

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОСТАТИКА.....	1
ПОСТОЯННЫЙ ТОК.....	6
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ.....	10
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ.....	16

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

$$q = N \cdot e,$$

где q — заряд тела (Кл); N — число элементарных зарядов; e — элементарный заряд, равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Если тело имеет *избыточные* (лишние) электроны, то тело заряжено *отрицательно*; если тело имеет *недостающие* электроны, то тело заряжено *положительно*.

Полный электрический заряд (q) системы равен алгебраической сумме ее положительных и отрицательных зарядов (q_1, q_2, \dots, q_N):

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_N.$$

Если заряд q рассоединить на несколько (N) одинаковых тел, то полученные заряды будут равны между собой, т.е.

$$q_0 = \frac{q}{N}.$$

$$F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon \cdot r^2},$$

где F — сила электрического взаимодействия двух точечных зарядов, расположенных в вакууме (Н); k — коэффициент пропорциональности, равный

$$\frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}; \varepsilon — \text{диэлектрическая проницаемость среды (табличная}$$

величина, см. таблицу 2 приложения); q_1 и q_2 — величины (*модули*) точечных неподвижных зарядов (Кл); r — расстояние между точечными зарядами (м); ε_0

— электрическая постоянная, равная $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$.

НАПОМИНАЮ:

- одноименные заряды отталкиваются;
- разноименные заряды притягиваются;
- силы электрического взаимодействия направлены вдоль линии, соединяющей взаимодействующие точечные заряды.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \text{ или } E = \frac{F}{q},$$

где E — напряженность электрического поля в данной точке пространства $\left(\frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \text{ или } \frac{\text{В}}{\text{м}}\right)$; F — сила, с которой электрическое поле действует на заряд q ,

помещенный в данную точку пространства (Н); q — заряд (Кл).

Значение напряженности электрического поля, созданного *точечным зарядом* Q , в данной точке пространства, находящейся на расстоянии r от заряда, равно

$$E = k \frac{|q|}{\varepsilon \cdot r^2},$$

где ε — диэлектрическая проницаемость среды (табличная величина, см. таблицу 2 приложения); k — коэффициент пропорциональности, равный

$$\frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

Направление вектора напряженности в данной точке пространства совпадает с направлением силы, с которой поле действует на *пробный* (положительный) заряд, помещенный в эту точку поля (рис. 1 а, б, где Q — заряд, создающий поле; q — пробный (*положительный*) заряд, помещенный в точку A ; E_A — напряженность поля, созданного зарядом Q , в точке A).

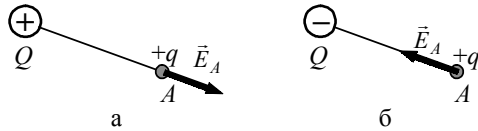


Рис. 1.

Можно определять направление напряженности точечных зарядов в некоторой точке A пространства и без пробных зарядов:

- напряженность направлена из точки A от *положительного* заряда Q , создающего поле;
- напряженность направлена из точки A к *отрицательному* заряду Q , вдоль линии, соединяющей заряд Q и точку A (проверьте на примере II.2.1).

Напряженность электрического поля системы точечных зарядов q_1, q_2, \dots, q_N в некоторой точке пространства равна геометрической сумме напряженностей полей, создаваемых каждым из этих зарядов в отдельности в той же точке:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N.$$

Значение напряженности электрического поля, созданного сферой радиуса R , имеющей заряд q , в данной точке пространства, находящейся на расстоянии l от центра сферы, равно

$$E = k \frac{|q|}{\varepsilon \cdot l^2}, \text{ если } l \geq R;$$

$$E = 0, \text{ если } l < R,$$

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{N_1}{N_2},$$

где $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$ — ЭДС в первичной и вторичной обмотках трансформатора (В); N_1, N_2 — число витков на первичной и вторичной обмотках трансформатора.

$$k = \frac{N_1}{N_2},$$

где k — коэффициент трансформации; N_1, N_2 — число витков на первичной и вторичной обмотках трансформатора.

Для *холостого хода* ($I_2 = 0$)

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2},$$

где U_1, U_2 — напряжение на первичной и вторичной обмотках трансформатора (В); N_1, N_2 — число витков на первичной и вторичной обмотках трансформатора; I_2 — сила тока на вторичной обмотке трансформатора (А).

Для *рабочего хода* ($I_2 \neq 0$)

$$\eta_{\text{тр}} = \frac{P_2}{P_1},$$

где $\eta_{\text{тр}}$ — КПД трансформатора; $P_1 = U_1 \cdot I_1, P_2 = U_2 \cdot I_2$ — мощности на первичной и вторичной обмотках трансформатора (Вт); I_1, I_2 — силы тока на первичной и вторичной обмотках трансформатора (А); U_1, U_2 — напряжения на первичной и вторичной обмотках трансформатора (В).

Если $\eta_{\text{тр}} = 1$, то для *рабочего хода*

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2},$$

где $\eta_{\text{тр}}$ — КПД трансформатора; I_1, I_2 — сила тока на первичной и вторичной обмотках трансформатора (А); U_1, U_2 — напряжение на первичной и вторичной обмотках трансформатора (В).

тивное и емкостное сопротивления соответственно (Ом).

Закон Ома для последовательного участка цепи переменного тока, содержащего резистор сопротивлением R , конденсатор с емкостным сопротивлением X_C и катушку с индуктивным сопротивлением X_L

$$i = \frac{u}{Z}; I_m = \frac{U_m}{Z}; I = \frac{U}{Z},$$

где i — мгновенное значение силы тока (А); I_m — амплитудное значение силы тока (А); I — действующее значение силы тока (А); u — мгновенное значение напряжения (В); U_m — амплитудное значение напряжения (В); U — действующее значение напряжения (В); $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ — полное сопротивление цепи (Ом).

