

Магнетизм

Магнитное поле — это форма материи, окружающей движущиеся электрические заряды. Магнитное поле окружает проводники с током.

Ниже приведены основные формулы магнетизма

Формулы индукции магнитного поля

$$211) B = \frac{M_{\max}}{I \cdot S}$$

$$212) B = \frac{F_{\max}}{I \cdot l}$$

Здесь B — индукция магнитного поля (Тл), M_{\max} — максимальный момент сил, вращающих контур с током в магнитном поле (Н · м), I — сила тока в контуре (А), S — площадь контура (м²), F_{\max} — максимальная сила Ампера, действующая на проводник с током в магнитном поле (Н), l — длина проводника в магнитном поле (м).

Формула силы Ампера

$$213) F_A = BI l \sin \alpha$$

Здесь F_A — сила Ампера, действующая на проводник с током в магнитном поле (Н), B — индукция магнитного поля (Тл), I — сила тока

в проводнике (А), l — длина проводника в магнитном поле (м), α — угол между направлением тока в проводнике и вектором магнитной индукции (рад).

Формула момента сил, вращающих контур с током в магнитном поле

$$214) M = BI S \sin \alpha$$

Здесь M — момент сил, вращающих контур с током в магнитном поле (Н · м), B — индукция магнитного поля (Тл), I — сила тока в контуре (А), S — площадь контура (м²), α — угол между нормалью к плоскости контура и вектором магнитной индукции (рад).

Формула силы Лоренца, действующей на заряд, движущийся в магнитном поле

$$215) F_{\text{л}} = Bqv \sin \alpha$$

Здесь $F_{\text{л}}$ — сила Лоренца, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле (Н), B — индукция магнитного поля (Тл), q — заряд (Кл), v — скорость заряда (м/с), α — угол между векторами магнитной индукции и скорости (рад).

Формула магнитного потока

$$216) \Phi = BS \cos \alpha$$

$$217) \Phi = LI$$

Здесь Φ — магнитный поток сквозь поверхность (Вб), S — площадь поверхности (м²), α — угол между нормалью к поверхности и вектором магнитной индукции (рад), L — индуктивность контура (Гн), I — сила тока в контуре (А).

Формула ЭДС электромагнитной индукции

$$218) \mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} N$$

$$219) \mathcal{E}_i = -\Phi' N$$

Здесь \mathcal{E}_i — ЭДС индукции в контуре (В), $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ — скорость изменения магнитного потока, пересекающего контур (Вб/с), N — число витков в контуре (безразмерное), Φ' — первая производная магнитного потока по времени (Вб/с).

Формула энергии магнитного поля

$$227) W_M = \frac{LI^2}{2}$$

Здесь W_M — энергия магнитного поля (Дж), L — индуктивность контура (Гн), I — сила тока в контуре (А).

Силовой характеристикой магнитного поля является магнитная индукция.

Магнитная индукция B — это величина, равная отношению максимального момента силы, вращающей контур с током в магнитном поле, к силе тока в этом контуре и его площади (формула 211).

Другое определение магнитной индукции: *магнитная индукция — это величина, равная отношению максимальной силы, действующей на проводник с током в магнитном поле, к силе тока в нем и длине этого проводника в магнитном поле (формула 212).*

Магнитная индукция — векторная величина. Вектор магнитной индукции совпадает по направлению с положительной нормалью n к плоскости контура. За направление положительной нормали \vec{n} принято направление поступательного движения правого винта (буравчика), когда его головка вращается по току в контуре.

Правым винтом может служить ваша правая рука. Если свернуть четыре пальца правой руки в направлении тока в контуре, то большой палец, отставленный на 90° , покажет направление положительной нормали и вектора магнитной индукции (рис. 140).

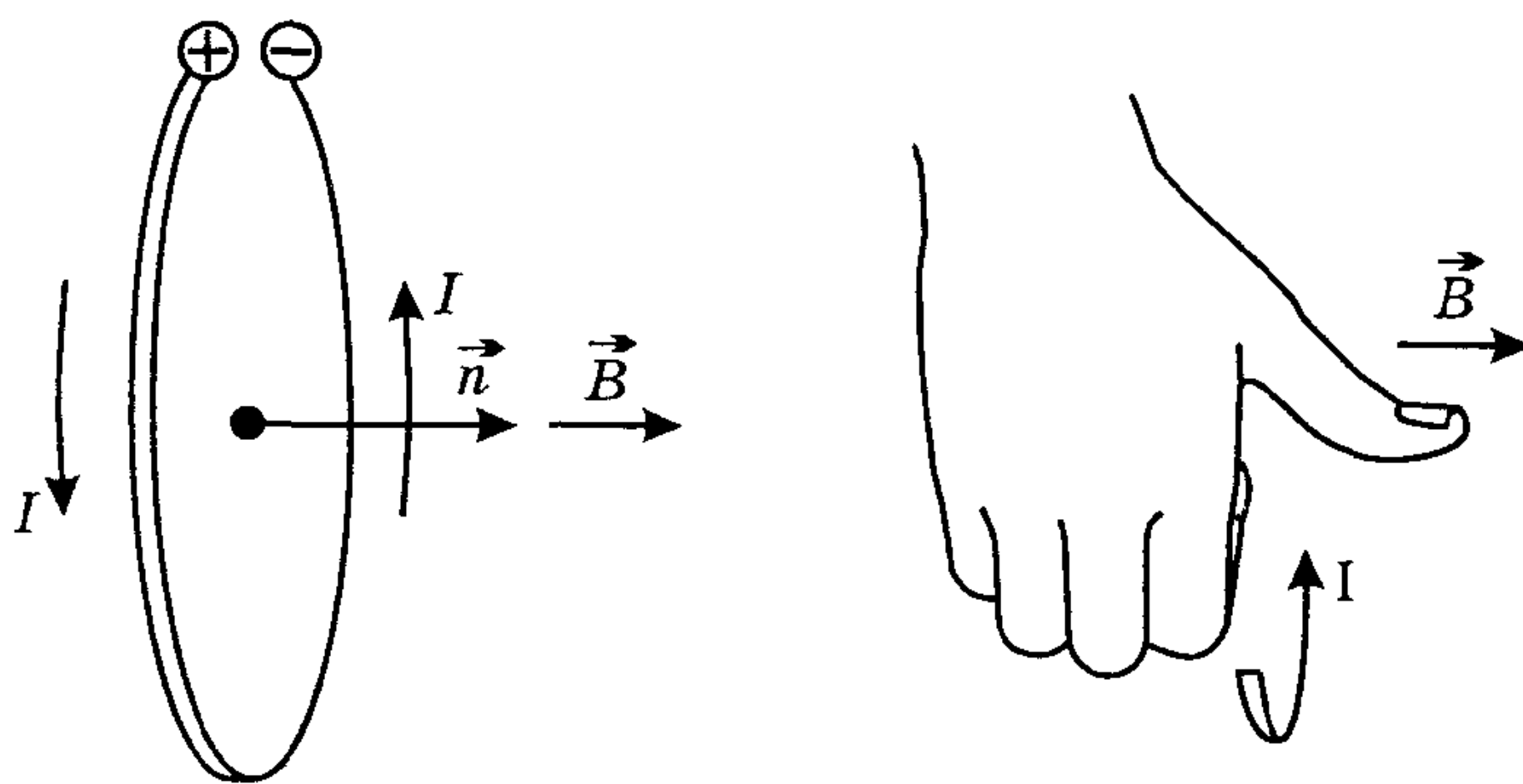


Рис. 140

Единица магнитной индукции в СИ — *тесла* (Тл). Выразим тесла через основные единицы СИ:

Формула ЭДС индукции в проводнике, движущемся поступательно в магнитном поле

$$220) \mathcal{E}_i = Bvl \sin \alpha$$

$$221) \mathcal{E}_{i \max} = Bvl$$

Здесь \mathcal{E}_i — ЭДС индукции в проводнике (В), B — индукция магнитного поля (Тл), v — скорость проводника в магнитном поле (м/с), l — длина проводника в магнитном поле (м), α — угол между векторами скорости и магнитной индукции (рад), $\mathcal{E}_{i \max}$ — максимальная ЭДС индукции, когда проводник движется перпендикулярно линиям магнитной индукции.

Формула ЭДС индукции в контуре, вращающемся в магнитном поле

$$222) \mathcal{E}_i = B\omega SN \sin \alpha$$

$$223) \mathcal{E}_{i \max} = B\omega SN$$

Здесь \mathcal{E}_i — ЭДС индукции во вращающемся контуре (В), B — индукция магнитного поля (Тл), ω — угловая скорость вращения (рад/с), S — площадь контура, N — число витков в контуре (безразмерное), α — угол между вектором индукции и нормалью к плоскости контура, $\mathcal{E}_{i \max}$ — максимальная ЭДС индукции, когда угол между нормалью к плоскости контура и вектором магнитной индукции равен 90° , т. е. когда плоскость контура параллельна линиям магнитной индукции.

Формула ЭДС самоиндукции

$$224) \mathcal{E}_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$225) \mathcal{E}_s = -LI'$$

Здесь \mathcal{E}_s — ЭДС самоиндукции в контуре (В), L — индуктивность контура (Гн), $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ — скорость изменения силы тока в контуре (А/с).

Формула магнитной проницаемости магнетика

$$226) \mu = \frac{B}{B_0}$$

Здесь μ — магнитная проницаемость магнетика (безразмерная), B — индукция магнитного поля в магнетике (Тл), B_0 — индукция магнитного поля в вакууме (Тл).

$$T_L = \frac{H}{A \cdot m} = \frac{кг \cdot м}{с^2 \cdot А \cdot м} = кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}.$$

Магнитное поле изображают графически с помощью магнитных силовых линий или линий магнитной индукции.

Линией магнитной индукции называют линию, в каждой точке которой вектор магнитной индукции направлен по касательной (рис. 141).

В природе не существует магнитных зарядов, поэтому линии магнитной индукции всегда замкнуты. Магнитное поле является вихревым, в отличие от потенциального электростатического поля, линии которого всегда разомкнуты, т. к. начинаются и оканчиваются на электрических зарядах.

Линии магнитной индукции охватывают проводники с током. Линии магнитной индукции поля прямого тока представляют собой концентрические окружности с центром на проводнике с током (рис. 142). Их направление можно определить с помощью правого винта (или с помощью вашей правой руки: если большой палец правой руки направить по направлению тока в проводнике, то четыре загнутых пальца покажут направление линии магнитной индукции). По мере удаления от проводника с током индукция магнитного поля этого тока уменьшается.

