

VIII. Электромагнетизм

48.1. Два одинаковых круговых проволочных витка расположены в двух взаимно перпендикулярных плоскостях так, что центры витков совпадают. По виткам текут токи I_1 и I_2 . Как следует расположить третий виток того же радиуса и какой величины I_3 по нему пропустить ток, чтобы магнитное поле в общем центре трех витков было равно нулю? Все проводники изолированы друг от друга.

Указание: вектор индукции магнитного поля в центре кругового витка с током I перпендикулярен плоскости витка, а величина вектора индукции прямо пропорциональна величине тока.

48. Сила Ампера

48.2 Прямолинейный проводник длиной $l = 10$ см с током $I = 3$ А помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,2$ Тл. Направление тока составляет с линиями индукции магнитного поля угол $\alpha = 45^\circ$. Найдите величину F силы, с которой магнитное поле действует на проводник.

48.3 Контур в виде равностороннего треугольника, изготовленный из проволоки площадью поперечного сечения S и удельным сопротивлением ρ , помещен в однородное магнитное поле так, что вектор \vec{B} перпендикулярен плоскости контура. Двумя вершинами контур подключен к источнику постоянного напряжения U . Найдите величины токов, текущих по каждой стороне треугольника, если длина стороны L . Найдите величину F силы, действующей со стороны магнитного поля на контур с током.

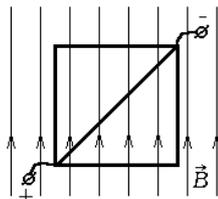
48.4 Квадратный контур, изготовленный из проволоки площадью поперечного сечения S и удельным сопротивлением ρ , помещен в однородное магнитное поле так, что вектор \vec{B} перпендикулярен плоскости контура. Серединами двух параллельных сторон контур подключен к источнику постоянного напряжения U . Найдите величины токов, текущих по каждой стороне квадрата, если длина стороны L . Найдите величину F силы, действующей со стороны магнитного поля на контур с током.

48.5 Квадратный контур, изготовленный из проволоки площадью поперечного сечения S и удельным сопротивлением ρ , помещен в однородное магнитное поле так, что вектор \vec{B} перпендикулярен плоскости контура. Двумя вершинами, расположенными на одной из сторон квадрата, контур подключен к источнику постоянного напряжения U . Найдите величины токов, текущих по каждой стороне квадрата, если длина стороны L . Найдите величину F силы, действующей со стороны магнитного поля на контур с током.

48.6 Контур в виде правильного шестиугольника, изготовленный из проволоки площадью поперечного сечения S и удельным сопротивлением ρ , помещен в однородное магнитное поле так, что вектор \vec{B} перпендикулярен плоскости контура. Двумя любыми ближайшими вершинами контур подключен к источнику постоянного напряжения U . Найдите величины токов, текущих по каждой стороне шестиугольника, если длина стороны L . Найдите величину F силы, действующей со стороны магнитного поля на контур с током.

48.7 Контур в виде правильного шестиугольника, изготовленный из проволоки площадью поперечного сечения S и удельным сопротивлением ρ , помещен в однородное магнитное поле так, что вектор \vec{B} перпендикулярен плоскости контура. Любыми двумя наиболее удаленными вершинами контур подключен к источнику постоянного напряжения U . Найдите величины токов, текущих по каждой стороне шестиугольника, если длина стороны L . Найдите величину F силы, действующей со стороны магнитного поля на контур с током.

48.8 Квадратный контур с диагональю, изготовленный из медной проволоки площадью поперечного сечения $S = 1 \text{ мм}^2$, подключен к источнику постоянного напряжения $U = 110 \text{ В}$, как показано на рисунке. Контур находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1 \text{ мТл}$. Линии индукции параллельны плоскости контура. Определите величину F силы, действующей на контур со стороны магнитного поля. Удельное сопротивление меди $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$.



48.9 В однородном магнитном поле через произвольные точки 1 и 2 проходит жесткий проволочный участок цепи, по которому течет постоянный ток. Докажите, что сила, с которой однородное магнитное поле действует на проволоку между точками 1 и 2, не зависит от формы проволоки.

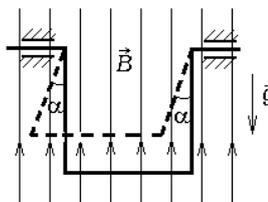
48.10 Прямой провод, по которому течет ток $I = 5$ А, расположен в однородном магнитном поле с индукцией $B = 2$ Тл так, что направление тока образует угол $\alpha = 30^\circ$ с линиями индукции. Под действием магнитного поля проводник переместился поступательно в направлении силы Ампера на $d = 0,5$ м, при этом силой Ампера совершена работа $A = 1$ Дж. Найдите длину l проводника.

