скорость вращения кольца после выключения магнитного поля.

$$\frac{m\omega}{B_0 Q} = \alpha \quad (2)$$

ЗАДАЧА 18. (Всеросс., 1996, ОЭ, 11) По поверхности однородного диэлектрического диска равномерно распределён заряд Q . Диск помещён во внешнее однородное магнитное поле индукции \vec{B} , направленной перпендикулярно плоскости диска. Масса диска равна M , и он может свободно вращаться вокруг неподвижной оси, проходящей через его центр перпендикулярно плоскости диска. С какой угловой скоростью ω будет вращаться первоначально неподвижный диск, если внешнее магнитное поле выключить?

$$\frac{M\omega}{B_0 Q} = \alpha$$

ЗАДАЧА 19. (Всеросс., 2007, ОЭ, 11) В длинном соленоиде радиусом r создано однородное магнитное поле с индукцией B_0 , направленной вдоль оси O цилиндра (рис.). На расстоянии R_0 от оси, перпендикулярно оси, укреплена прямолинейная трубка AM из диэлектрика. Угол AOM равен $\alpha = \pi/3$. Длина трубки значительно меньше длины соленоида. Внутри трубки в точке A находится небольшой шарик массой m с положительным зарядом q . Найдите скорость шарика в момент вылета из трубки в следующих случаях.



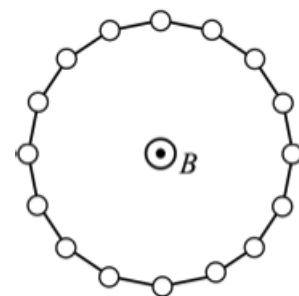
1) Магнитное поле исчезает за малое время, в течение которого шарик смещается на расстояние, значительно меньшее R_0 .

2) Индукция магнитного поля уменьшается с постоянной скоростью $dB/dt = -k < 0$ в течение всего времени движения шарика по трубке.

Трением и электромагнитным действием трубки на шарик пренебречь.

$$\frac{m\omega}{B_0 Q} \sqrt{\frac{3}{2} \frac{R_0}{r}} = \alpha \quad (1)$$

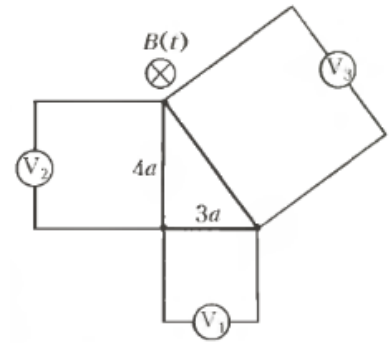
ЗАДАЧА 20. (МОШ, 2010, 11) На гладкой горизонтальной плоскости лежат N маленьких одинаково заряженных шариков равной массы (см. рисунок). Шарик связаны друг с другом непроводящей лёгкой нерастяжимой нитью, образуя кольцо. Длина нити между двумя соседними шариками равна l . Система находится в вертикальном магнитном поле B , причем суммарный поток магнитной индукции, пронизывающий кольцо, равен Φ_0 . Изначально все шарики покоятся. В некоторый момент магнитное поле выключают. Найдите изменение ΔF силы натяжения нити после выключения поля.



$$\frac{N}{x} \frac{\Delta F}{\Phi_0} = \alpha$$

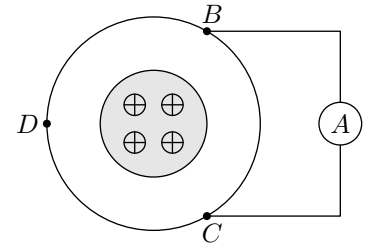
Что покажет вольтметр?

Задача 21. (Всеросс., 2004, ОЭ, 11) Из одного куска нихромовой проволоки спаяли прямоугольный треугольник с катетами длиной $3a$ и $4a$. К трём сторонам проволоочного треугольника подсоединили небольшие по размерам вольтметры так, что соединительные провода и стороны треугольника образуют квадраты (рис.). Вся конструкция находится в одной плоскости, перпендикулярно которой направлено однородное магнитное поле. Индукция поля изменяется со скоростью $\frac{\Delta B}{\Delta t} = k > 0$. Сопротивления вольтметров намного больше сопротивления сторон треугольника. Найдите показания вольтметров.



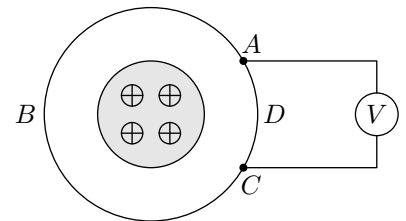
$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial \Phi}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial \Phi}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

Задача 22. (МФТИ, 2005) Проволочное кольцо DBC , сопротивление которого равно R , пронизывается магнитным потоком $\Phi = \Phi_0 \cos \omega t$, где t — время, Φ_0 и ω — заданные константы. Магнитное поле сосредоточено практически в узкой области (см. рисунок). Точки D , B и C этого кольца делят его на три равные части. Что покажет амперметр переменного тока с сопротивлением r , если его присоединить к точкам B и C ? Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.



$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial \Phi}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial \Phi}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

Задача 23. (МФТИ, 2005) Сопротивления участков ADC и CBA проволочного кольца равны R и $5R$ (см. рисунок). Кольцо пронизывается магнитным потоком $\Phi = \Phi_0 \cos \omega t$, где t — время, Φ_0 и ω — заданные константы. Магнитное поле полностью сосредоточено внутри кольца. Что покажет вольтметр переменного тока с сопротивлением $8R$, если его присоединить к точкам A и C ? Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.



$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial \Phi}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial \Phi}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

Задача 24. (МОШ, 2015, 11) Школьник Владислав проводит опыты с трансформатором и источником питания, который выдаёт переменное напряжение $U(t) = U_0 \cos \omega t$, где $U_0 = 12$ В. Трансформатор имеет две обмотки с двумя выводами у каждой. Число витков первой обмотки равно N , второй обмотки — $3N$. Переменные напряжения с какими амплитудами может получить Владислав с помощью данного оборудования? Для каждого значения амплитуды напряжения нарисуйте соответствующую схему соединений.

$$0, U_0, 3U_0, 4U_0, 4U_0/3, U_0/3, 4U_0/3, U_0/3, U_0/4, 3U_0/4, 3U_0/4, U_0/3, U_0/2, 3U_0/2$$

ЗАДАЧА 25. («Покори Воробьёвы горы!», 2017, 10–11) Проволочное металлическое кольцо площадью S помещено в магнитное поле, перпендикулярное плоскости кольца. Индукция магнитного поля увеличивается с постоянной скоростью $\frac{\Delta B}{\Delta t} = b = \text{const}$. Какое напряжение покажет идеальный вольтметр, подключённый к точкам кольца, угловой размер дуги между которыми равен 120° ?

0 — это авторский ответ!