

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Проволочная квадратная рамка со стороной 20 см и током 5 А помещена в однородное магнитное поле так, что её плоскость параллельна линиям магнитной индукции. Найти величину магнитной индукции, если со стороны магнитного поля на рамку действует момент сил 0,2 Н·м. Ответ дать в единицах СИ.

Дано:

$$a = 0,2 \text{ м}$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$$M = 0,2 \text{ Н·м}$$

Найти:

$$B = ?$$

Решение:

Запишем выражение для механического момента сил M , действующего на рамку с током I в магнитном поле: $M = IBS \cdot \sin \alpha$. Ориентация контура соответствует рисунку 3.3.1, б, откуда видно, что угол α между нормалью к контуру и вектором магнитной индукции прямой ($\sin \alpha = 1$). Площадь квадратной рамки равна $S = a^2$. Таким образом, для момента сил будем иметь следующее выражение $M = IBa^2$. Выражая индукцию магнитного поля $B = M/Ia^2$ и проводя расчёт, получим $B = 0,2/(5 \cdot 0,2^2) = 1 \text{ Тл}$.

Ответ: $B = 1 \text{ Тл}$.

2. Протон под действием однородного магнитного поля с индукцией 0,1 мТл равномерно вращается по окружности радиусом 5 см. Определить период вращения, считая удельный заряд протона равным 0,1 Кл/мкг. Ответ дать в миллисекундах.

Дано:

$$B = 10^{-4} \text{ Тл}$$

$$R = 0,05 \text{ м}$$

$$q/m = 10^8 \text{ Кл/кг}$$

Найти:

$$T = ? \text{ (мс)}$$

Решение:

Под действием силы Лоренца F_L протон совершает равномерное движение по окружности с

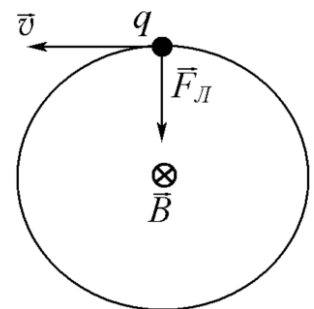


Рисунок – Движение протона в магнитном поле

центростремительным ускорением $a_{цс} = v^2/R$, где v линейная скорость частицы (рисунок). Это движение возникает тогда, когда заряженная частица влетает в магнитное поле перпендикулярно его силовым линиям. При этом сила Лоренца $F_L = qvB \sin \alpha$ становится максимальной ($\sin \alpha = 1$): $F_L = qvB$. Запишем второй закон Ньютона для вращающегося протона: $a_{цс} = F_L/m$. Приравнявая выражения для центростремительного ускорения, получим формулу для

радиуса окружности, по которой движется протон: $R = mv/qB$.
 Период вращения – это время, за которое протон, двигаясь равномерно, пройдёт полную окружность длины $2\pi R$, т.е. $T = 2\pi R/v$.
 В итоге, период $T = 2\pi mv/qBv = 2\pi m/qB$.

Проводя расчёты, получим:

$$T = 2 \cdot 3,14 / 10^8 \cdot 10^{-4} = 0,628 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 0,628 \text{ мс.}$$

Ответ: $T = 0,628 \text{ мс.}$

3. Протон движется равномерно и прямолинейно в пространстве, где существуют одновременно постоянные взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поля, перпендикулярно этим полям. Найти скорость протона, если напряжённость электрического поля равна 8 В/м, а индукция магнитного поля 40 мТл. Ответ дать в единицах СИ.

Дано:

$$E = 8 \text{ В/м}$$

$$B = 0,04 \text{ Тл}$$

Найти:

$$v = ?$$

Решение:

Геометрия задачи изображена на рисунке. На протон действуют две силы – сила $F_{\text{эл}}$ со стороны электрического

поля и сила Лоренца F_L со стороны магнитного поля. Из условия равномерного и прямолинейного движения протона (ускорение $a = 0$) по второму закону Ньютона следует, что равнодействующая приложенных к частице сил равна нулю, т.е. $F_{\text{эл}} = F_L$. Подставляя сюда выражения для сил $qE = qvB$, приходим к выражению для искомой скорости движения протона: $v = E/B$.