48.11 Проводящий стержень длиной $l = 0,5$ м и сопротивлением $R = 0,025$ Ом перемещают поступательно с постоянной скоростью $v = 0,8$ м/с в однородном магнитном поле $B = 5 \cdot 10^{-3}$ Тл. Линии индукции перпендикулярны стержню. По стержню течет ток величиной $I = 4$ А. Скорость стержня сонаправлена с внешней силой и перпендикулярна стержню. Определите отношение мощности P_1 тепловых потерь в стержне к мощности P_2 внешней силы.

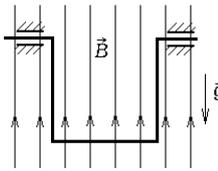
Момент сил Ампера

48.12 В однородном вертикальном магнитном поле величиной $B = 0,25$ Тл на двух тонких проволочках подвешен горизонтально линейный проводник массой $m = 10$ г и длиной $l = 20$ см. На какой угол α от вертикали отклоняются проволочки, поддерживающие проводник, если по нему течет ток величиной $I = 2$ А? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

48.13 Однородный медный провод площадью поперечного сечения S , согнутый в виде трех сторон квадрата, может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси (см. рис.). Провод находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого вертикальны. Когда по проводу течет ток I , плоскость квадрата отклоняется на угол α от вертикали. Определите индукцию B магнитного поля. Плотность меди ρ . Ускорение свободного падения g .



48.14 Однородный провод, согнутый в виде трех сторон квадрата, может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси (см. рис.). Провод находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого вертикальны. Если по проводу течет ток $I_1 = 1$ А, плоскость квадрата отклоняется от вертикали на угол $\alpha_1 = 30^\circ$. При какой величине I_2 тока в проводе угол отклонения увеличится до $\alpha_2 = 60^\circ$?



48.15 Найдите величину M момента сил, действующих на прямоугольную рамку с током I , погруженную в однородное магнитное поле \vec{B} . Длины сторон рамки a, b . Нормаль к плоскости рамки составляет угол α с направлением \vec{B} .

48.16 Проволочная рамка площадью $S = 25$ см², содержащая $N = 100$ витков, помещена в однородное магнитное поле так, что индукция \vec{B} параллельна плоскости рамки. При токе $I = 1$ А на рамку со стороны магнитного поля действует момент сил $M = 5 \cdot 10^{-3}$ Н·м. Определите величину B вектора индукции магнитного поля.

48.17 Рамка зеркального гальванометра состоит из $N = 300$ витков тонкой проволоки, каждый площадью $S = 1,5$ см². Рамка подвешена на нити, которая при повороте рамки на угол φ действует на нее упругими силами. Момент упругих сил пропорционален углу φ поворота и равен $M = f \cdot \varphi$, где $f = 0,98$ мкН·м/рад – модуль кручения проволоки. Рамка находится в магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл, направленном радиально к оси вращения рамки. Шкала гальванометра – линейка с миллиметровыми делениями, расположенная на расстоянии $L = 1$ м от зеркала, прикрепленного к рамке. При какой величине I тока в рамке гальванометра «зайчик» на шкале сместится на 1 деление?

48.18 Квадратная однородная рамка, по которой течет ток величиной I , подвешена за середину одной из сторон на непроводящей нити. Рамка находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого вертикальны. Найдите угол α отклонения плоскости рамки от вертикали, если длина стороны рамки l , величина индукции магнитного поля B , масса рамки m . Ускорение свободного падения g .

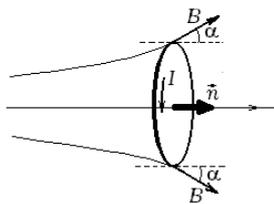
48.19 Квадратная однородная рамка лежит на горизонтальной непроводящей поверхности в однородном магнитном поле, линии индукции которого параллельны двум сторонам рамки. Масса рамки $m = 20$ г, длина стороны $a = 4$ см, величина магнитной индукции $B = 0,5$ Тл. Какой наименьшей величины I ток следует пропустить по рамке, чтобы она пришла во вращение вокруг одной из сторон? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

Растягивающе-сжимающее действие магнитного поля на рамку с током

48.20 По проволочному кольцу радиуса R течет ток величиной I . Кольцо находится в однородном магнитном поле с индукцией B . Линии индукции перпендикулярны плоскости кольца. Найдите величину T силы натяжения кольца.

