

## 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  $\rho$ , 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.

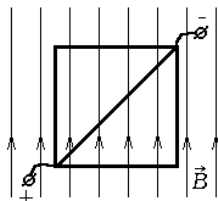
**48.4** Квадратный контур, изготовленный из проволоки площадью поперечного сечения  $S$  и удельным сопротивлением  $\rho$ , помещен в однородное магнитное поле так, что вектор  $\vec{B}$  перпендикулярен плоскости контура. Серединами двух параллельных сторон контур подключен к источнику постоянного 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  $\rho$ , 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  $\rho$ , 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  $\rho$ , 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.

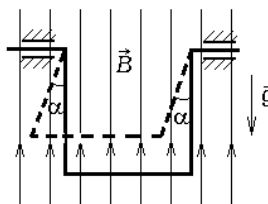
**48.10** Прямой провод, по которому течет ток  $I = 5$  А, расположен в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 2$  Тл так, что направление тока образует угол  $\alpha = 30^\circ$  с линиями индукции. Под действием магнитного поля проводник переместился поступательно в направлении силы Ампера на  $d = 0,5$  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.

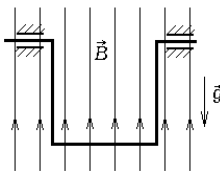
*Момент сил Ампера*

**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  $\alpha$  от вертикали отклоняются проволочки, поддерживающие проводник, если по нему течет ток величиной  $I = 2$  А? Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

**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  $\alpha$  от вертикали. Определите индукцию  $B$  магнитного поля. Плотность меди  $\rho$ . 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  $\alpha$  с направлением  $\vec{B}$ .

**48.16** Проволочная рамка площадью  $S = 25$  см<sup>2</sup>, 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  $S = 1,5$  см<sup>2</sup>. Рамка подвешена на нити, которая при повороте рамки на угол  $\varphi$  действует на нее упругими силами. Момент упругих сил пропорционален углу  $\varphi$  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  $\alpha$  отклонения плоскости рамки от вертикали, если длина стороны рамки  $l$ , величина индукции магнитного поля  $B$ , масса рамки  $m$ . Ускорение свободного падения  $g$ .

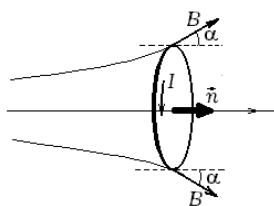
**48.19** Квадратная однородная рамка лежит на горизонтальной непроводящей поверхности в однородном магнитном поле, линии индукции которого параллельны двум сторонам рамки. Масса рамки  $m = 20$  г, длина стороны  $a = 4$  см, величина магнитной индукции  $B = 0,5$  Тл. Какой наименьшей величины  $I$  ток следует пропустить по рамке, чтобы она пришла во вращение вокруг одной из сторон? Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

*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  $\alpha$  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  $\alpha$ -частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Сравните радиусы дуг окружностей, по которым движутся частицы, считая одинаковыми: а) скорости; б) энергии. Заряд  $\alpha$ -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  $\delta K$  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  $\Delta z$  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  $\alpha$  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  $\alpha$ -частиц на ядрах дейтерия. Найдите начальную энергию  $W$   $\alpha$ -частицы, если радиусы кривизны начальных участков траекторий ядра отдачи и рассеянной  $\alpha$ -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  $\alpha$ -частицы  $4m$ , заряд  $\alpha$ -частицы  $2e$  (здесь  $m$  - масса протона,  $e$  - элементарный заряд).

**49.11** Электрон движется по окружности, в центре которой находится протон. На сколько  $\Delta n$  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  $\alpha$ . 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  $\rho$  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  $\epsilon_0$ .

**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  $\sigma$  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  $\epsilon_0$ .

**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  $\Phi$  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  $S = 50$  см<sup>2</sup>. 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  $S = 10^{-2}$  м<sup>2</sup> 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  $\mathbf{E} = 100$  В. Найдите время  $\tau$  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  $|\mathbf{E}|$  ЭДС индукции в кольце.

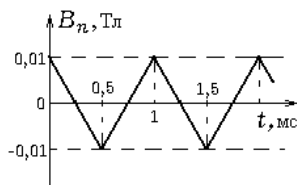
**50.10** Проволочный виток площадью  $S = 100$  см<sup>2</sup> разрезан в некоторой точке и в разрез включен конденсатор емкостью  $C = 10$  мкФ. Виток помещен в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости витка. Индукция магнитного поля равномерно возрастает со скоростью  $\Delta B/\Delta t = 5 \cdot 10^{-3}$  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.

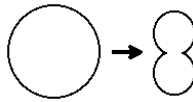
**50.12** Проволочное кольцо диаметром  $d = 10$  см и сопротивлением  $R = 5$  Ом находится в переменном однородном магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости кольца. Магнитная индукция линейно растет от нуля до  $B = 0,02$  Тл за время  $\tau_1 = 15$  с и затем линейно уменьшается 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  $\rho_1$  и  $\rho_2$  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  $\omega$  - постоянные.

