Закон электромагнитной индукции Фарадея при изменении формы проводящего контура в постоянном магнитном поле.

Составитель:

Учитель физики
Жабрунова Е.В.

Задача 1.1.

Проволочный виток длиной l = 40 см, имеющий форму окружности, находится в однородном магнитном поле индукцией B = 32 мТл так, что вектор $\vec{B}$ нормален плоскости витка. Путем непрерывной деформации виток превратили в квадратную рамку. Какой заряд прошел по проволоке, если ее сопротивление R = 2 Ом?

Решение:

$\Delta q = I_i \cdot \Delta t$; $I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$; $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$; $\Delta\Phi = B\cdot\Delta S$; $\Delta S = \frac{l^2(\pi-4)}{16\pi}$

Ответ: $\Delta q = -\frac{Bl^2(\pi-4)}{16\pi R}$; $\Delta q = 4{,}4\cdot10^{-5}$ Кл.

Задача 1.2.

Кольцо радиусом r = 10 см из медной проволоки диаметром d = 1 мм помещено в однородное магнитное поле с индукцией B = 1 Тл так, что плоскость кольца перпендикулярна линиям индукционного магнитного поля. Кольцо преобразуют в квадрат. Какой электрический заряд пройдет по проводнику при этом?

Ответ:

$\Delta q = -\frac{\pi B r d^2(\pi-4)}{32\rho}$; Δq = 0,496 Кл.

Задача 2.1.

Кусок провода длиной l = 2 м складывают вдвое, и его концы замыкают. Затем провод растягивают в квадрат так, что плоскость квадрата перпендикулярна горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли $B_г = 2 \cdot 10^{-5}$ Тл. Какой заряд пройдет через контур, если его сопротивление R = 1 Ом?

Решение:

$\Delta S = S_2 - S_1$; $S_1 = 0$, $S_2 = \frac{l^2}{16}$.

Ответ: $\Delta q = \frac{Bl^2}{16R}$; $\Delta q = 5 \cdot 10^{-6}$ Кл.

Задача 2.2.

Замкнутый изолированный провод длиной l = 4 м расположен по периметру круглой горизонтальной площадки. Какой заряд q пройдет через провод, если его сложить вдвое? Сопротивление провода R = 2 Ом, вертикальная составляющая магнитного поля Земли B_z = 50 мкТл.

•

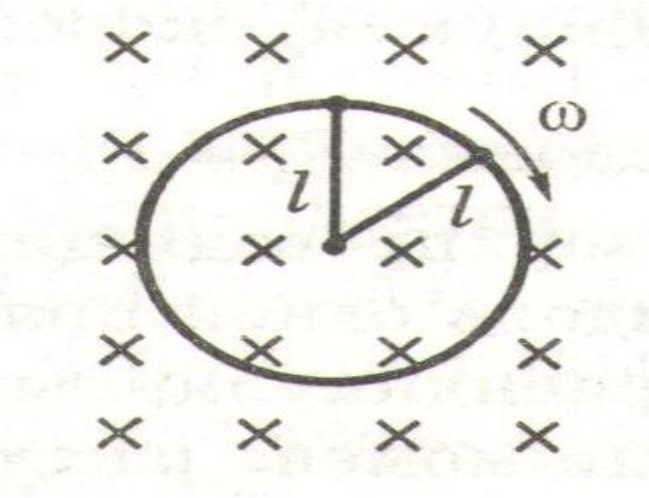
Ответ: $\Delta q = \frac{Bl^2}{4\pi R}$; $\Delta q = 32 \cdot 10^{-6}$ Кл.

Задача 3.

В однородное магнитное поле, индукция которого B, помещено металлическое кольцо радиусом l, причем его ось совпадает с направлением линий индукции поля. От центра к кольцу отходят два стержня, имеющие контакт между собой и с кольцом. Один стержень неподвижен, а другой равномерно вращается с угловой скоростью ω. Найти силу тока, идущего через стержни, если сопротивление каждого из них R (сопротивлением кольца пренебречь).

Решение:

Подвижный стержень делит кольцо на два контура. При вращении стержня изменяется магнитный поток через оба контура, причем, если в одном он уменьшается, то в другом увеличивается с одинаковой по модулю скоростью. В обоих контурах наводятся ЭДС индукции, равные по модулю и имеющие разные знаки по отношению к заданному направлению обхода:



- Решение:

$|\mathcal{E}_1| = |\mathcal{E}_2| = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{B\Delta S}{\Delta t}$,

но $\Delta S = ½\, \ell^2 \Delta\varphi$, откуда

$|\mathcal{E}_1| = |\mathcal{E}_2| = ½\, B\omega\ell^2 \quad (\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t})$.

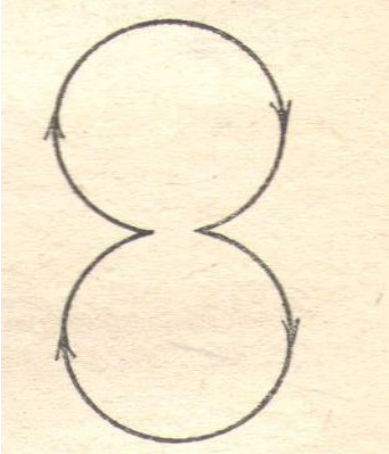
Для определения силы тока I, идущего по стержням, представим себе эквивалентную схему двух источников ЭДС, соединенных параллельно и замыкаемых сопротивлением 2R:

$I = \frac{\varepsilon_1}{2R} = \frac{\varepsilon_2}{2R}$.