Втягивающе-выталкивающее действие магнитного поля на рамку с током

48.21 Проволочное кольцо радиуса R находится в неоднородном осесимметричном магнитном поле, линии индукции которого составляют в точках кольца угол α с нормалью к плоскости кольца. Индукция магнитного поля в этих точках равна B . По кольцу течет ток величиной I (см. рис.). С какой силой \vec{F} магнитное поле действует на кольцо?



49. Сила Лоренца

49.1 Заряженная частица движется со скоростью $v = 0,6 \cdot 10^6$ м/с по окружности радиуса $R = 4$ см в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,31$ Тл. Кинетическая энергия частицы $K = 1,2 \cdot 10^{-15}$ Дж. Найдите заряд q частицы.

49.2 Заряженная частица, прошедшая ускоряющую разность потенциалов $\Delta\varphi = 2$ кВ, движется по окружности радиуса $R = 1$ см в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1,51 \cdot 10^{-2}$ Тл. Найдите величину $|q|/m$ удельного заряда частицы.

49.3 Два одинаково заряженных иона, ускоренных одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле. Первый ион движется по дуге окружности радиуса $R_1 = 5$ см, второй – по дуге окружности радиуса $R_2 = 2,5$ см. Найдите отношение m_1/m_2 масс ионов.

49.4 Протон и α -частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Сравните радиусы дуг окружностей, по которым движутся частицы, считая одинаковыми: а) скорости; б) энергии. Заряд α -частицы в 2 раза, а масса в 4 раза больше, чем заряд и масса протона.

49.5 Заряженная частица движется в однородном магнитном поле по дуге окружности радиуса $R_1 = 2$ см. После прохождения через свинцовую пластинку радиус кривизны траектории $R_2 = 1$ см. Определите относительное приращение δK энергии частицы.

49.6 Электроны в телевизионной трубке ускорены разностью потенциалов $\Delta\varphi = 12$ кВ. Трубка ориентирована так, что электроны движутся горизонтально с юга на север. Вертикальная составляющая земного магнитного поля направлена вниз и равна $B = 5,5 \cdot 10^{-5}$ Тл. В каком направлении и на сколько Δz отклоняются электроны, пролетев $L = 20$ см внутри телевизионной трубки? Масса электрона $m = 0,9 \cdot 10^{-30}$ кг, элементарный заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

49.7 Протон, ускоренный разностью потенциалов $|\Delta\varphi| = 500$ кВ, влетает в поперечное однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,51$ Тл, причем вектор \vec{V} перпендикулярен плоскости границы поля. Найдите угол α отклонения протона от первоначального направления движения, если толщина области поля $d = 10$ см. Масса протона $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, элементарный заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

49.8 Небольшое тело массой m и зарядом Q , прикрепленное к нити длиной l , движется по окружности в вертикальной плоскости. Однородное магнитное поле с индукцией \vec{B} перпендикулярно этой плоскости. При какой наименьшей величине V скорости в нижней точке, тело совершит полный оборот? Ускорение свободного падения g .

49.9 Начальные участки траекторий двух протонов, один из которых покоился, после соударения имеют радиусы кривизны r и R . Траек-

тории лежат в плоскости, перпендикулярной вектору \vec{B} индукции однородного магнитного поля. Найдите кинетическую энергию K протона перед соударением. Масса протона m , элементарный заряд e .

49.10 С помощью камеры Вильсона, помещенной в однородное магнитное поле с индукцией \vec{B} , наблюдают упругое рассеяние α -частиц на ядрах дейтерия. Найдите начальную энергию W α -частицы, если радиусы кривизны начальных участков траекторий ядра отдачи и рассеянной α -частицы оказались одинаковыми и равными r . Обе траектории лежат в плоскости, перпендикулярной линиям индукции магнитного поля. Масса ядра дейтерия $2m$, заряд ядра дейтерия e , масса α -частицы $4m$, заряд α -частицы $2e$ (здесь m - масса протона, e - элементарный заряд).

49.11 Электрон движется по окружности, в центре которой находится протон. На сколько Δn изменится частота обращения электрона по этой же орбите, если система будет помещена в слабое магнитное поле, вектор индукции \vec{B} которого перпендикулярен плоскости орбиты? Масса электрона m , элементарный заряд e .