Линии магнитной индукции поля кругового тока показаны на рис. 143. Вектор магнитной индукции \vec{B} на рис. 143 направлен от нас за чертеж. На рис. 143 его направление обозначено в центре кружком с крестиком, как будто стрелка улетает от нас, и мы видим ее конец. А если стрелка вектора магнитной индукции направлена от чертежа к нам, то направление вектора \vec{B} изображается кружком с точкой в центре. Направление вектора магнитной индукции в центре кругового тока можно определить с помощью правого винта или вашей правой руки: если четыре

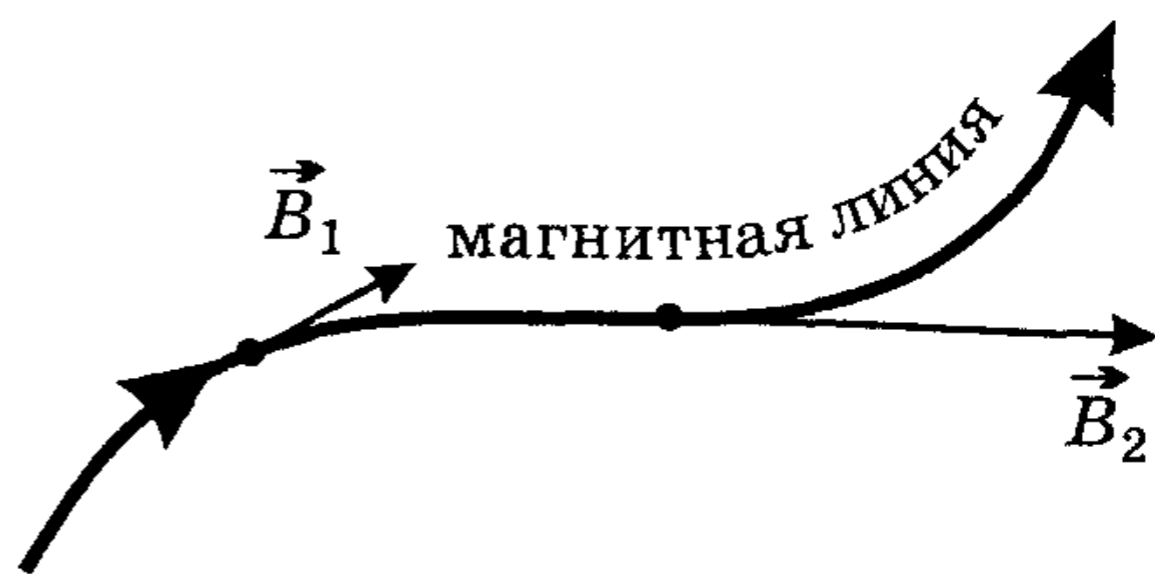


Рис. 141

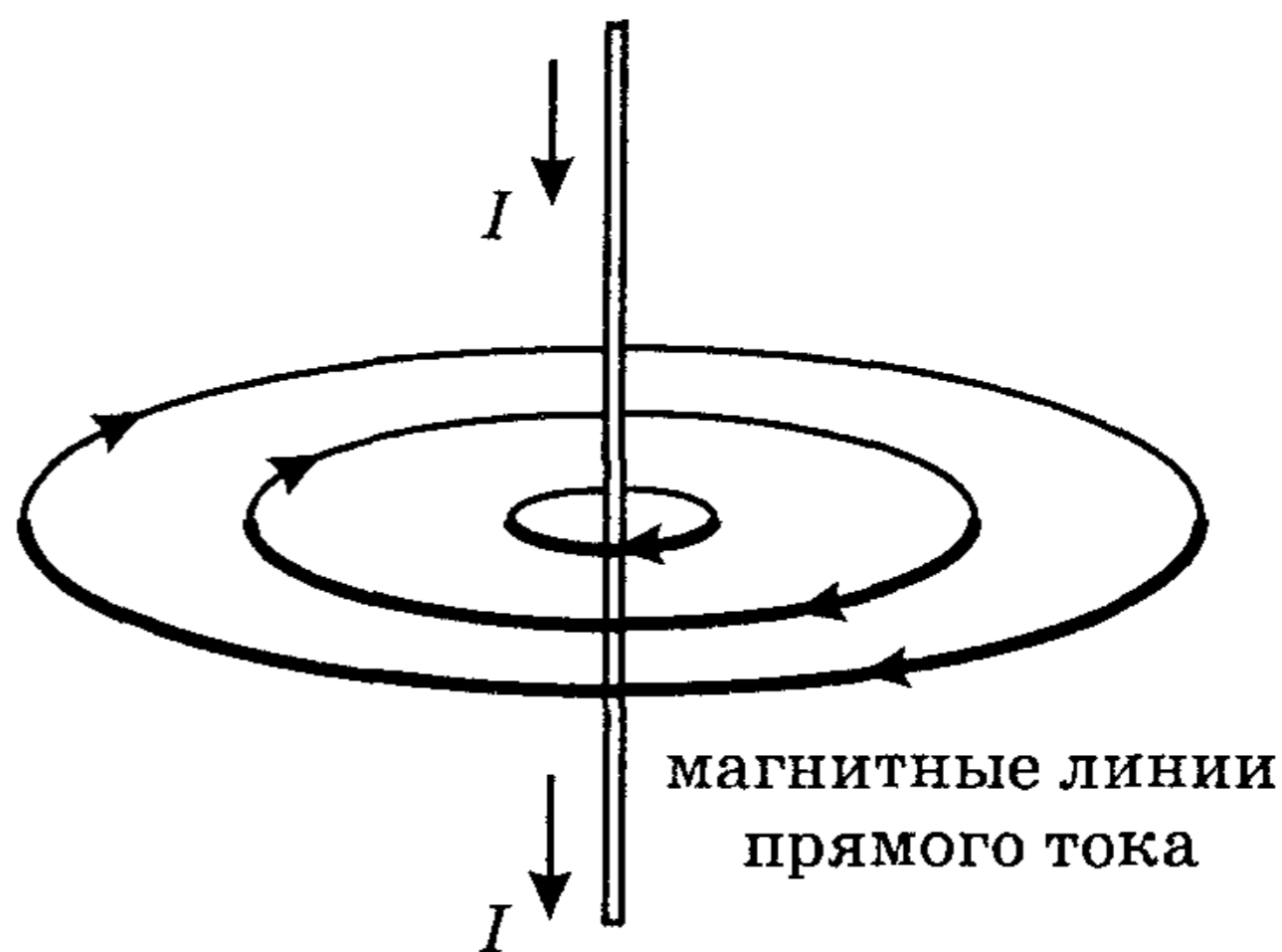


Рис. 142

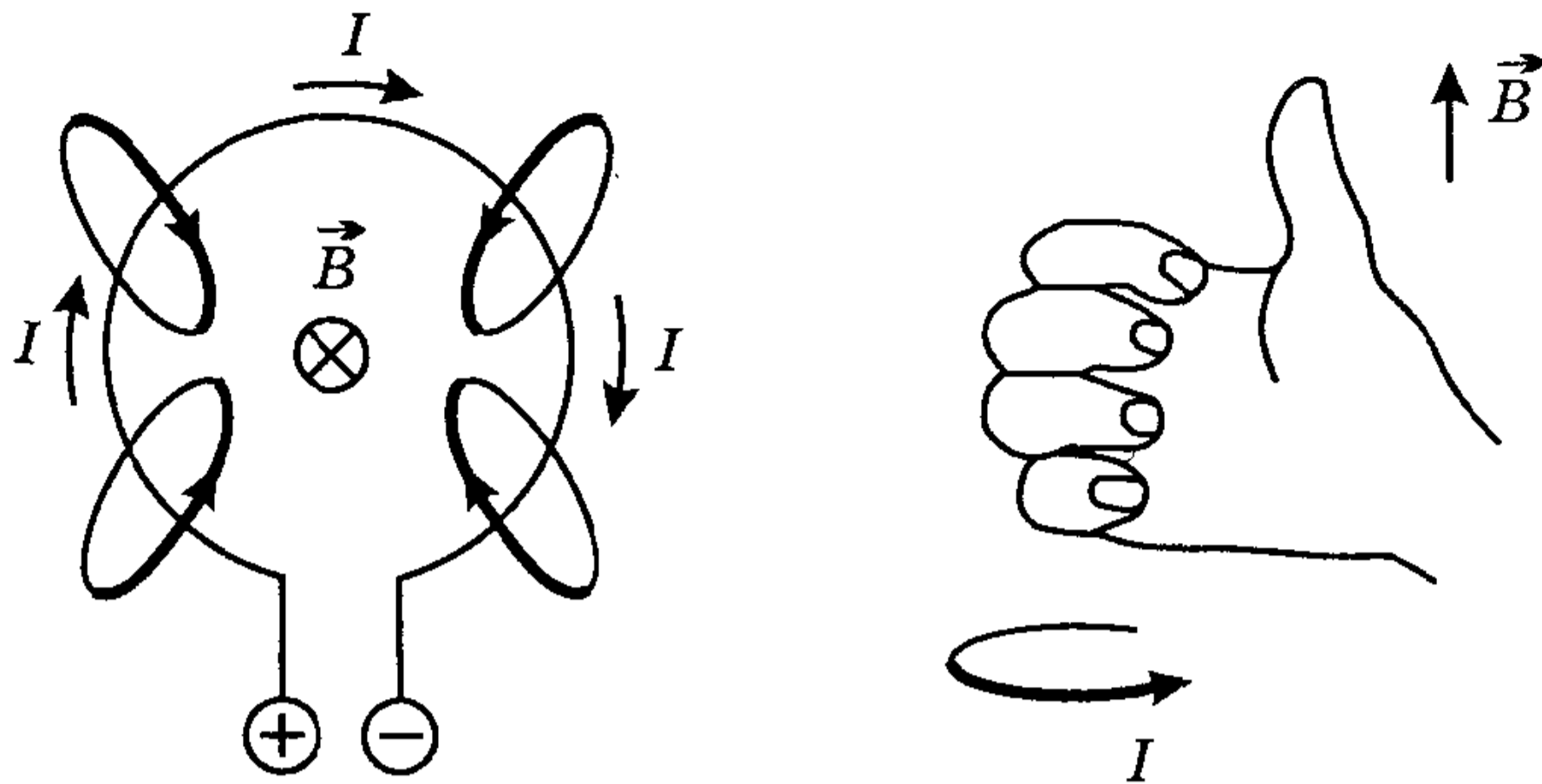


Рис. 143

пальца правой руки завернуть по току в контуре, то отставленный на 90° большой палец покажет направление вектора магнитной индукции.

Магнитное поле, в каждой точке которого вектор магнитной индукции одинаков, называется *однородным*. Линии магнитной индукции однородного поля представляют собой прямые, расположенные на одинаковом расстоянии друг от друга. Чем гуще они располагаются, тем больше магнитная индукция.

Примером однородного магнитного поля является магнитное поле внутри длинного *соленоида* — катушки с током (рис. 144, а).

Такое поле снаружи подобно магнитному полю полосового магнита (рис. 144, б). Вне магнита линии магнитной индукции выходят из северного полюса *N* и входят в его южный полюс *S*. Магнитное поле полосового магнита наибольшее на его полюсах, а в центре его магнитная индукция равна нулю. Поэтому, если ненамагниченный железный стержень поднести к любому из полюсов полосового магнита, то он к ним притянется, а если его поднести к середине магнита — то нет.

Одноименные полюса двух полосовых магнитов отталкиваются, а разноименные притягиваются.

