

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:

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

$$\text{Ответ: } \Delta q = - \frac{Bl^2 (\pi - 4)}{16\pi R} ; \quad \Delta q = 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ Кл.}$$

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:

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

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 $B_{\text{г}} = 2 \cdot 10^{-5}$ Тл. Какой заряд пройдет через контур, если его сопротивление $R = 1$ Ом?

Решение:

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

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

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.

•

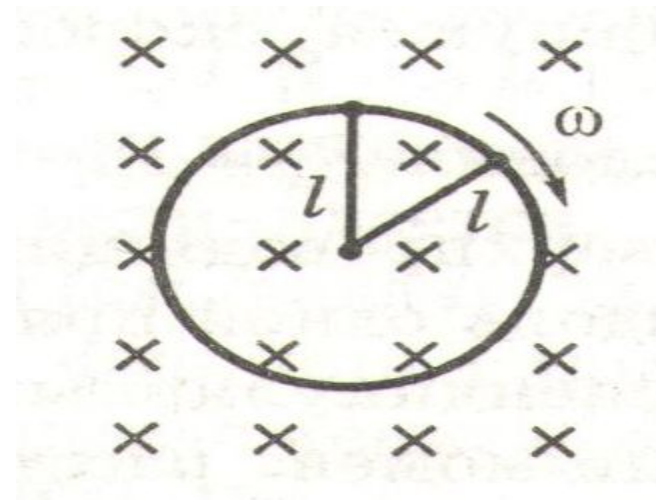
$$\text{Ответ: } \Delta q = \frac{Bl^2}{4\pi R}; \quad \Delta q = 32 \cdot 10^{-6} \text{ Кл.}$$

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 $\Delta S = \frac{1}{2} \ell^2 \Delta\varphi$, откуда

$$|\mathcal{E}_1| = |\mathcal{E}_2| = \frac{1}{2} B\omega\ell^2 \quad (\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}).$$

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

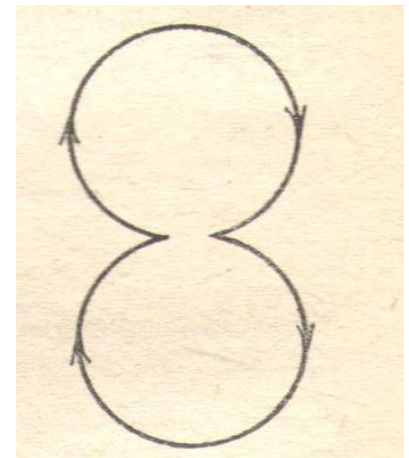
$$I = \frac{\mathcal{E}_1}{2R} = \frac{\mathcal{E}_2}{2R}.$$

•
Ответ: $I = \frac{B\omega\ell^2}{4R}$

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:

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

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

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

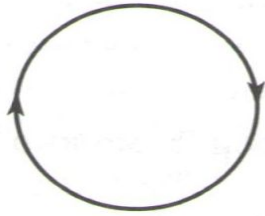
$$Q = I_i \cdot \Delta t ; \quad I_i = \frac{\varepsilon_i}{R} ; \quad \varepsilon_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} ; \quad \Delta\Phi = \Phi_1 = B \cdot S_1 ; \quad S_1 = \pi \cdot r^2 ;$$

R – электрическое сопротивление витка;

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

Площади исходного и полученного контуров:

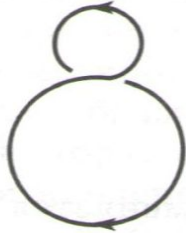
$$S_1 = \pi \cdot r^2 , \quad S_2' = \frac{\pi r^2}{16} , \quad S_2'' = \frac{9\pi r^2}{16}$$



Первоначальное
положение



а)



б)



в)

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.