49.12 Протон движется в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} , сонаправленной с осью Z . Векторы начальной скорости \vec{v}_0 и индукции \vec{B} образуют угол α . Найдите закон движения $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ протона. (Для этого перейдите в инерциальную систему отсчета, движущуюся вдоль оси Z со скоростью $v_0 \cos \alpha$, и докажите, что в этой системе отсчета протон равномерно движется по окружности. Найдите радиус R окружности и период T обращения протона.) Найдите шаг h и радиус ρ кривизны винтовой линии, по которой протон движется в лабораторной системе отсчета.

Движение в электрическом и магнитном полях

49.13 Электрон влетает со скоростью $v = 10^6$ м/с в совпадающие по направлению однородные электрическое и магнитное поля. Величина напряженности электрического поля $E = 100$ В/м, величина индукции магнитного поля $B = 10^{-4}$ Тл. Вектор скорости электрона перпендикулярен векторам \vec{E} и \vec{B} . Найдите величину a ускорения электрона в начальный момент. Масса электрона $m = 0,9 \cdot 10^{-30}$ кг, элементарный заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

49.14 В области пространства, где созданы однородные поля: магнитное $B = 0,3$ Тл и электрическое $E = 300$ кВ/м, равномерно и прямолинейно движется протон. Найдите скорость \vec{V} протона. Изобразите на рисунке взаимную ориентацию векторов \vec{E} , \vec{B} и \vec{V} .

49.15 Селектор скоростей заряженных частиц представляет собой устройство со взаимно перпендикулярными электрическим и магнитным полями. При некоторых величинах полей через селектор прямолинейно проходят электроны с кинетической энергией K_e . Найдите кинетическую энергию K_p протонов, которые движутся через селектор прямолинейно. Масса протона m_p , масса электрона m_e .

49.16 Плоский конденсатор, заряд которого Q , помещен в однородное магнитное поле \vec{B} так, что линии индукции перпендикулярны силовым линиям электрического поля конденсатора. В конденсатор влетает заряженная частица. При какой величине B индукции магнитного поля частица будет двигаться по прямой? Величина скорости частицы v , площадь каждой обкладки конденсатора S . Электрическая постоянная ϵ_0 .

49.17 Длинная тонкая незаряженная пластинка из немагнитного проводника движется с постоянной скоростью $v = 11,3$ м/с в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл. Вектор скорости \vec{v} и вектор магнитной индукции \vec{B} взаимно перпендикулярны и параллельны пластинке. Определите величину σ установившейся поверхностной плотности электрических зарядов на плоскостях пластинки. Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

49.18 Через плоский конденсатор, одна из обкладок которого заземлена, движутся электроны со скоростью \vec{v} . Конденсатор помещен в однородное магнитное поле так, что векторы \vec{B} и \vec{v} взаимно перпендикулярны и параллельны поверхности пластин. Найдите установившийся заряд Q конденсатора. Площадь каждой обкладки S . Электрическая постоянная ϵ_0 .

49.19 Протон движется по окружности радиуса $R = 8$ см в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,6$ Тл. Найдите величину E напряженности однородного электрического поля, которое следует включить, чтобы протон стал двигаться по прямой. Масса протона $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, элементарный заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

50. Закон электромагнитной индукции

50.1 Проволочный круговой виток радиуса $R = 1$ см согнули по диаметру под прямым углом и поместили в однородное магнитное поле так, что линия сгиба витка перпендикулярна линиям индукции. Найдите максимальный магнитный поток Φ через поверхность, опирающуюся на виток, если величина индукции магнитного поля $B = 0,1$ Тл.

50.2 Магнитный поток через поверхность, опирающуюся на проволочный виток сопротивлением $R = 3 \cdot 10^{-2}$ Ом, за $\Delta t = 2$ с равномерно увеличился на $\Delta\Phi = 1,2 \cdot 10^{-2}$ Вб. Найдите величину I индукционного тока в витке.

50.3 Магнитный поток через любую поверхность, опирающуюся на проволочное кольцо, равномерно возрастает со временем. Как зависит от времени величина индукционного тока в кольце? Рассмотрите два случая: сопротивление кольца конечное, кольцо в сверхпроводящем состоянии.

*Изменение магнитного потока,
обусловленное изменением индукции магнитного поля*

50.4 В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл расположен проволочный виток площадью $S = 50$ см². Нормаль к плоскости витка составляет с линиями индукции угол $\alpha = 60^\circ$. Найдите среднее значение $\langle \mathbf{E} \rangle$ ЭДС индукции в витке при выключении поля в течение $\tau = 0,02$ с.