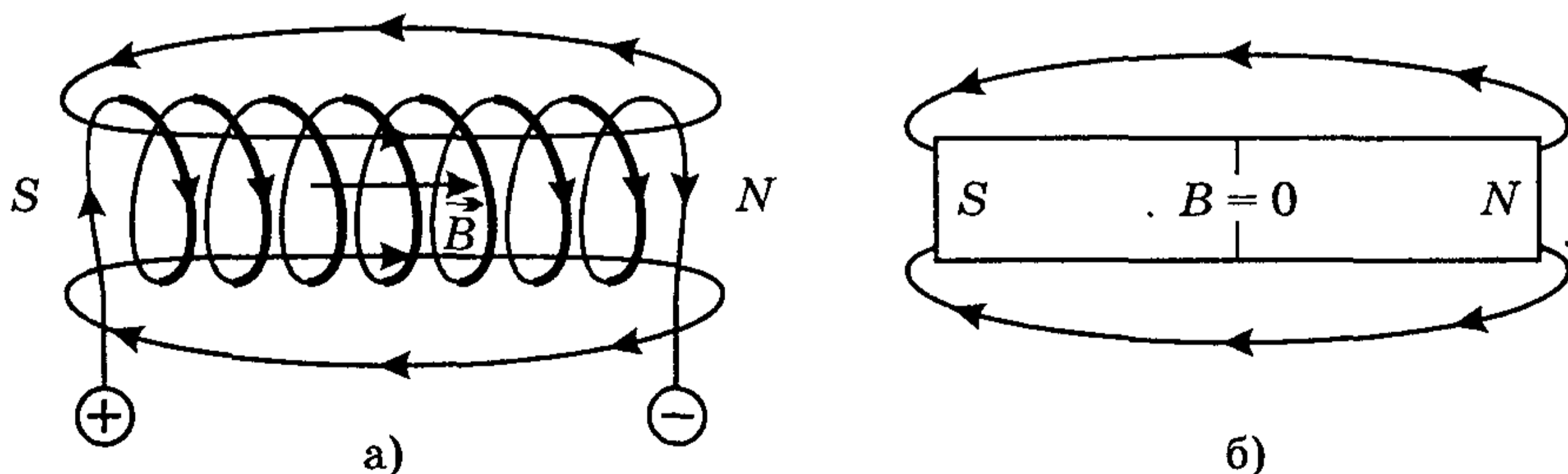


Рис. 144

Внутри соленоида линии магнитной индукции, наоборот, направлены от южного полюса S к северному N , поскольку они замкнуты. На его полюсах и вне соленоида магнитное поле становится неоднородным.

Полярность соленоида можно определить так: если, повернув к себе соленоид торцом, вы видите, что по последнему витку ток течет по часовой стрелке, то это южный полюс соленоида, а если против — то северный. На рис. 144 по левому концу соленоида ток течет по часовой стрелке, поэтому это южный полюс, а правый — северный. Направление вектора магнитной индукции внутри соленоида можно определить по правилу правого винта или с помощью вашей правой руки: если четыре пальца правой руки свернуть в направлении тока в витках соленоида, то отставленный на 90° большой палец покажет направление вектора \vec{B} внутри соленоида.

Однородным можно также считать магнитное поле между двумя разноименными полюсами двух полосовых магнитов (рис. 145).

Если в однородное поле внести рамку $abcd$ с током силой I , расположив ее плоскость параллельно линиям магнитной индукции (рис. 146, а), то на стороны рамки ab и cd , перпендикулярным линиям магнитной индукции, будет действовать пара сил Ампера \vec{F}_A , которая создаст *максимальный вращающий момент сил* M_{\max} .

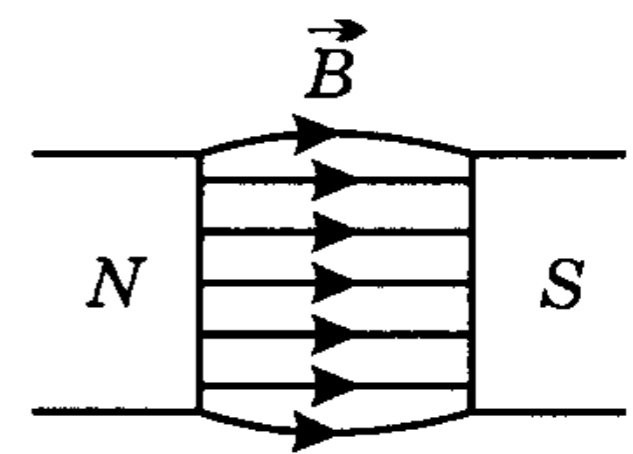
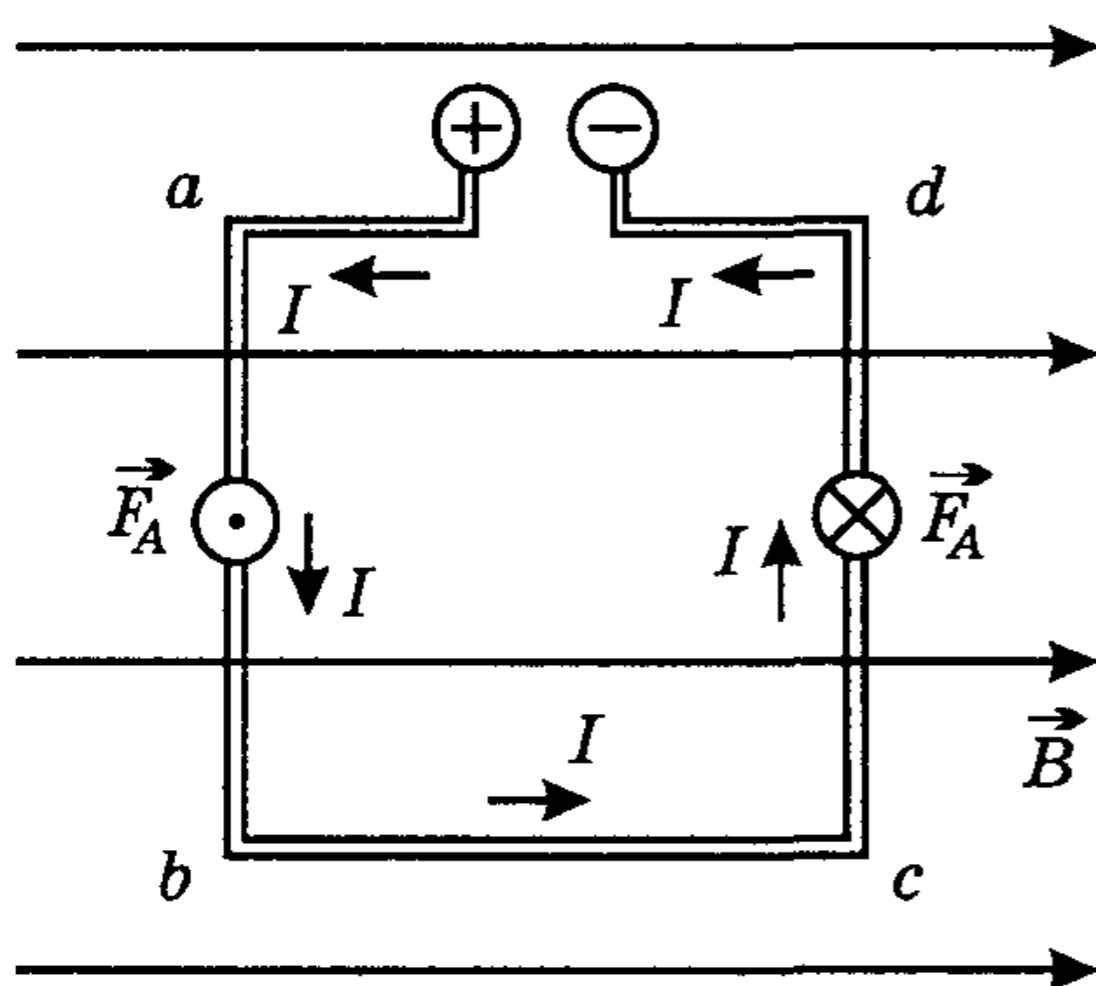
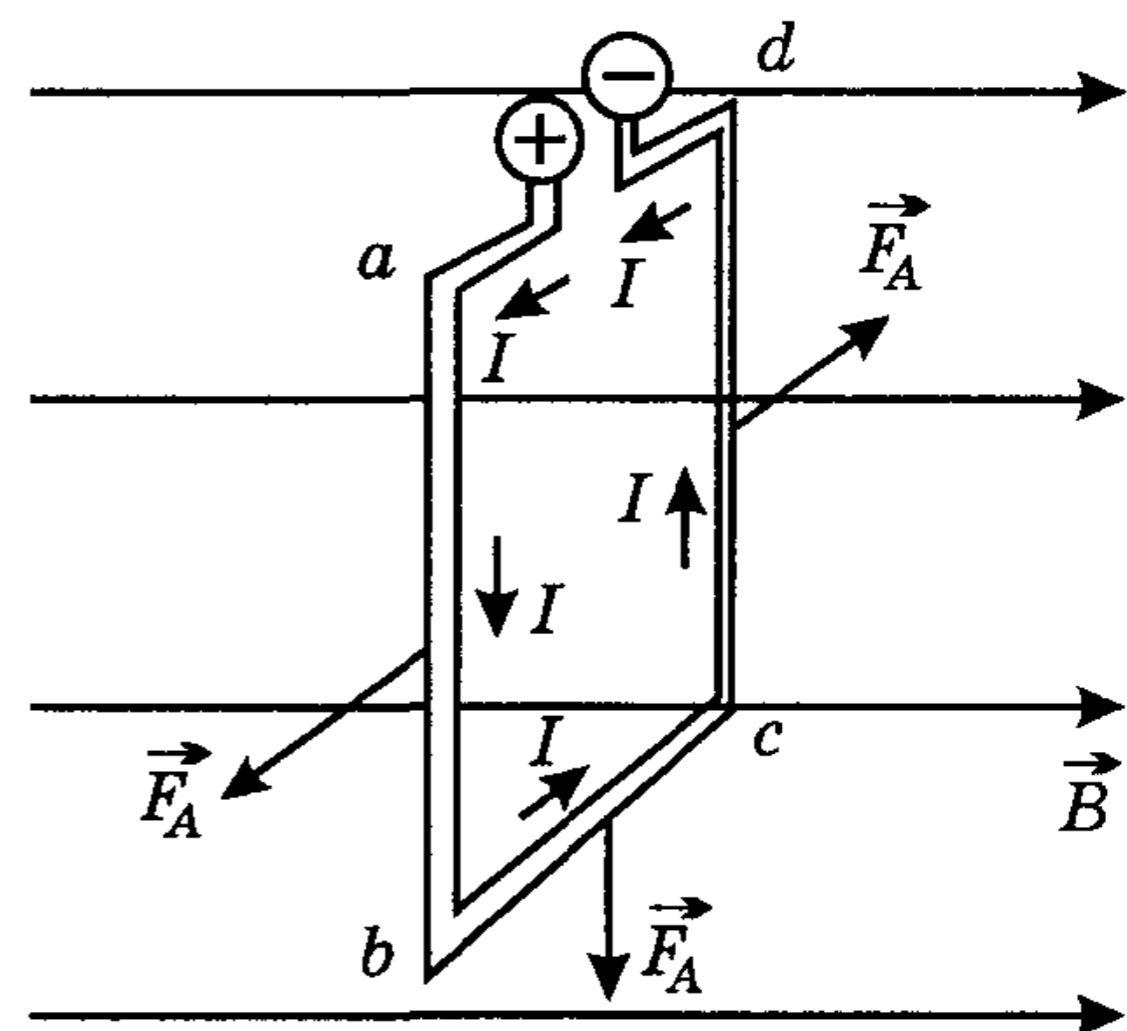


Рис. 145



M_{\max}

а)



$M = 0$

б)

Рис. 146

Как это следует из формулы 211), этот *момент сил* будет равен произведению индукции магнитного поля, силы тока в ней и ее площади:

$$M_{\max} = BIS.$$

При этом на стороны рамки dc и ad , параллельные линиям магнитной индукции, силы Ампера действовать не будут, и их вращающий момент будет равен нулю. Под действием пары сил Ампера рамка $abcd$ повернется так, что ее плоскость окажется перпендикулярной линиям магнитной индукции (рис. 146, б). Теперь силы Ампера будут действовать на все стороны рамки, т. к. все они окажутся перпендикулярными линиям магнитной индукции. Но вращать рамку они не будут, а будут ее растягивать, т. к. все их векторы лежат в плоскости рамки, и их вращающий момент сил будет равен нулю.