Вычислим:

$$v = 8/0,04 = 200 \text{ м/с.}$$

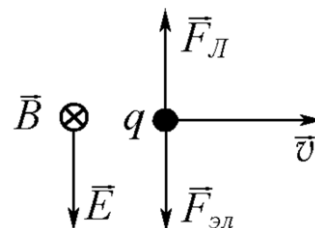


Рисунок – Движение протона в электрическом и магнитном полях

Ответ: $v = 200 \text{ м/с.}$

4. В вертикальном магнитном поле лежат горизонтальные рельсы на расстоянии 2 м друг от друга. Между рельсами приложено напряжение. Если на рельсы перпендикулярно им положить металлический стержень массой 0,5 кг, то по нему потечёт ток силой 50 А и он начнёт скользить по рельсам с ускорением 2 м/с^2 . Определить в СИ магнитную индукцию. Трением пренебречь.

Дано:

$$l = 2 \text{ м}$$

$$m = 0,5 \text{ кг}$$

$$I = 50 \text{ А}$$

$$a = 2 \text{ м/с}^2$$

Найти:

$$B = ?$$

Решение:

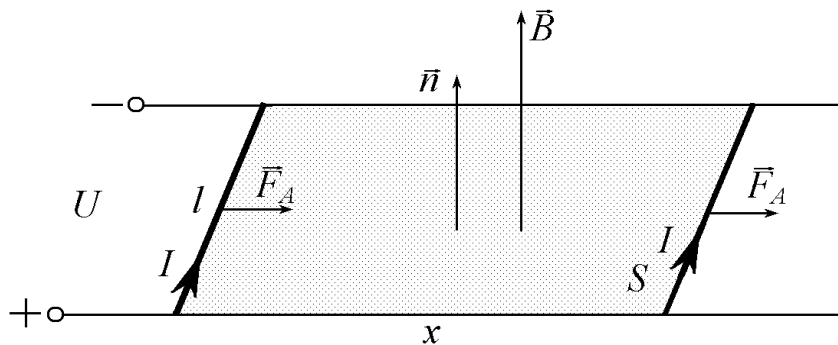


Рисунок – Движение проводника с током
в магнитном поле

На проводник с током I со стороны магнитного поля с индукцией B (рисунок) действует сила Ампера $F_A = IBl \sin \alpha$, которая в данном случае максимальна ($\sin \alpha = 1$): $F_A = IBl$.

Под действием этой силы проводник движется с ускорением (трения не по условию) согласно второму закону Ньютона:

$$a = F_A / m = IBl / m.$$

Отсюда выражаем магнитную индукцию $B = am / Il$.

После вычислений находим $B = 2 \cdot 0,5 / 50 \cdot 2 = 0,01 \text{ Тл}$.

Ответ: $B = 0,01 \text{ Тл}$.

5. Прямой проводник с током $0,2 \text{ А}$ помещён в однородное магнитное поле с индукцией $0,1 \text{ Тл}$. Длина проводника 5 см . Найти работу силы Ампера по перемещению проводника на 8 мм , если направления линий индукции, тока и перемещения взаимно перпендикулярны. Ответ дать в микроджоулях.

Дано:

$$I = 0,2 \text{ А}$$

$$B = 0,1 \text{ Тл}$$

$$l = 0,05 \text{ м}$$

$$x = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Найти:

$$A = ? (\text{мкДж})$$

Решение:

Геометрию задачи хорошо описывает рисунок из предыдущей задачи. Направление перемещения проводника с током совпадает с направлением действия силы Ампера, действующей на него со стороны магнитного поля. При этом сила Ампера совершает над проводником механическую работу

$$A = F_A \cdot x = IBl \cdot x.$$

Подставляя численные значения, получим:

$$A = 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,05 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 8 \text{ мкДж}.$$

Ответ: $A = 8 \text{ мкДж}$.