- Ответ: $I = \frac{B\omega l^2}{4R}$

Задача 4.1.

Кольцевой виток радиуса r, сделанный из проволоки сопротивлением единицы длины ρ, находится в постоянном магнитном поле, индукция которого $\vec{B}$ перпендикулярна плоскости витка. Виток превратили в восьмерку, составленную из двух равных колец, не выводя при этом виток из его плоскости (см. рисунок). Какой заряд при этом пройдет по проволоке.



Ответ: $\Delta q = \frac{Br}{4\rho}$

Задача 4.2.

Кольцо радиусом r = 6 см из провода сопротивлением R = 0,2 Ом расположено перпендикулярно однородному магнитному полю с индукцией B = 20 мТл. Кольцо складывают так, что получаются два одинаковых кольца в виде восьмерки, лежащей в той же плоскости, что и кольцо. Какой электрический заряд пройдет по проводу при этом?

Ответ: возможны два случая:

а) $\Delta q_1 = \frac{B\pi r^2}{R}$; $\Delta q_1 = 1{,}13 \cdot 10^{-6}$ Кл.

б) $\Delta q_2 = \frac{B\pi r^2}{2R}$; $\Delta q_2 = 0{,}56 \cdot 10^{-6}$ Кл.

Задача 4.3.

При включении магнитного поля, перпендикулярного плоскости витка радиусом r, по витку прошёл заряд Q. Какой заряд пройдёт по витку, если его (при неизменном поле) сложить «восьмёркой», состоящей из двух окружностей, так, чтобы радиус меньшей окружности был равен r/4? Плоскость «восьмёрки» также перпендикулярна магнитному полю.

- Решение:

Вначале магнитное поле отсутствовало, следовательно установившийся магнитный поток при включении поля Φ_1 связан с прошедшим по витку зарядом

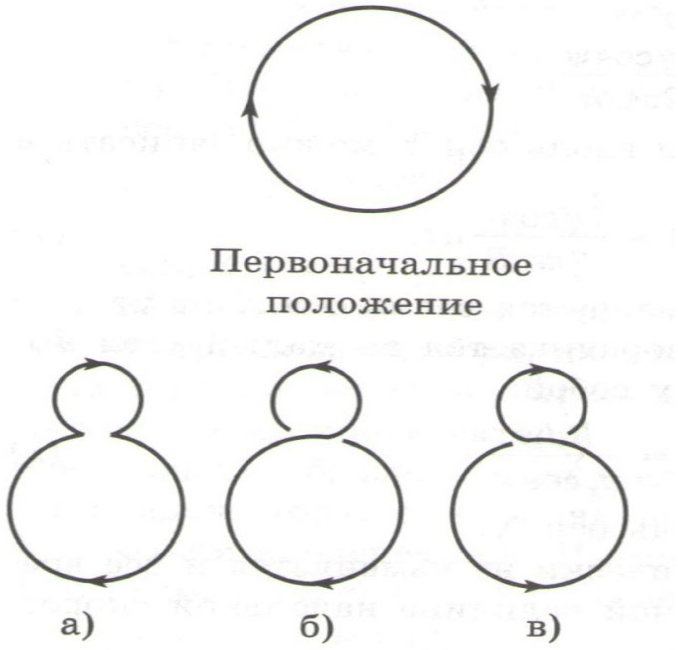
$Q = I_i \cdot \Delta t$; $I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$; $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$; $\Delta\Phi = \Phi_1 = B \cdot S_1$; $S_1 = \pi \cdot r^2$;

R – электрическое сопротивление витка;

$\Phi_1 = Q \cdot R = B\pi r^2$, $B = \frac{QR}{\pi r^2}$.

- Площади исходного и поученного контуров:

$S_1 = \pi \cdot r^2$, $S_2' = \frac{\pi r^2}{16}$, $S_2'' = \frac{9\pi r^2}{16}$



Решение:

Изменение потока при сложении витка «восьмёркой» зависит от того, каким из трех возможных способов получили «восьмёрку» (см. рисунок). Учитывая, что в перевернутых петлях потоку необходимо приписать противоположный знак, получаем для трёх случаев, следующие соотношения:

а) виток пережат

$$-\Delta\Phi_1 = \Phi_1 - (\Phi_2' + \Phi_2'') = \Phi_1 - \Phi_2' - \Phi_2'' = B(\pi\cdot r^2 - \frac{\pi r^2}{16} - \frac{9\pi r^2}{16}) = \frac{3QR}{8}$$

Ответ: $\Delta q_1 = \frac{\Delta\Phi_1}{R} = -\frac{3Q}{8}$

б) перевёрнута меньшая петля

$$-\Delta\Phi_2 = \Phi_1 - (-\Phi_2' + \Phi_2'') = \Phi_1 + \Phi_2' - \Phi_2'' = \frac{QR}{2}$$

Ответ: $\Delta q_2 = \frac{\Delta\Phi_2}{R} = -\frac{Q}{2}$

в) перевёрнута большая петля

$$-\Delta\Phi_3 = \Phi_1 - (\Phi_2' + (-\Phi_2'')) = \Phi_1 - \Phi_2' + \Phi_2'' = \frac{3QR}{2}$$

Ответ: $\Delta q_3 = \frac{\Delta\Phi_3}{R} = -\frac{3Q}{2}$

Знак «минус» во всех трех случаях показывает, что в неперевернутых частях витка направление прохождения заряда противоположно тому, в каком он проходил при включении магнитного поля.