Если между нормалью к плоскости рамки или контура и вектором магнитной индукции будет угол α , то вращающий эту рамку (контур) момент сил можно определить по формуле 214):

$$M = BI S \sin \alpha.$$

На проводник с током в магнитном поле действует *сила Ампера*, которую можно определить по формуле 213):

$$F_A = BI l \sin \alpha.$$

Из этой формулы следует, что, когда проводник перпендикулярен вектору магнитной индукции, то *сила Ампера* максимальна, а когда параллелен — она на проводник не действует.

Направление силы Ампера можно определить по правилу левой руки: если ладонь левой руки расположить так, чтобы линии магнитной индукции входили в нее, а четыре вытянутых пальца направить по току в проводнике, то большой палец, отставленный на 90° , покажет направление силы Ампера (рис. 147).

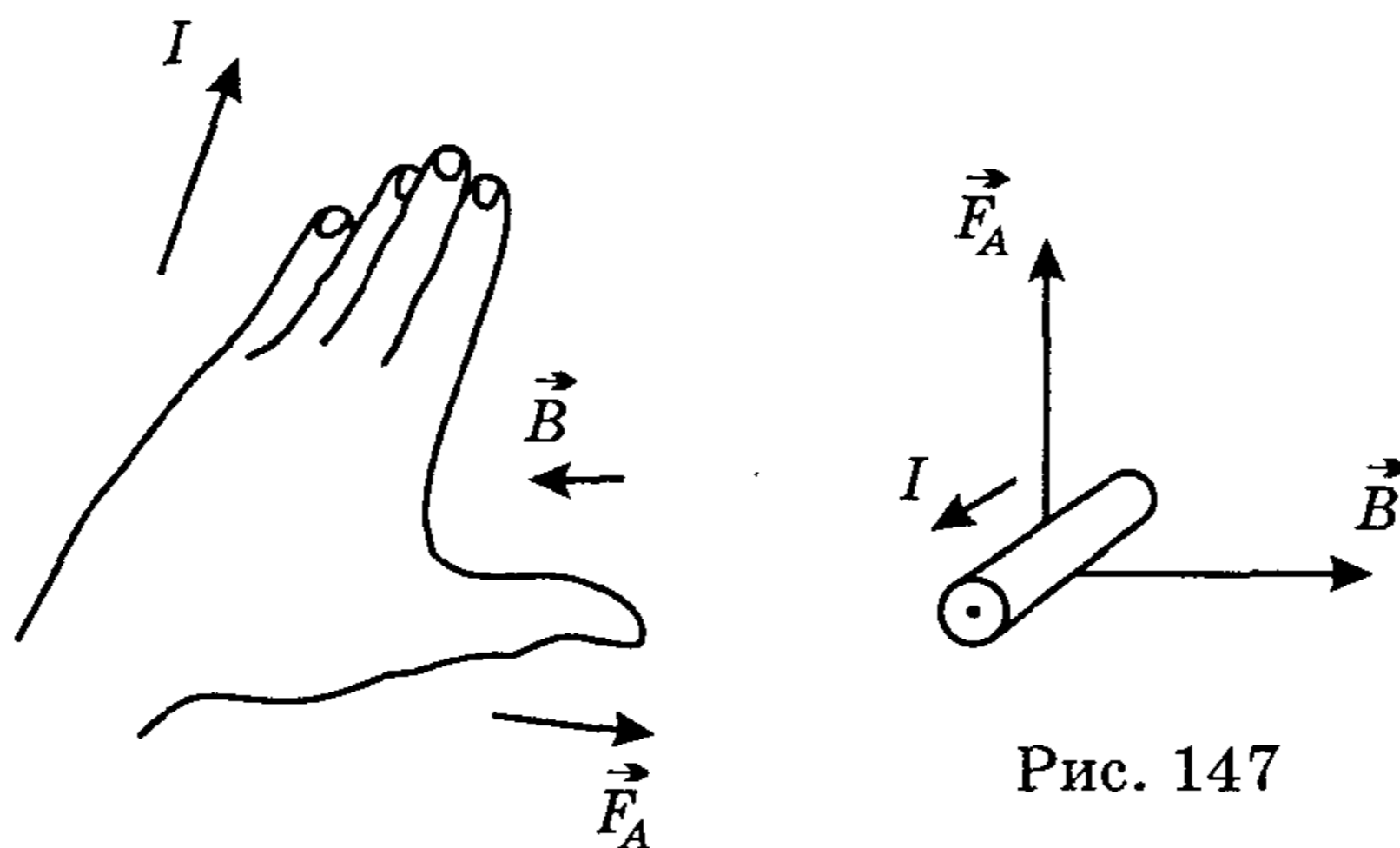


Рис. 147

Два параллельных прямых проводника с токами, текущими в одном направлении, притягиваются друг к другу, а если токи по ним текут в противоположных направлениях, то отталкиваются друг от друга.

Если на проводник с током в магнитном поле, кроме силы Ампера, действуют и другие силы, то при решении подобных задач удобно применять законы Ньютона. Если проводник с током в магнитном поле под действием всех приложенных сил покоится или движется равномерно и прямолинейно, то изобразите все эти силы на чертеже и модули противоположно направленных сил приравняйте друг другу. Например, проводник под действием приложенных к нему сил тяжести и Ампера неподвижно висит в магнитном поле (рис. 148).

Начните решение этой задачи с равенства $mg = F_A$, где $F_A = BIl$, и т. д.

Если под действием приложенных сил проводник с током движется в магнитном поле с ускорением, то примените второй закон Ньютона. Например, на проводник в магнитном поле действуют неуравновешенные сила Ампера и сила трения (рис. 149).

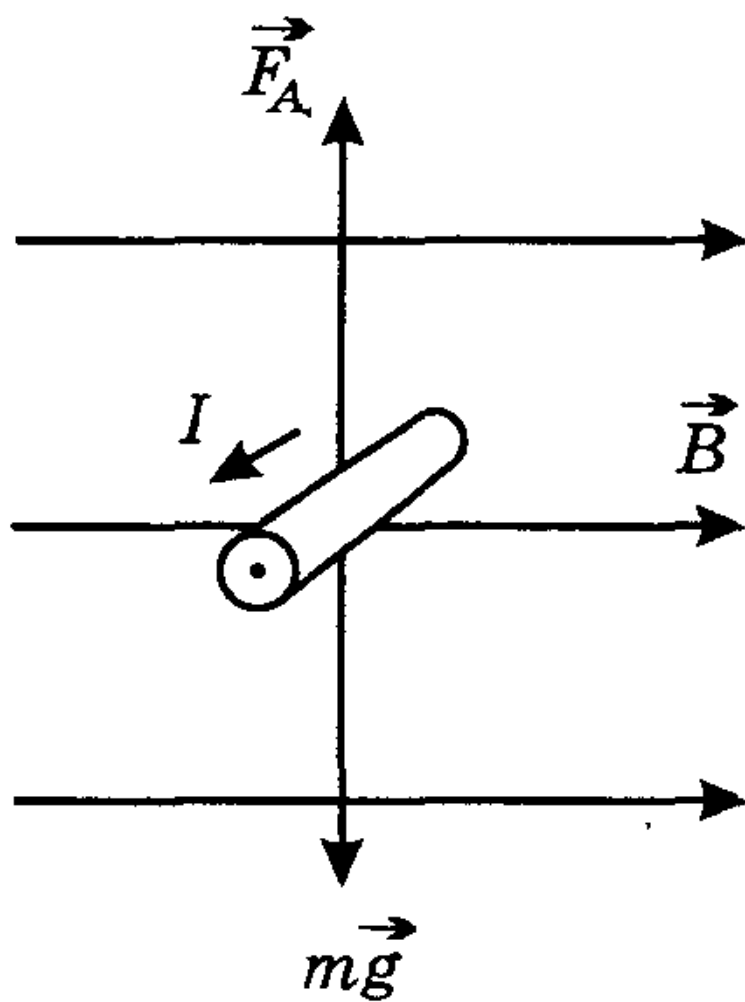


Рис. 148

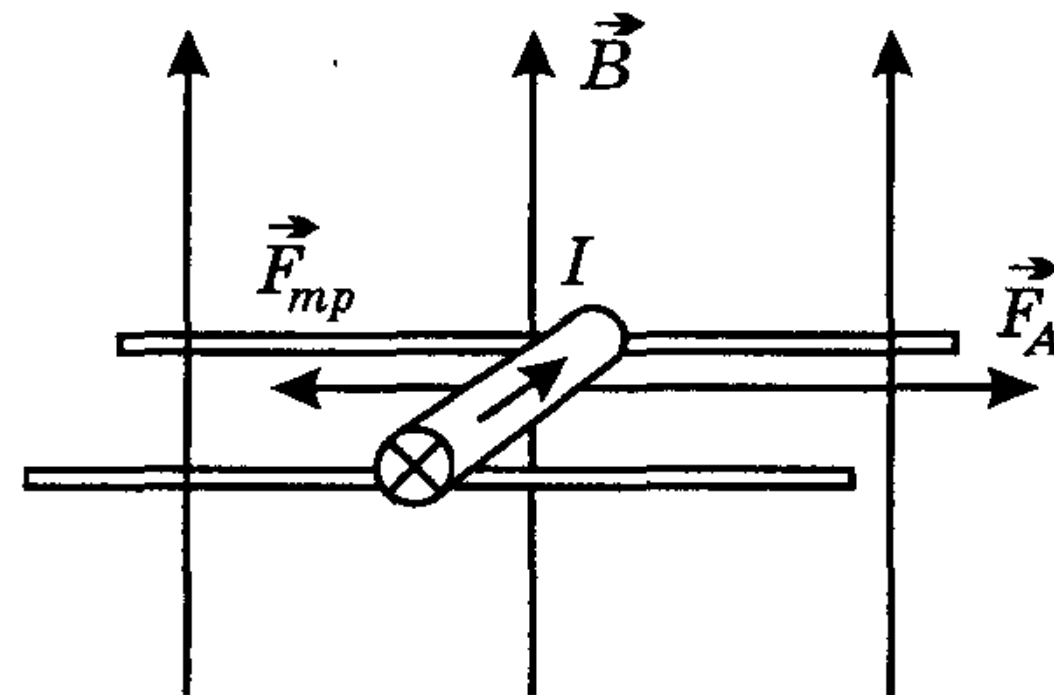


Рис. 149

В таком случае решение задачи можно начать с равенства:

$$ma = F_A - F_{\text{тр}}.$$

Если проводник с током висит на нитях, и они отклонились в магнитном поле на угол φ (рис. 150), то можно начинать с равенства

$$\text{tg } \varphi = \frac{F_A}{mg},$$

или если идет речь о силе натяжения нити, то можно применить теорему Пифагора:

$$(2F_H)^2 = (mg)^2 + F_A^2 \quad \text{или}$$

$$F_A = 2F_H \sin \varphi \quad \text{и т. п.}$$

На заряд, движущийся в магнитном поле, действует *сила Лоренца*, которую определяет формула 215):

$$F_L = Bqv \sin \alpha.$$

Если вектор скорости заряда перпендикулярен линиям магнитной индукции, то заряд движется по окружности, охватывающей эти линии. Если при этом на заряд действует только одна сила Лоренца, то она направлена по радиусу к центру окружности O (рис. 151) и равна произведению массы заряженной частицы m и ее центростремительного ускорения a , поэтому решение задачи удобно начинать с формулы второго закона Ньютона

$$ma_{\text{ц}} = F_L, \quad \text{где} \quad F_L = Bqv,$$

$$a \frac{v^2}{R} = \omega^2 R \quad \text{и т. д.}$$

Сила Лоренца всегда направлена перпендикулярно перемещению заряженной частицы в магнитном поле. Поэтому работы перемещения она не совершает, и значит, кинетическая энергия частицы, движущейся в магнитном поле под действием только силы Лоренца, не изменяется.

Направление силы Лоренца можно определить по *правилу левой руки*: если ладонь левой руки расположить так, чтобы магнитные линии входили в нее, а четыре вытянутых пальца направить по направлению движения положительного заряда (или против направления отрицательного заряда), то большой палец, отставленный на 90° , покажет направление силы Лоренца (рис. 152).

Если между вектором скорости заряженной частицы \vec{v} и линией магнитной индукции есть угол α , то частица движется по винтовой линии, охватывающей линии магнитной индукции (рис. 153).