6. Определить среднее значение индукции магнитного поля внутри плоского контура площадью 30 м^2 при пропускании через

него тока 0,2 А. Индуктивность контура 0,3 Гн. Ответ дать в миллитеслах.

Дано:

$$S = 30 \text{ м}^2$$

$$I = 0,2 \text{ А}$$

$$L = 0,3 \text{ Гн}$$

Найти:

$$B = ? \text{ (мТл)}$$

Решение:

Ток I , протекающий по контуру, создаёт в пространстве неоднородное магнитное поле. Внутри витка заменим его однородным полем с некоторым средним значением магнитной индукции $B_{\text{ср}}$. Поскольку силовые линии магнитного поля, создаваемого контуром с током, проходят к его плоскости перпендикулярно, выражение для магнитного потока, пронизывающего контур $\Phi = B_{\text{ср}} S \cos \alpha$ принимает вид $\Phi = B_{\text{ср}} S$. С другой стороны, этот магнитный поток связан с силой тока в контуре через индуктивность контура: $\Phi = LI$. Приравнявая эти два выражения для магнитного потока и выражая магнитную индукцию, получим $B_{\text{ср}} = LI/S$.

Проведём расчёты: $B_{\text{ср}} = 0,3 \cdot 0,2 / 30 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} = 2 \text{ мТл}$.

Ответ: $B_{\text{ср}} = 2 \text{ мТл}$.

7. За 2 с индукция однородного магнитного поля равномерно изменилась от 0,3 Тл до 0,1 Тл. В результате этого в круговом витке, помещённом в магнитное поле, возникла ЭДС индукции 20 мВ. Найти площадь витка, если угол между вектором магнитной индукции и нормалью к плоскости витка равен 60° . Ответ дать в единицах СИ.

Дано:

$$\Delta t = 2 \text{ с}$$

$$B_1 = 0,3 \text{ Тл}$$

$$B_2 = 0,1 \text{ Тл}$$

$$\varepsilon = 0,02 \text{ В}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

Найти:

$$S = ?$$

Решение:

Запишем закон Фарадея для ЭДС индукции, возникающей в контуре: $\varepsilon = -\Delta\Phi/\Delta t$, где $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$. Величина начального магнитного потока сквозь замкнутый контур $\Phi_1 = B_1 S \cos \alpha$, для конечного потока: $\Phi_2 = B_2 S \cos \alpha$. Подставляя эти выражения в закон Фарадея, получим

$$\varepsilon = -(B_2 - B_1) S \cos \alpha / \Delta t = (B_1 - B_2) S \cos \alpha / \Delta t.$$

Выражая площадь витка и вычисляя, находим

$$S = \varepsilon \Delta t / (B_1 - B_2) \cos \alpha, \quad S = 0,02 \cdot 2 / (0,3 - 0,1) \cdot 0,5 = 0,4 \text{ м}^2.$$

Ответ: $S = 0,4 \text{ м}^2$.

8. Самолёт летит горизонтально со скоростью 900 км/ч. Размах крыльев самолёта 12 м. Вертикальная составляющая земного магнитного поля равна 50 мкТл. Найти разность

потенциалов, возникающую на концах крыльев самолёта. Ответ дать в единицах СИ.

Дано:

$$v = 250 \text{ м/с}$$

$$l = 12 \text{ м}$$

$$B = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$$

Найти:

$$|\varepsilon_i| = ?$$

Решение:

Физическую суть задачи иллюстрирует рисунок 3.3.2, где самолёт выступает в качестве проводника. Разность потенциалов, возникающая на концах крыльев самолёта, появляется в следствие явления электромагнитной индукции.