50.5 Проволочная рамка площадью $S = 10^{-2}$ м² расположена в однородном магнитном поле так, что линии индукции перпендикулярны плоскости рамки. В некоторый момент времени магнитное поле выключают так, что за $\tau = 1$ мс поле убывает по линейному закону от величины $B_0 = 1$ Тл до нуля. Найдите ЭДС индукции \mathbf{E} в рамке.

50.6 Проволочная квадратная рамка со стороной $a = 50$ см помещена в однородное магнитное поле. Линии индукции перпендикулярны плоскости рамки. При равномерном уменьшении магнитного поля до нуля в течение $\tau = 0,01$ с в рамке возбуждается ЭДС индукции $\mathbf{E} = 50$ мВ. Определите величину B индукции магнитного поля.

50.7 Треугольный проволочный контур, длины сторон которого $l = 20$ см, помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B = 1$ Тл так, что нормаль к плоскости контура составляет с линиями индукции угол $\alpha = 60^\circ$. Начиная с некоторого момента, величина индукции магнитного поля равномерно уменьшается до нуля, при этом в контуре возбуждается ЭДС индукции $\mathcal{E} = 100$ В. Найдите время τ уменьшения индукции магнитного поля до нуля.

50.8 Из двух одинаковых кусков проволоки изготовлены два контура - круглый и квадратный. Оба контура расположены в одной плоскости и находятся в однородном магнитном поле, изменяющемся во времени. В круглом контуре индуцируется постоянный ток величиной $I_1 = 12,8$ А. Найдите величину I_2 тока в квадратном контуре.

50.9 Вектор индукции магнитного поля перпендикулярен плоскости проводящего кольца диаметром $d = 22$ см. Проекция вектора \vec{B} на нормаль к плоскости кольца изменяется равномерно от $B_{n1} = -0,4$ Тл до $B_{n2} = 0,55$ Тл за $\Delta t = 80 \cdot 10^{-3}$ с. Найдите величину $|\mathcal{E}|$ ЭДС индукции в кольце.

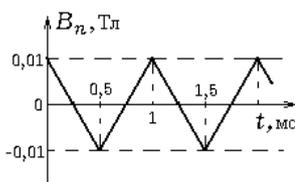
50.10 Проволочный виток площадью $S = 100$ см² разрезан в некоторой точке и в разрез включен конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ. Виток помещен в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости витка. Индукция магнитного поля равномерно возрастает со скоростью $\Delta B/\Delta t = 5 \cdot 10^{-3}$ Тл/с. Определите заряд Q конденсатора.

50.11 Кольцо диаметром $D = 20$ см, изготовленное из медной проволоки диаметром $d = 2$ мм, находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости кольца. С какой

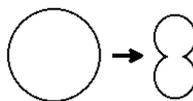
по величине $\left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|$ скоростью изменяется индукция, если индукционный ток в кольце $I = 10$ А? Удельное сопротивление меди $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

50.12 Проволочное кольцо диаметром $d = 10$ см и сопротивлением $R = 5$ Ом находится в переменном однородном магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости кольца. Магнитная индукция линейно растет от нуля до $B = 0,02$ Тл за время $\tau_1 = 15$ с и затем линейно уменьшается до нуля за время $\tau_2 = 20$ с. Какое количество Q тепла выделится в кольце за время $(\tau_1 + \tau_2)$?

50.13 Кольцо радиуса $R = 6$ см, изготовленное из медной проволоки диаметром $d = 0,5$ мм, помещено в однородное магнитное поле линии индукции которого перпендикулярны плоскости кольца. На графике представлена зависимость проекции магнитного поля \vec{B} на нормаль \vec{n} к плоскости кольца от времени. Постройте график зависимости тока I в кольце от времени. Удельное сопротивление меди $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.



50.14 Кольцевой проволочный виток находится в однородном переменном магнитном поле, индукция которого $\vec{B} = \vec{B}_0 \sin \omega t$ перпендикулярна плоскости витка. Виток, не выводя из плоскости, превратили в "восьмерку", составленную из двух равных колец. Во сколько раз изменилась амплитуда тока в витке?



50.15 Проволочный виток в виде кольца состоит из двух половин длины L каждая с равными площадями S поперечного сечения и удельными сопротивлениями ρ_1 и ρ_2 соответственно. Виток помещен в зависящее от времени однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости витка. Найдите мгновенные мощности P_1 и P_2 тепловых потерь в каждом проводнике, если известно, что индукция магнитного поля изменяется во времени по закону $\vec{B}(t) = \vec{B}_0(1 + \cos \omega t)$, где \vec{B}_0 и ω - постоянные.