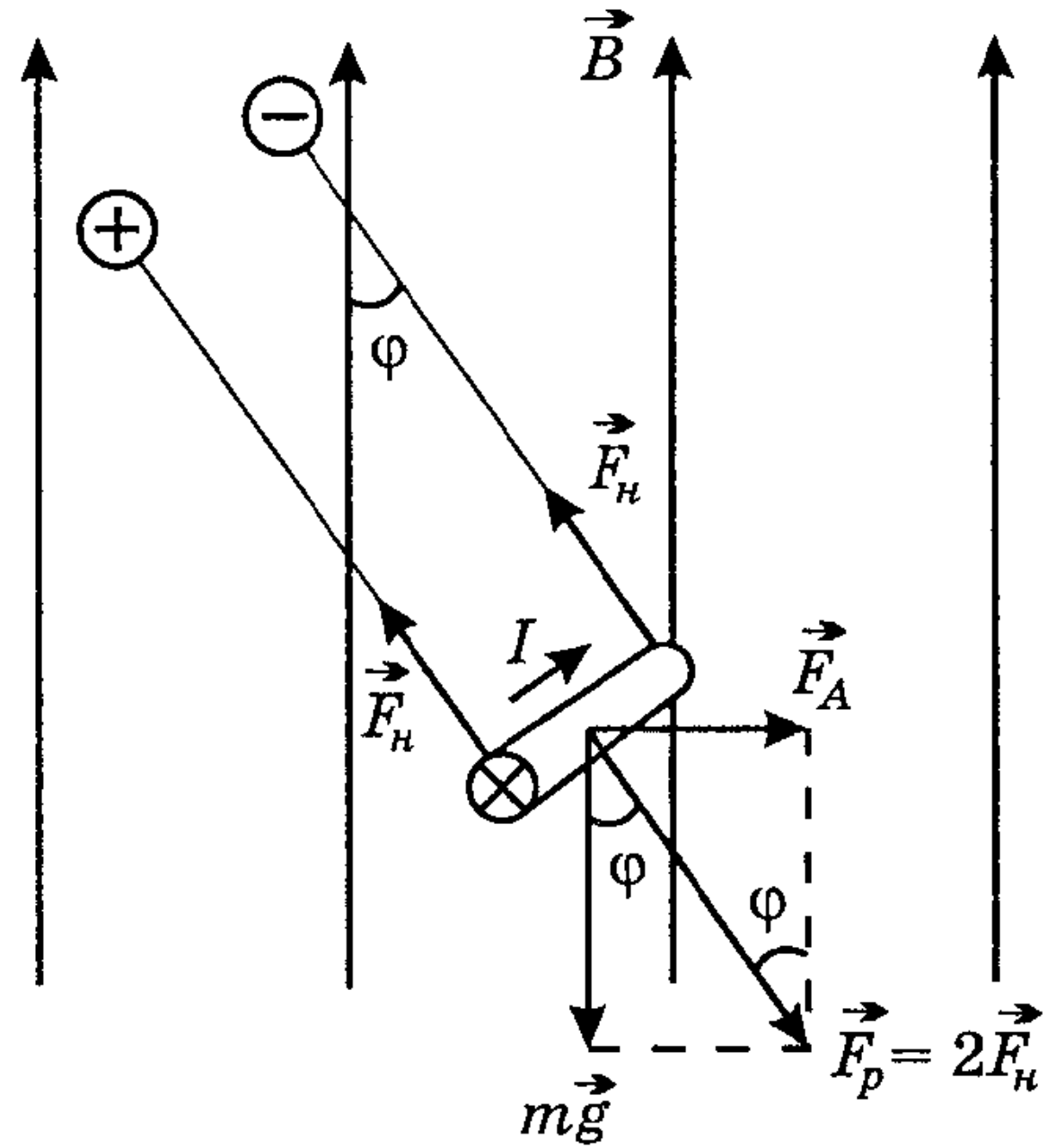


Рис. 150

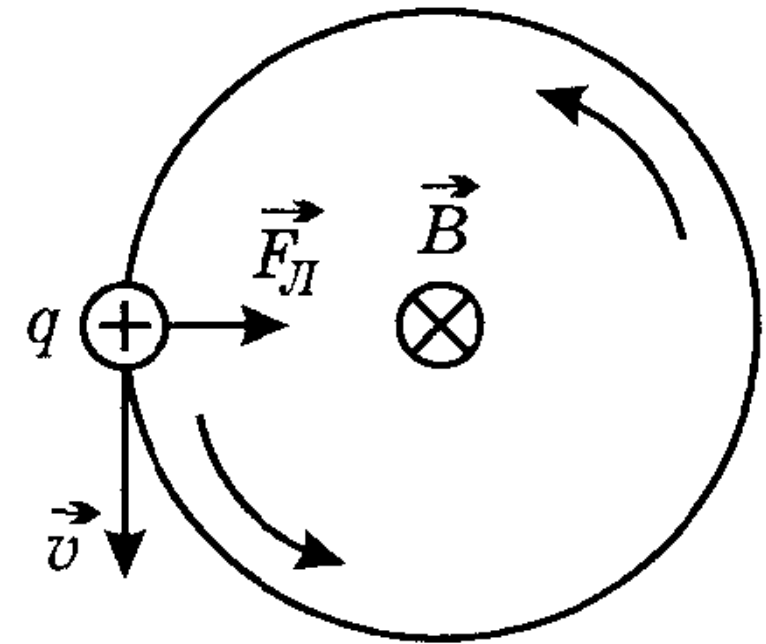


Рис. 151

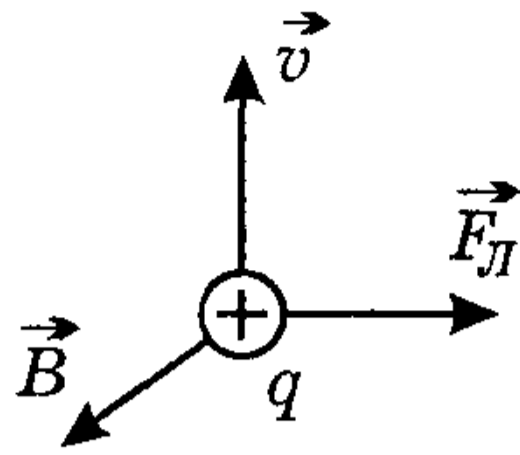


Рис. 152

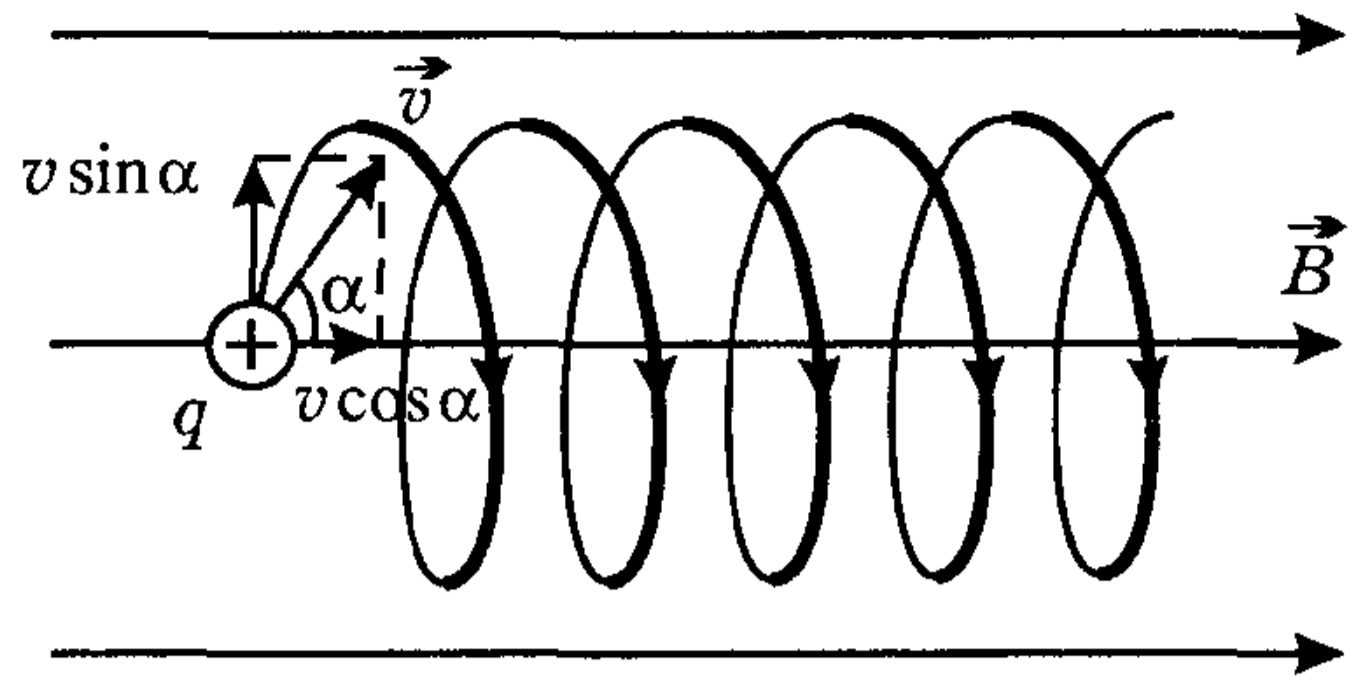


Рис. 153

При этом ее движение можно рассматривать как движение по окружности с линейной скоростью $v \sin \alpha$ и равномерное перемещение в направлении линии магнитной индукции со скоростью $v \cos \alpha$. Расстояние x , пройденное вдоль линии магнитной индукции за время одного оборота частицы вокруг магнитных линий (за период T), называется *шагом винта*. Шаг винта можно определить по формуле равномерного движения со скоростью $v \cos \alpha$ в течение времени T :

$$x = vT \cos \alpha.$$

Если заряженная частица движется одновременно и в электрическом, и в магнитном полях, то действующая на нее сила равна векторной сумме сил, электрической и Лоренца. Если под действием только этих сил она движется равномерно и прямолинейно, т. е. с постоянной скоростью (рис. 154), значит, силы, электрическая и Лоренца, уравновешивают друг друга — т. е. они равны по модулю и противоположны по направлению:

$$F_{\text{эл}} = F_{\text{л}}, \quad \text{где} \quad F_{\text{эл}} = qE \quad \text{и} \quad F_{\text{л}} = Bqv \quad \text{и т. д.}$$

Магнитным потоком сквозь некоторую площадку S в однородном магнитном поле называют величину, определяемую по формуле 216):

$$\Phi = BS \cos \alpha.$$

Если линии магнитной индукции перпендикулярны площадке S , то магнитный поток сквозь нее максимален (рис. 155, а). Если площадка параллельна линиям магнитной индукции, то они скользят по площадке, не пересекая ее, поэтому магнитный поток сквозь площадку равен нулю (рис. 155, б). Если линии магнитной индукции пересекают площадку под углом α к нормали \vec{n} (рис. 155, в), то магнитный поток определяем по формуле 216).

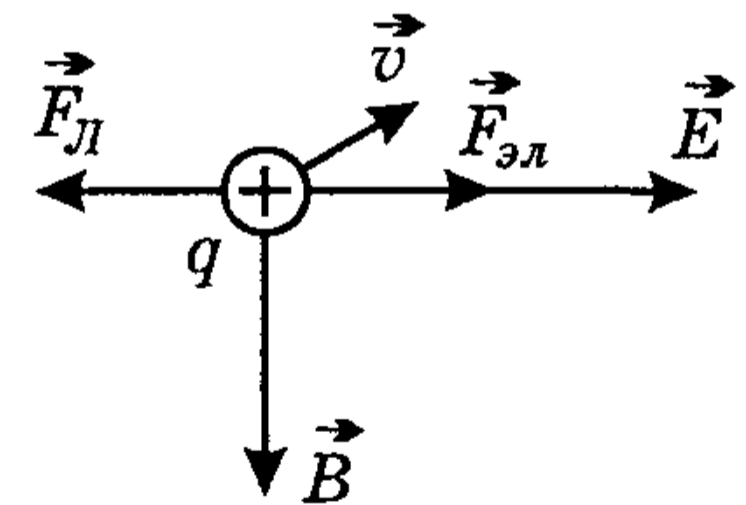


Рис. 154

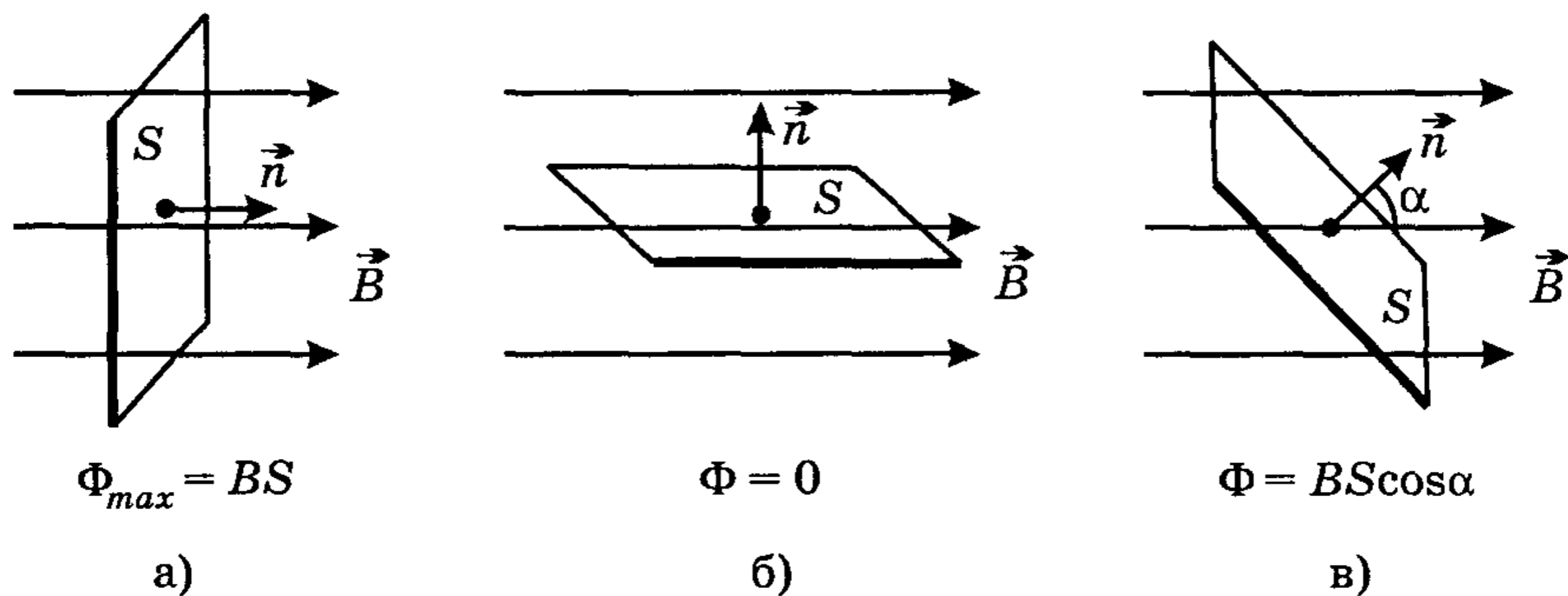


Рис. 155

Магнитный поток численно равен количеству линий магнитной индукции, пересекающих площадку S .

Магнитный поток — скалярная алгебраическая величина, т. е. он может быть положительным и отрицательным. Если магнитные линии выходят из площадки S , то магнитный поток положительный, а если входят — то он отрицательный. Магнитный поток сквозь замкнутую поверхность всегда равен нулю, потому что сколько линий магнитной индукции входит в любую замкнутую поверхность, столько же и выходит, ведь магнитных зарядов, которые могли бы стать источниками новых линий магнитной индукции, в природе не существует.

Единица магнитного потока в СИ — *вебер* (Вб). Выразим вебер через основные единицы СИ:

$$\text{Вб} = \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}.$$

Если магнитный поток, пересекающий проводящий контур, изменяется, в контуре возникает *индукционный* электрический ток. Это явление называется *электромагнитной индукцией*.

Электромагнитная индукция — это возникновение индукционного тока в замкнутом контуре при всяком изменении магнитного потока, пересекающего этот контур.

Магнитный поток изменяется при изменении любой из величин, входящих в формулу магнитного потока $\Phi = BS \cos \alpha$. При этом в контуре возникает ЭДС *электромагнитной индукции* \mathcal{E}_i .

Закон Фарадея для электромагнитной индукции: ЭДС индукции, возникающая в контуре при изменении магнитного потока, пересекающего этот контур, равна по модулю скорости изменения магнитного потока (формула 218):

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} N.$$

Формула 218) применима к случаю, когда за одинаковое время Δt магнитный поток изменяется на одинаковую величину $\Delta\Phi$, т. е. когда скорость изменения магнитного потока $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ постоянна. Если же скорость изменения магнитного потока меняется произвольно, например, при вращении контура в магнитном поле, когда угол α в формуле магнитного потока $\Phi = BS \cos \alpha$ то увеличивается, то уменьшается, формула 218) применима только для определения средней ЭДС индукции за время Δt . Если при этом требуется определить мгновенную ЭДС индукции, то следует применять формулу 219):

$$\mathcal{E}_i = -\Phi'N.$$

Если за время Δt изменилась индукция магнитного поля на $\Delta B = B_2 - B_1$, то изменение магнитного потока $\Delta\Phi = \Delta BS \cos \alpha$. Если за это время изменилась площадь контура на $\Delta S = S_2 - S_1$, то $\Delta\Phi = B\Delta S \cos \alpha$. Если меняется угол α , то, как правило, надо брать производную магнитного потока в соответствии с формулой 219).

Если прямой проводник пересекает магнитные линии, двигаясь поступательно, то для определения ЭДС индукции, возникающей в нем, применяем формулы 220) или 221):

$$\mathcal{E}_i = Bvl \sin \alpha \quad \text{или} \quad \mathcal{E}_{i \max} = Bvl.$$

Если контур равномерно вращается в магнитном поле, то для определения ЭДС индукции применяем формулы 222) или 223):

$$\mathcal{E}_i = B\omega SN \sin \alpha \quad \text{или} \quad \mathcal{E}_{i \max} = B\omega SN.$$

Если в условии задачи идет речь о заряде, прошедшем через поперечное сечение контура, при прохождении по нему индукционного тока, то можно воспользоваться формулой силы тока 165)

$$I = \frac{q}{t},$$

из которого следует:

$$q = I_i \Delta t,$$

где в соответствии с законом Ома $I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$.

Если сказано, что контур в магнитном поле повернули на 180° , то примите $\alpha_1 = 0^\circ$, а $\alpha_2 = 180^\circ$. Тогда

$$\Delta\Phi = BS \cos \alpha_2 - BS \cos \alpha_1 = BS(\cos 180^\circ - \cos 0^\circ) = -2BS,$$

т. к. $\cos 180^\circ = -1$, а $\cos 0^\circ = 1$.