**50.16** Короткозамкнутая катушка сопротивлением  $R = 100$  Ом, состоящая из  $N = 1000$  витков площадью  $S = 5$  см<sup>2</sup> 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  $|\Delta S/\Delta t| = 6,5 \cdot 10^{-2}$  м<sup>2</sup>/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  $S = 400$  см<sup>2</sup>, 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  $S = 20$  см<sup>2</sup>, состоящая из  $N = 1000$  витков, равномерно вращается с частотой  $n = 50$  с<sup>-1</sup> 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  $S = 0,05$  м<sup>2</sup>, если при вращении ее с частотой  $n = 20$  с<sup>-1</sup> 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  $\omega$  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, светилась нормальным накалом при работе динамомашинки? Диаметр приводного колеса динамомашинки  $d = 2$  см, число витков обмотки якоря  $N = 2000$ , площадь каждого витка  $S = 5$  см<sup>2</sup>, 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  $\alpha$  повернули виток? Площадь витка  $S = 10^3$  см<sup>2</sup>, 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.

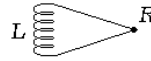
**51.3** В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,4$  Тл вращается с частотой  $n = 16$  с<sup>-1</sup> стержень длиной  $L = 10$  см. Ось вращения параллельна линиям индукции, перпендикулярна стержню и проходит через один из его концов. Найдите разность  $\Delta\phi$  потенциалов между концами 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<sup>-1</sup> 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.

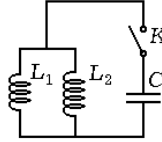
**51.5** Металлический диск радиусом  $r = 10$  см вращается вокруг оси, проходящей через его центр, с частотой  $n = 100$  с<sup>-1</sup>. Диск расположен в однородном магнитном поле  $B = 1$  Тл. Линии индукции перпендикулярны плоскости диска. Два скользящих контакта (один на оси диска, другой – на 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.

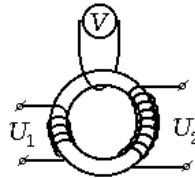


**52.2** Заряженный конденсатор емкостью  $C$  может быть подключен через ключ  $K$  к двум параллельно соединенным катушкам индуктивностями  $L_1$  и  $L_2$ . В начальный момент ключ разомкнут. После замыкания ключа максимальная величина тока в катушке 1 равна  $I_1$ . Найдите начальный заряд  $q_0$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



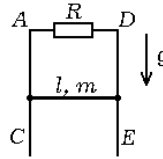
**52.3** Кольцо из сверхпроводника помещено в однородное магнитное поле, индукция которого нарастает от 0 до  $B_0$ . Линии индукции перпендикулярны плоскости кольца. Определите величину  $I$  установившегося индукционного тока в кольце. Радиус кольца  $r$ , индуктивность  $L$ .

**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?

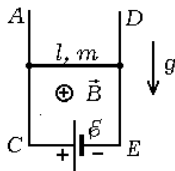


## 53. Комбинированные задачи

**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  $g$ .

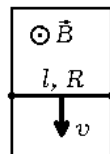


**53.2** Вертикальные провода  $AC$  и  $DE$ , скользящий по ним стержень и батарея с ЭДС  $\mathcal{E}$  составляют электрическую цепь. Линии индукции однородного магнитного поля  $\vec{B}$  перпендикулярны плоскости, в которой расположены провода. Длина стержня  $l$ , масса  $m$ , сопротивление  $R$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



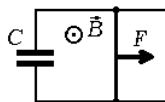
**53.3** Стержень массой  $m = 0,2$  кг лежит на горизонтальных рельсах. Расстояние между рельсами  $l = 40$  см равно длине стержня. Вектор индукции однородного магнитного поля величиной  $B = 50$  мТл направлен вертикально вверх. Коэффициент трения скольжения стержня по рельсам  $\mu = 0,1$ . При какой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

**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.

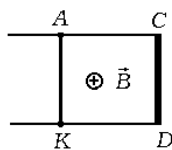
**53.6** По двум гладким металлическим параллельным рейкам, расположенным в горизонтальной плоскости и замкнутым на конденсатор емкостью  $C$ , может без трения двигаться однородный проводник массой  $m$  и длиной  $l$ . Вся система находится в однород-



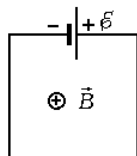


ном магнитном поле, индукция  $\vec{B}$  которого направлена вертикально вверх. К середине проводника приложена сила  $\vec{F}$  как показано на рисунке. Найдите величину  $a$  ускорения подвижного проводника. Электрическое сопротивление системы считайте пренебрежимо малым.

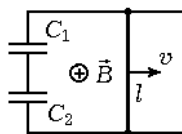
**53.7** С какой постоянной по величине  $V$  скоростью следует перемещать медный стержень  $AK$  вдоль медных рельсов  $CA$  и  $DK$ , чтобы в течение  $\tau = 1$  с температура стальной проволоки  $CD$  увеличилась на  $\Delta T = 0,1$  К? Вся конструкция находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 1$  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/м<sup>3</sup>, 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.