50.16 Короткозамкнутая катушка сопротивлением $R = 100$ Ом, состоящая из $N = 1000$ витков площадью $S = 5$ см² каждый, внесена в однородное магнитное поле. Линии индукции параллельны оси катушки. В течение некоторого времени индукция магнитного поля уменьшилась по величине от $B_1 = 0,8$ Тл до $B_2 = 0,3$ Тл и не изменилась по направлению. Какой заряд Q прошел по катушке?

*Изменение магнитного потока
обусловленное изменением площади контура*

50.17 Площадь проводящего витка уменьшается с постоянной скоростью $|\Delta S/\Delta t| = 6,5 \cdot 10^{-2}$ м²/с. Виток находится в однородном магнитном

поле с индукцией $B = 0,4$ Тл. Линии индукции перпендикулярны плоскости витка. Определите величину $|\mathbf{E}|$ ЭДС индукции в витке.

50.18 Длины сторон квадратного проводящего витка увеличиваются со скоростью $\Delta a/\Delta t = 2$ см/с. Виток находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл. Линии индукции перпендикулярны плоскости витка. При $t = 0$ с длины сторон квадрата $a_0 = 10$ см. Найдите величину $|\mathbf{E}|$ ЭДС индукции в витке в момент $\tau = 2$ с.

50.19 Из куска тонкой проволоки сделано кольцо. При включении магнитного поля, линии индукции которого перпендикулярны плоскости кольца, по кольцу прошел заряд $Q_1 = 10^{-5}$ Кл. Какой заряд Q_2 пройдет по кольцу, если при включенном поле кольцо деформировать в квадрат, расположенный в той же плоскости?

50.20 Кусок провода длиной $l = 2$ м и сопротивлением $R = 1$ Ом складывают вдвое и концы замыкают. Затем провод растягивают в квадрат так, что плоскость квадрата перпендикулярна горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли $B = 2 \cdot 10^{-5}$ Тл. Какой заряд Q пройдет по проводу?

*Изменение магнитного потока,
обусловленное поворотом контура*

50.21 Проволочная рамка площадью $S = 400$ см², состоящая из $N = 100$ витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 10^{-2}$ Тл. Период вращения $T = 0,1$ с. Определите максимальную величину \mathbf{E}_m ЭДС индукции в рамке. Ось вращения перпендикулярна линиям индукции.

50.22 Прямоугольная проволочная рамка площадью $S = 20$ см², состоящая из $N = 1000$ витков, равномерно вращается с частотой $n = 50$ с⁻¹ в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл вокруг оси, совпадающей с одной из сторон рамки и перпендикулярной линиям индукции. Определите максимальную величину \mathbf{E}_m ЭДС индукции в рамке.

50.23 Сколько N витков проволоки содержит рамка площадью $S = 0,05$ м², если при вращении ее с частотой $n = 20$ с⁻¹ в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл максимальная величина ЭДС в рамке $\mathbf{E}_m = 63$ В? Ось вращения перпендикулярна линиям индукции.

50.24 Якорь генератора переменного напряжения имеет квадратную обмотку со стороной $a = 8$ см, содержащую $N = 100$ витков. С какой частотой n должен вращаться якорь генератора в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,35$ Тл, чтобы максимальная величина напряжения составляла $U_m = 12$ В?

50.25 Проволочная рамка вращается вокруг горизонтальной оси с угловой скоростью ω в зависящем от времени однородном вертикальном магнитном поле. Индукция магнитного поля зависит от времени по закону $\vec{B} = \vec{B}_0 \sin \omega t$. Найдите период T колебаний ЭДС индукции в рамке.

50.26 С какой по величине v скоростью должен ехать велосипедист, чтобы лампочка в фаре велосипеда, рассчитанная на действующее значение напряжения $U_0 = 2,5$ В, светила нормальным накалом при работе динамомашинки? Диаметр приводного колеса динамомашинки $d = 2$ см, число витков обмотки якоря $N = 2000$, площадь каждого витка $S = 5$ см², индукция однородного магнитного поля $B = 0,01$ Тл. Сопротивление обмотки пренебрежимо мало.

50.27 В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл расположен проволочный виток так, что линии индукции перпендикулярны плоскости витка. Виток замкнут на гальванометр. При повороте витка через гальванометр протек заряд $Q = 0,5 \cdot 10^{-2}$ Кл. На какой наименьший угол α повернули виток? Площадь витка $S = 10^3$ см², сопротивление витка $R = 3$ Ом. Ось вращения перпендикулярна линиям индукции.