Направление индукционного тока в контуре определяет правило Ленца.

Правило Ленца: индукционный ток всегда направлен так, что своим магнитным полем он препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего этот ток.

Это надо понимать так: при возникновении индукционного тока I_i вокруг него появляется его собственное магнитное поле B_i . И если внешнее магнитное поле индукцией B увеличивается, то вектор индукции магнитного поля индукционного тока \vec{B}_i направлен против вектора \vec{B} внешнего магнитного поля, а если внешнее поле убывает, то вектор \vec{B}_i направлен в сторону вектора \vec{B} . При этом направление вектора \vec{B}_i связано с направлением индукционного тока правилом правого винта.

На рис. 156, а) внешнее магнитное поле индукцией B возрастает, поэтому его изменение $\Delta B > 0$. При этом в контуре возникает индукционный ток, магнитное поле которого \vec{B}_i противодействует нарастанию внешнего магнитного поля, согласно правилу Ленца. Поэтому вектор магнитной индукции \vec{B}_i поля индукционного тока будет направлен против вектора индукции \vec{B} внешнего магнитного поля. Направление индукционного тока связано с направлением вектора \vec{B}_i правилом правого винта, применив которое, убедимся, что индукционный ток крутится по часовой стрелке.

Если внешнее магнитное поле убывает, то $\Delta B < 0$, и, по правилу Ленца, индукционный ток своим магнитным полем препятствует его уменьшению. Теперь векторы \vec{B} и \vec{B}_i направлены в одну сторону, поэтому и направление индукционного тока в контуре изменилось на противоположное (рис. 156, б).

Когда по контуру пропускают ток, то вокруг контура возникает магнитное поле, индукция которого пропорциональна силе тока в контуре. Согласно формуле магнитного потока $\Phi = BS \cos \alpha$ магнитный поток пропорционален индукции магнитного поля. Вот и получается, что

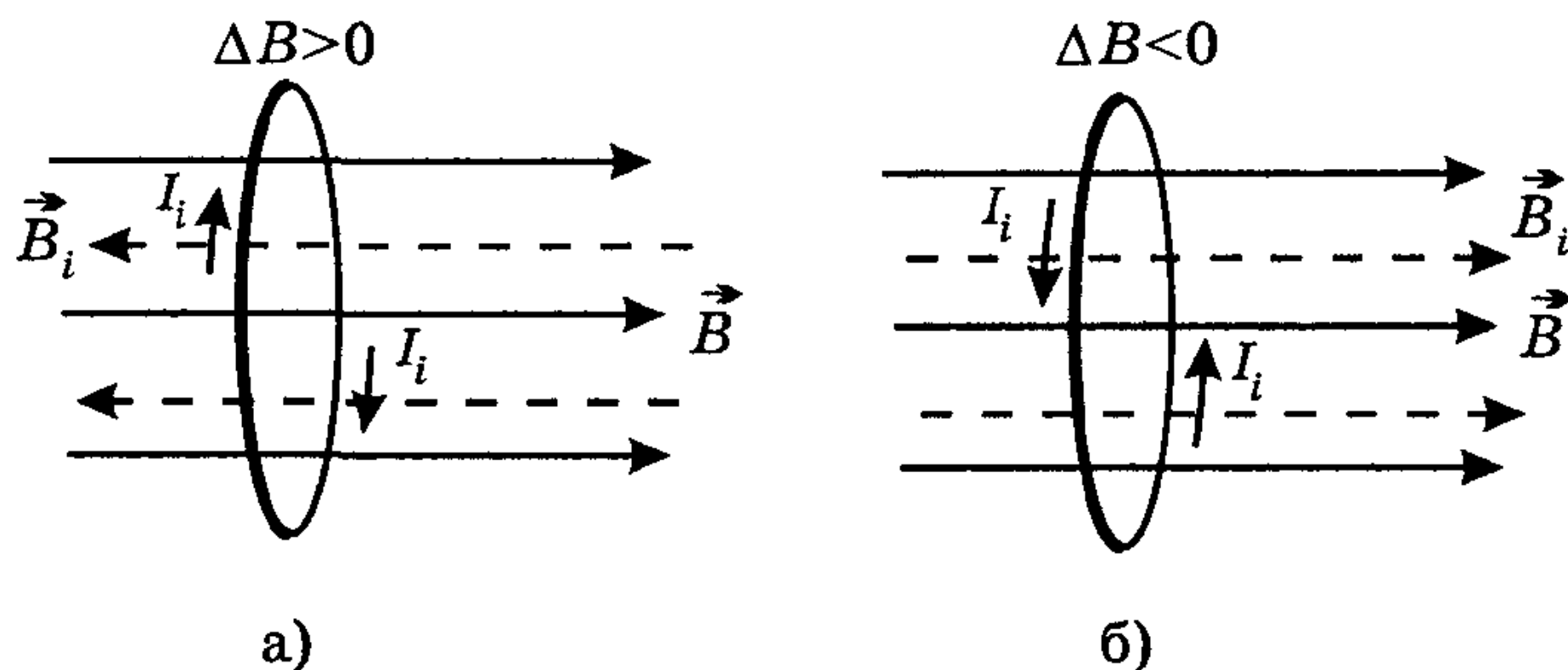


Рис. 156

магнитный поток сквозь контур прямо пропорционален силе тока, текущего в этом контуре (формула 217):

$$\Phi = LI.$$

Коэффициент пропорциональности L между магнитным потоком и силой тока в контуре называется *индуктивностью* контура. Индуктивность контура зависит от свойств самого контура: от его формы, размеров, числа витков, наличия сердечника и материала, из которого изготовлен сердечник.

Единица индуктивности в СИ — *генри* (Гн). Выразим генри через основные единицы СИ (в соответствии с формулой 217):

$$\text{Гн} = \frac{\text{Вб}}{\text{А}} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$$

Если ток в контуре по какой-то причине станет изменяться, то вместе с ним будет изменяться и магнитное поле этого тока. При этом станет изменяться и магнитный поток, создаваемый этим магнитным полем. В результате в контуре возникнет индукционный ток, вызванный изменением тока, текущего в контуре. Этот индукционный ток называется *током самоиндукции*, а его возникновение — *явлением самоиндукции*.

При самоиндукции в контуре действует ЭДС самоиндукции \mathcal{E}_S , тем большая, чем быстрее изменяется сила тока в контуре. Величина ЭДС самоиндукции определяется формулой 224)

$$\mathcal{E}_S = -L \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

когда сила тока изменяется за одинаковое время на одинаковую величину. При произвольном изменении силы тока ЭДС самоиндукции в формуле 224) есть средняя ЭДС самоиндукции за время Δt . Для нахождения мгновенной ЭДС самоиндукции в этом случае следует пользоваться формулой 225):

$$\mathcal{E}_S = -LI'.$$

Если ток I в контуре увеличивается, то возникший вследствие этого ток самоиндукции I_S , по правилу Ленца, будет стремиться помешать этому увеличению, поэтому ток самоиндукции будет направлен против тока I , а если ток I будет уменьшаться, то ток самоиндукции I_S будет направлен в ту же сторону, что и ток I . Вследствие этого выключатели и рубильники, находящиеся под большим напряжением, искрят именно в момент выключения тока, т. к. тогда токи I и I_S направлены в одну сторону, и поэтому результирующий ток равен их сумме.

Все вещества в природе, будучи внесенными в магнитное поле, намагничиваются, т. е. изменяют свои свойства, поэтому все вещества

являются *магнетиками*. Но намагничиваются они по-разному. Сильнее других намагничиваются вещества, содержащие железо, поэтому они называются *ферромагнетиками*. Основное свойство ферромагнетиков — сохранять намагниченность и после того, как магнитное поле исчезнет.

Величина, показывающая, во сколько раз индукция магнитного поля в магнетике больше индукции магнитного поля в вакууме, называется *магнитной проницаемостью μ* этого вещества (формула 226):

$$\mu = \frac{B}{B_0}.$$

Магнитная проницаемость большинства веществ близка к единице, тогда как магнитная проницаемость ферромагнетиков достигает очень большой величины.

При нагревании магнитные свойства ферромагнетиков ухудшаются. И при достижении некоторой высокой температуры они могут полностью размагнититься. Эта температура называется *точкой Кюри* данного ферромагнетика.

Магнитное поле обладает энергией. Величину энергии магнитного поля тока определяет формула 227):

$$W_M = \frac{LI^2}{2}.$$

A20. При газовом разряде носителями зарядов являются

- | | |
|----------------------|----------------------------------|
| 1) только электроны | 2) только положительные ионы |
| 3) ионы обоих знаков | 4) ионы обоих знаков и электроны |

A21. На рис. 163 изображен круговой контур с током. Вектор индукции магнитного поля этого тока в центре O контура направлен

- | | | | |
|----------|---------|----------|-----------|
| 1) вверх | 2) вниз | 3) влево | 4) вправо |
|----------|---------|----------|-----------|

A22. На рис. 164 изображен элемент проводника с током, неподвижно висящий в однородном магнитном поле индукцией B . Кроме силы тяжести на проводник действует сила Ампера, направленная

- 1) вверх, а ток в нем течет от конца 1 к концу 2
- 2) влево, а ток в нем течет от конца 1 к концу 2
- 3) вниз, а ток в нем течет от конца 2 к концу 1
- 4) вверх, а ток в нем течет от конца 2 к концу 1

A23. Заряженная частица массой m с зарядом q влетала в однородное магнитное поле индукцией B перпендикулярно магнитным линиям со скоростью v . Ускорение, с которым она стала двигаться в магнитном поле, равно

- 1) $\frac{Bq}{mv}$ 2) $\frac{Bqv}{m}$ 3) $\frac{mv}{Bq}$ 4) $\frac{Bqm}{v}$

A24. Единицей магнитной индукции в СИ является

- 1) генри 2) вольт 3) ватт 4) тесла

A25. Однородное магнитное поле индукцией 2 Тл пересекает поверхность площадью 40 см^2 под углом 30° к этой поверхности. Магнитный поток сквозь эту поверхность равен

- 1) 4 мВб 2) 6,8 мВб 3) 8 мВб 4) 3,4 мВб

A26. В однородном магнитном поле, направленном за чертеж (рис. 165), находится проводящий контур. В контуре возникнет индукционный ток, если контур будет двигаться

- 1) от наблюдателя за чертеж в направлении линий магнитной индукции
 2) от чертежа к наблюдателю навстречу линиям магнитной индукции
 3) в любом направлении в плоскости чертежа
 4) поворачиваться вокруг любой из сторон контура