По закону Фарадея ЭДС индукции $\varepsilon_i = -\Delta\Phi/\Delta t$, где $\Delta\Phi$ – магнитный поток через площадь ΔS , пересечённую крыльями самолёта длины l при прохождении пути Δx за время Δt . Выражение для магнитного потока $\Delta\Phi = B\Delta S \cdot \cos\alpha = Bl\Delta x \cdot \cos\alpha$. Подставим его в закон Фарадея и учтём, что $\Delta x/\Delta t = v$ и $\alpha = 0^\circ$ ($\cos\alpha = 1$): $|\varepsilon_i| = Bl\Delta x \cdot \cos\alpha/\Delta t = Blv$.

$$\text{Вычислим: } |\varepsilon_i| = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 12 \cdot 250 = 0,15 \text{ В.}$$

$$\text{Ответ: } |\varepsilon_i| = 0,15 \text{ В.}$$

9. Катушка с током 2 А создаёт магнитное поле, поток индукции которого через поперечное сечение катушки равен 0,5 Вб. За время Δt ток в катушке равномерно уменьшается до 0,5 А. В катушке при этом возникает ЭДС индукции 3 В. Определить Δt . Ответ дать в единицах СИ.

Дано:

$$I_1 = 2 \text{ А}$$

$$\Phi_1 = 0,5 \text{ Вб}$$

$$I_2 = 0,5 \text{ А}$$

$$\varepsilon_{Si} = 3 \text{ В}$$

Найти:

$$\Delta t = ?$$

Решение:

Найти искомое время Δt можно из выражения для ЭДС самоиндукции: $\varepsilon_{Si} = -L\Delta I/\Delta t$, где приращение тока в катушке известно: $\Delta I = I_2 - I_1$. Неизвестную нам индуктивность, мы можем найти из выражения для магнитного потока $L = \Phi_1/I_1$. Выражая искомое время через ЭДС самоиндукции и подставляя приращение тока и индуктивность,

получим

$$\Delta t = -L\Delta I/\varepsilon_{Si} = -\Phi_1(I_2 - I_1)/I_1\varepsilon_{Si} = \Phi_1(I_1 - I_2)/I_1\varepsilon_{Si}.$$

$$\text{Вычисляя, получим } \Delta t = 0,5 \cdot (2 - 0,5)/2 \cdot 3 = 0,125 \text{ с.}$$

$$\text{Ответ: } \Delta t = 0,125 \text{ с.}$$

10. При уменьшении силы тока в проволочной катушке с 6 А до 4 А произошло уменьшение энергии магнитного поля на 2 Дж. Определить на сколько уменьшился магнитный поток, пронизывающий катушку. Ответ дать в единицах СИ.

Дано:

$$I_1 = 6 \text{ А}$$

$$I_2 = 4 \text{ А}$$

$$\Delta W_L = 2 \text{ Дж}$$

Найти:

$$\Delta \Phi = ?$$

Решение:

Запишем выражения для магнитного потока, пронизывающего катушку при двух значениях протекающего по ней тока: $\Phi_1 = LI_1$, $\Phi_2 = LI_2$. Взяв разность этих потоков, получим $\Delta \Phi = \Phi_1 - \Phi_2 = L(I_1 - I_2)$. Неизвестную нам индуктивность мы можем найти из выражения для изменения энергии

магнитного поля

$$\Delta W_L = W_{L1} - W_{L2} = L(I_1^2 - I_2^2)/2, L = 2\Delta W_L/(I_1^2 - I_2^2).$$

Подставим индуктивность в выражение для изменения магнитного потока:

$$\Delta \Phi = 2\Delta W_L(I_1 - I_2)/(I_1^2 - I_2^2) = 2\Delta W_L/(I_1 + I_2).$$

Подставляя численные значения, получим $\Delta \Phi = 2 \cdot 2 / (6 + 4) = 0,4 \text{ Вб}$.

Ответ: $\Delta \Phi = 0,4 \text{ Вб}$.