Электромотор - динамомашинка

50.28 1) Какую максимальную мощность N_m может развить электромотор, включенный в сеть постоянного тока с напряжением $U = 120$ В, если полное сопротивление цепи $R = 20$ Ом? Какой ток I протекает при этом по цепи?

2) Допустим, что электромотор передает приводу мощность $N = 160$ Вт. Какую ЭДС \mathbf{E} разовьет этот мотор, если его использовать как динамомашину, якорь которой вращают с той же угловой скоростью, с которой он вращался, работая как двигатель?

51. ЭДС индукции в движущихся проводниках

51.1 Между рельсами железнодорожного пути включен вольтметр. Над ним с постоянной скоростью проходит поезд. Каковы будут показания вольтметра при приближении поезда, в момент нахождения поезда над вольтметром и при удалении поезда? Вертикальная составляющая магнитного поля Земли $B = 5 \cdot 10^{-5}$ Тл. Ширина колеи $L = 1,2$ м. Скорость поезда $V = 60$ км/ч.

51.2 Реактивный самолет с размахом крыла $L = 50$ м летит горизонтально со скоростью $V = 800$ км/ч. Определите разность $\Delta\phi$ потенциалов между концами крыла. Вертикальная составляющая вектора индукции магнитного поля Земли $B = 5 \cdot 10^{-5}$ Тл.

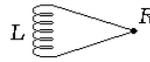
51.3 В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,4$ Тл вращается с частотой $n = 16$ с⁻¹ стержень длиной $L = 10$ см. Ось вращения параллельна линиям индукции, перпендикулярна стержню и проходит через один из его концов. Найдите разность $\Delta\phi$ потенциалов между концами стержня. Отношение величины заряда электрона к его массе $e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

51.4 Металлический стержень длиной $L = 60$ см вращается с частотой $n = 2$ с⁻¹ в однородном магнитном поле с индукцией $B = 6$ мТл. Найдите разность $\Delta\phi$ потенциалов между концами стержня. Ось вращения параллельна линиям индукции, перпендикулярна стержню и проходит через стержень на расстоянии $L/3$ от одного из его концов. Отношение величины заряда электрона к его массе $e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

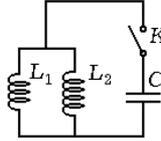
51.5 Металлический диск радиусом $r = 10$ см вращается вокруг оси, проходящей через его центр, с частотой $n = 100$ с⁻¹. Диск расположен в однородном магнитном поле $B = 1$ Тл. Линии индукции перпендикулярны плоскости диска. Два скользящих контакта (один на оси диска, другой – на окружности) соединяют диск с нагрузкой, сопротивление которой $R = 5$ Ом. Найдите мощность P , рассеиваемую на нагрузке. Отношение величины заряда электрона к его массе $e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

52. Явление самоиндукции

52.1 Ток в короткозамкнутой сверхпроводящей катушке индуктивностью $L = 1$ Гн изменяется вследствие несовершенства контакта. Создаваемое этим током магнитное поле уменьшается на $|\delta B| = 2\%$ за $\tau = 1$ ч. Определите сопротивление R контакта.

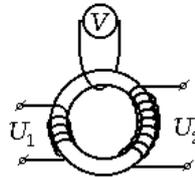


52.2 Заряженный конденсатор емкостью C может быть подключен через ключ K к двум параллельно соединенным катушкам индуктивностями L_1 и L_2 . В начальный момент ключ разомкнут. После замыкания ключа максимальная величина тока в катушке 1 равна I_1 . Найдите начальный заряд q_0 конденсатора. Сопротивление проводов и катушек пренебрежимо мало.



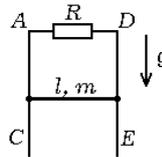
52.3 Кольцо из сверхпроводника помещено в однородное магнитное поле, индукция которого нарастает от 0 до B_0 . Линии индукции перпендикулярны плоскости кольца. Определите величину I установившегося индукционного тока в кольце. Радиус кольца r , индуктивность L .

52.4 Трансформатор, повышающий напряжение с $U_1 = 100$ В до $U_2 = 3,3$ кВ, имеет замкнутый сердечник в виде кольца. Через кольцо пропущен провод, концы которого присоединены к вольтметру. Вольтметр показывает $U = 0,5$ В. Сколько витков N_1 и N_2 имеют обмотки трансформатора?