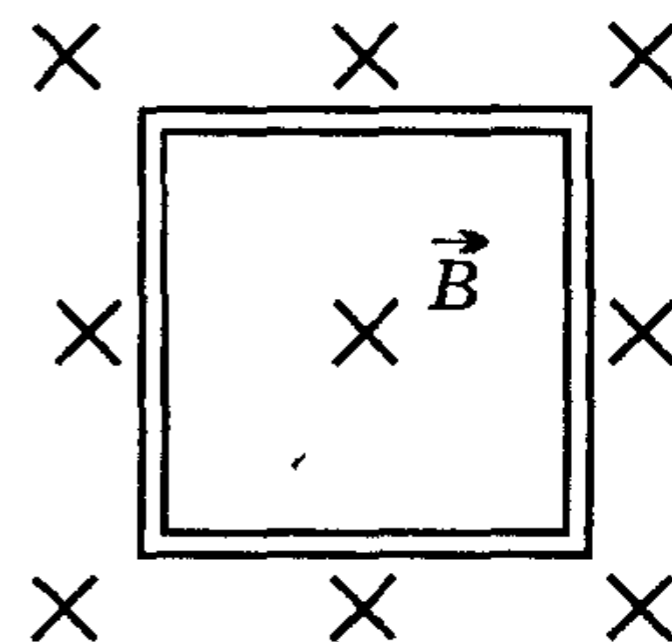


Рис. 165

A27. Прямой проводник длиной 50 см в однородном магнитном поле индукцией 5 Тл движется перпендикулярно линиям магнитной индукции. При этом на концах проводника возникает разность потенциалов 1В. Скорость движения проводника равна

- 1) 25 см/с 2) 40 см/с 3) 50 см/с 4) 2,5 см/с

A28. Проводящий контур находится в нарастающем магнитном поле, вследствие чего в контуре возникает индукционный ток, текущий против часовой стрелки (рис. 166). Вектор магнитной индукции этого поля направлен

- 1) от наблюдателя за чертеж
 2) в плоскости чертежа вверх
 3) в плоскости чертежа вниз
 4) от чертежа к наблюдателю

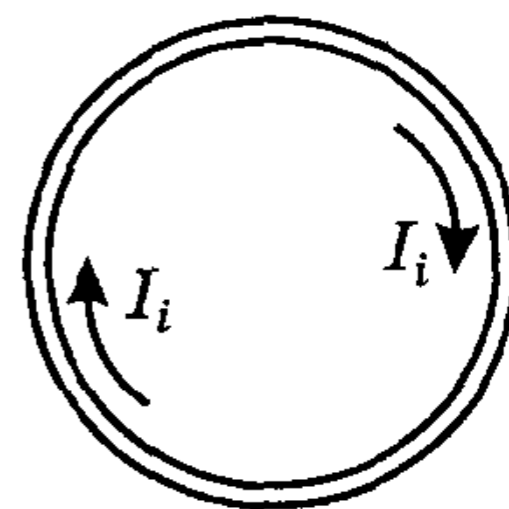


Рис. 166

A29. Когда по проводящему контуру течет ток силой 2 А, этот контур пересекает магнитный поток 8 Вб, созданный магнитным полем тока. Индуктивность этого контура равна

1) 16 Гн

2) 6 Гн

3) 4 Гн

4) 5 Гн

A30. Сила тока в соленоиде была равна 2 А. При увеличении ее на 3 А энергия магнитного поля соленоида увеличилась в

1) 1,5 раза

2) 2,5 раза

3) 6,25 раза

4) 4,5 раза

A20. Носителями зарядов в газовом разряде являются ионы обоих знаков и электроны.

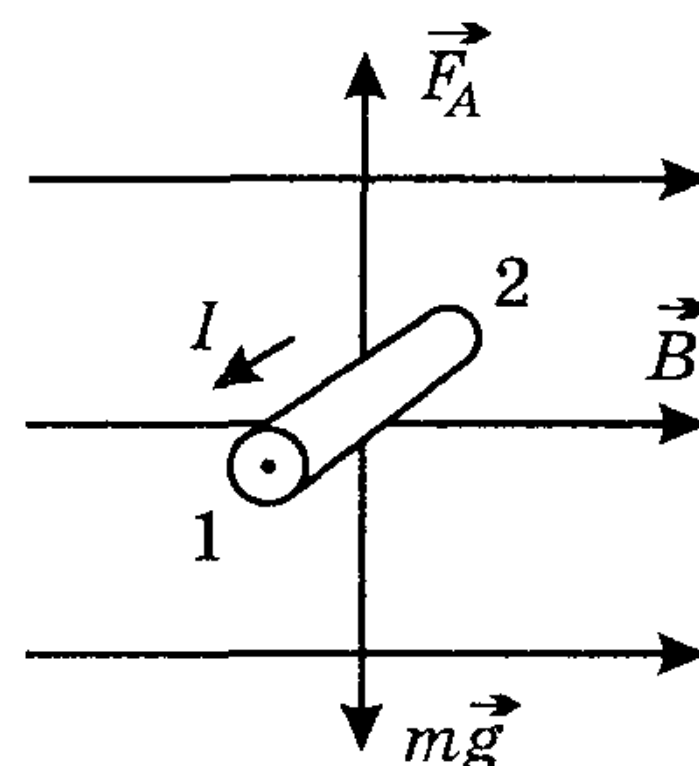
Правильный ответ 4).

Рис. 172

A21. Свернем четыре пальца правой руки в направлении тока в контуре — по часовой стрелке — тогда большой палец, отставленный на 90° , будет направлен туда же, куда и вектор магнитной индукции поля этого тока — вниз (рис. 172).

Правильный ответ 2).

A22. На висящий в магнитном поле проводник действует сила тяжести, направленная вниз (рис. 173). Поэтому она должна быть уравновешена направленной вверх силой Ампера. Применив правило левой руки — вектор \vec{B} входит в ладонь левой руки, а ее четыре пальца направлены по току I , т. е. от чертежа к наблюдателю — убедимся, что ток в проводнике направлен от точки 2 к точке 1.



Правильный ответ 4).

Рис. 173

A23. Заряженная частица, скорость которой направлена перпендикулярно магнитным линиям, движется по окружности с центростремительным ускорением, направленным по радиусу к центру окружности. По второму закону Ньютона произведение ее массы и центростремительного ускорения равно действующей на частицу силе Лоренца:

$$ma = F_L,$$

где, согласно формуле 215), при $\alpha = 90^\circ$

$$F_L = Bqv,$$

поэтому $ma = Bqv$, откуда

$$a = \frac{Bqv}{m}.$$

Правильный ответ 2).

A24. Единицей магнитной индукции в СИ является тесла (Тл).
Правильный ответ 4).

A25. Согласно формуле 216) $\Phi = BS \cos \alpha$ магнитный поток Φ равен произведению магнитной индукции B , площади поверхности S и косинуса угла α между вектором \vec{B} и нормалью к плоскости \vec{n} . Но нам известен угол φ между вектором \vec{B} и плоскостью. Из рис. 174 следует, что угол $\alpha = 90^\circ - \varphi = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$. С учетом этого

$$\Phi = 2 \cdot 40 \cdot 10^{-4} \cdot \cos 60^\circ \text{ Вб} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Вб} = 4 \text{ мВб}.$$

Правильный ответ 1).

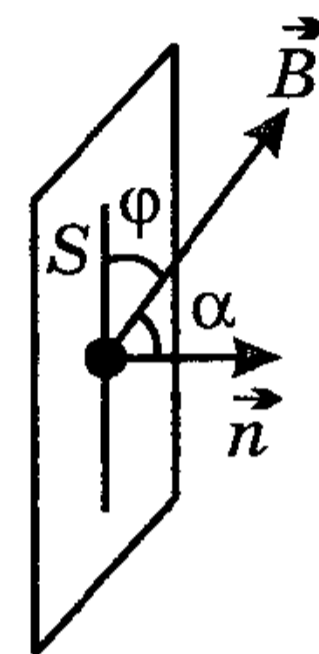


Рис. 174

A26. ЭДС индукции и индукционный ток в контуре возникают только тогда, когда изменяется магнитный поток сквозь рамку. Но если рамку двигать вдоль линий магнитной индукции вперед или назад или перемещать в однородном поле в плоскости чертежа, все равно куда, магнитный поток сквозь рамку будет оставаться постоянным. И только если вращать рамку вокруг любой из ее сторон, он станет меняться, и тогда в рамке возникнет индукционный ток.

Правильный ответ 4).

A27. ЭДС индукции, возникающая в поступательно движущемся в магнитном поле проводнике, равна разности потенциалов или напряжению на его концах. Из формулы 221) $\mathcal{E}_{i \max} = Bvl$ следует, что скорость поступательного движения проводника перпендикулярно магнитным линиям, равна

$$v = \frac{\mathcal{E}_{i \max}}{Bl} = \frac{U}{Bl} = \frac{1}{5 \cdot 0,5} \text{ м/с} = 0,4 \text{ м/с} = 40 \text{ см/с}.$$

Правильный ответ 2).

A28. Применив правило правого винта, убедимся, что вектор магнитной индукции \vec{B}_i поля индукционного тока направлен от наблюдателя за чертеж. Нам сказано, что магнитное поле, пересекающее контур, нарастает. Значит, по правилу Ленца, магнитное поле индукционного тока должно его ослаблять, поэтому вектор \vec{B}_i должен быть направлен против вектора магнитной индукции \vec{B} нарастающего поля. Следовательно,

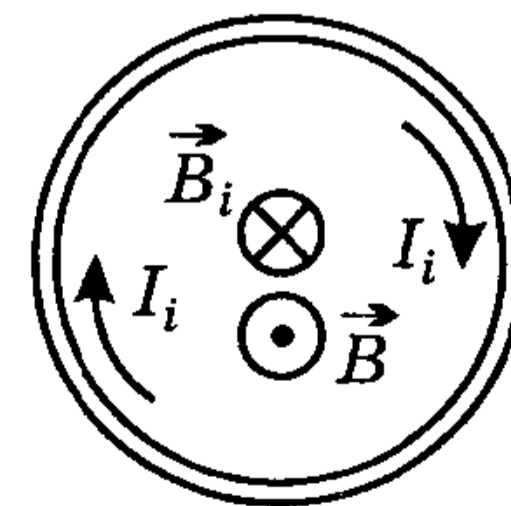


Рис. 175

вектор магнитной индукции нарастающего поля направлен от чертежа к наблюдателю (рис. 175).

Правильный ответ 4).

A29. Из формулы 217) $\Phi = LI$ следует, что индуктивность контура L равна отношению магнитного потока Φ к силе тока в контуре I :

$$L = \frac{\Phi}{I} = \frac{8}{2} \text{ Гн} = 4 \text{ Гн.}$$

Правильный ответ 3).

A30. Энергия магнитного поля определяется формулой 227). До увеличения тока она была равна:

$$W_1 = \frac{LI_1^2}{2}, \quad \text{где } I_1 = 2 \text{ А.}$$

После увеличения тока сила тока стала равна $2 \text{ А} + 3 \text{ А} = 5 \text{ А}$.
При этом энергия магнитного поля стала

$$W_2 = \frac{LI_2^2}{2}, \quad \text{где } I_2 = 5 \text{ А.}$$

Разделим эти равенства друг на друга:

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{LI_2^2 \cdot 2}{2 \cdot LI_1^2} = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 = \left(\frac{5}{2}\right)^2 = 6,25.$$

Правильный ответ 3).