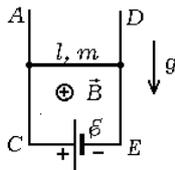


53. Комбинированные задачи

53.1 По двум вертикальным проводам AC и DE , соединенным сопротивлением R , движется без трения и без нарушения электрического контакта проводник длиной l и массой m . Линии индукции однородного магнитного поля \vec{B} перпендикулярны плоскости, в которой расположены провода. Найдите величину v установившейся скорости движения проводника. Ускорение свободного падения g .

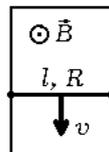


53.2 Вертикальные провода AC и DE , скользящий по ним стержень и батарея с ЭДС \mathcal{E} составляют электрическую цепь. Линии индукции однородного магнитного поля \vec{B} перпендикулярны плоскости, в которой расположены провода. Длина стержня l , масса m , сопротивление R . Найдите величину V установившейся скорости, с которой поднимается стержень. Сопротивлением проводов, батареи, а также трением пренебречь. Ускорение свободного падения g .



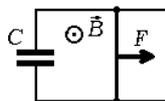
53.3 Стержень массой $m = 0,2$ кг лежит на горизонтальных рельсах. Расстояние между рельсами $l = 40$ см равно длине стержня. Вектор индукции однородного магнитного поля величиной $B = 50$ мТл направлен вертикально вверх. Коэффициент трения скольжения стержня по рельсам $\mu = 0,1$. При какой минимальной величине I тока в стержне начинается перемещение стержня? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

53.4 Система проводников (см. рис.) находится в однородном магнитном поле \vec{B} , линии индукции которого вертикальны. Длина подвижного проводника l , сопротивление R . Какой величины F силу следует приложить к подвижному проводнику, чтобы перемещать его по гладким неподвижным проводникам равномерно со скоростью v ? Сопротивление неподвижной части контура пренебрежимо мало.



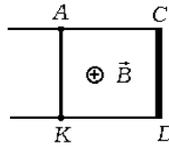
53.5 Прямой легкий проводящий стержень длиной $l = 10$ см помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B = 1$ Тл, причем вектор индукции перпендикулярен стержню. Концы стержня замкнуты гибким проводом, уходящим за пределы магнитного поля. Сопротивление цепи $R = 0,4$ Ом. Найдите мощность N силы, которую следует приложить к стержню для его поступательного равномерного движения со скоростью $v = 20$ м/с? Вектор скорости перпендикулярен стержню и вектору индукции.

53.6 По двум гладким металлическим параллельным рейкам, расположенным в горизонтальной плоскости и замкнутым на конденсатор емкостью C , может без трения двигаться однородный проводник массой m и длиной l . Вся система находится в однород-

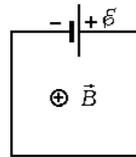


ном магнитном поле, индукция \vec{B} которого направлена вертикально вверх. К середине проводника приложена сила \vec{F} как показано на рисунке. Найдите величину a ускорения подвижного проводника. Электрическое сопротивление системы считайте пренебрежимо малым.

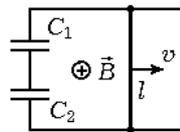
53.7 С какой постоянной по величине V скоростью следует перемещать медный стержень AK вдоль медных рельсов CA и DK , чтобы в течение $\tau = 1$ с температура стальной проволоки CD увеличилась на $\Delta T = 0,1$ К? Вся конструкция находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл. Линии индукции перпендикулярны плоскости, в которой расположены рельсы. Удельная теплоемкость железа $c = 0,46 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К). Плотность железа $\delta = 7,8 \cdot 10^3$ кг/м³, удельное сопротивление железа $\rho = 5,6 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. Сопротивление медных проводников считайте пренебрежимо малым.



53.8 Из провода длиной $l = 2$ м и сопротивлением $R = 4$ Ом изготовлен квадрат. В одну из сторон квадрата включен источник с ЭДС $\mathcal{E} = 10$ В. Цепь помещена в однородное магнитное поле, вектор индукции которого перпендикулярен плоскости квадрата и направлен за чертеж. Индукция магнитного поля возрастает со временем t по закону $B = K \cdot t$, где $K = 16$ Тл/с. Найдите величину I тока в цепи. Внутреннее сопротивление источника пренебрежимо мало.



53.9 По двум параллельным проводникам, расположенным на расстоянии $l = 0,5$ м, перемещают перемычку с постоянной скоростью $V = 10$ м/с. Отношение емкостей конденсаторов (см. рис.) $n = \frac{C_2}{C_1} = 1,5$. Вся система находится в однородном



магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости контура. Найдите величину B индукции магнитного поля, если на конденсаторе емкостью C_2 напряжение $U_2 = 0,5$ В. Сопротивление проводников пренебрежимо мало.