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z},$$

где $\cos \varphi$ — коэффициент мощности; R — активное сопротивление (Ом); Z — полное сопротивление цепи (Ом).

Различают следующие виды мощностей переменного тока:

- *мгновенная мощность* переменного тока (Вт)

$$p = i \cdot u;$$

- *средняя мощность* переменного тока (Вт)

$$\langle P \rangle = I \cdot U, \quad \langle P \rangle = \frac{I_m \cdot U_m}{2};$$

- *мощность (активная)* переменного тока (Вт)

$$P = I \cdot U \cos \varphi,$$

где i — мгновенное значение силы тока (А); I — действующее значение силы тока (А); u — мгновенное значение напряжения (В); U — действующее значение напряжения (В); $\cos \varphi$ — коэффициент мощности.

Условие резонанса:

$$\nu_{\text{внеш}} = \nu_{\text{соб}},$$

где $\nu_{\text{внеш}}$ — частота внешнего переменного напряжения (Гц); $\nu_{\text{соб}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$ — собственная частота колебательного контура (Гц).

$$\nu_{\text{тока}} = n \cdot \nu_{\text{генер}},$$

где $\nu_{\text{тока}}$ — частота переменного тока (стандартная частота равна 50 Гц) (Гц); $\nu_{\text{генер}}$ — частота вращения ротора генератора (Гц); n — число пар магнитных полюсов генератора.

где ε — диэлектрическая проницаемость среды (табличная величина, см. таблицу 2 приложения); k — коэффициент пропорциональности, равный

$$\frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

$$\sigma = \frac{q}{S},$$

где σ — поверхностная плотность электрического заряда, распределенного по поверхности тела площади S (Кл/м²); q — заряд тела (Кл); S — площадь (м²).

Значение напряженности электрического поля, созданного заряженной бесконечной пластиной с поверхностной плотностью заряда σ , равно

$$E = \frac{|\sigma|}{2\varepsilon_0 \cdot \varepsilon},$$

где ε — диэлектрическая проницаемость среды (табличная величина, см. таблицу 2 приложения); ε_0 — электрическая постоянная (см. таблицу 1 приложения).

$$A = q \cdot E \cdot \Delta d,$$

где A — работа электростатического поля при перемещении заряда (Дж); q — заряд тела (Кл); E — значение напряженности электрического поля (Н/Кл); $\Delta d = \Delta r \cdot \cos \alpha = d_2 - d_1$ — проекция перемещения заряда на ось, направленную вдоль силовой линии (м); Δr — перемещение заряда (м); α — угол между направлением перемещения и силовой линией; d_2 и d_1 — координаты заряда в конечном и начальном положении соответственно (м).

$$W = -q \cdot E \cdot d,$$

где W — потенциальная энергия заряда в однородном электростатическом поле (Дж); q — заряд (Кл); E — значение напряженности электрического поля (Н/Кл); d — координата заряда на ось, направленную вдоль силовой линии (м).

$$A = -\Delta W,$$

где A — работа электростатического поля при перемещении заряда (Дж); $\Delta W = W_2 - W_1$ — изменение потенциальной энергии заряда в однородном электростатическом поле (Дж); W_2 и W_1 — потенциальные энергии заряда в конечном и начальном положении соответственно (Дж).

$$W = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{\varepsilon \cdot r},$$

где W — потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов (Дж); q_1 и q_2 — взаимодействующие заряды (Кл); ε — диэлектрическая проницае-

мость среды (табличная величина, см. таблицу 2 приложения); r — расстояние между зарядами (м); k — коэффициент пропорциональности, равный

$$\frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

Потенциальная энергия взаимодействия системы точечных зарядов $q_1, q_2, q_3, \dots, q_N$ равна сумме потенциальных энергий всех пар взаимодействующих зарядов:

$$W = W_{12} + W_{13} + \dots + W_{1N} + W_{23} + \dots + W_{(N-1)N},$$

где $W_{12}, W_{13}, \dots, W_{1N}$ — энергия взаимодействия первого заряда со вторым, с третьим, ..., с N -ым зарядом соответственно; W_{23} — энергия взаимодействия второго заряда с третьим и т.д.

$$\varphi = \frac{W}{q},$$

где φ — потенциал электрического поля (В); q — заряд (Кл); W — потенциальная энергия заряда (Дж).

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q} \text{ или } A = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2),$$

где $\varphi_1 - \varphi_2$ — разность потенциалов (В); A — работа электрического поля при перемещении заряда (Дж); q — заряд (Кл).

Значение потенциала электрического поля, созданного точечным зарядом q , в данной точке пространства, находящейся на расстоянии r от заряда, равно

$$\varphi = k \frac{q}{\varepsilon \cdot r},$$

где ε — диэлектрическая проницаемость среды (табличная величина, см. таблицу 2 приложения); k — коэффициент пропорциональности, равный

$$\frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

Знак потенциала совпадает со знаком заряда.

Значение потенциала электрического поля, созданного сферой радиуса R , имеющей заряд q , в данной точке пространства, находящейся на расстоянии l от центра сферы, равно

$$\varphi = k \frac{q}{\varepsilon \cdot l}, \text{ если } l > R;$$

$$\varphi = k \frac{q}{\varepsilon \cdot R}, \text{ если } l \leq R,$$

емкость конденсатора (Ф); U_m — амплитуда напряжения (В); I_m — амплитуда силы тока (А); L — индуктивность катушки (Гн).

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

где U — действующее значение напряжения (В); U_m — амплитуда напряжения (В); I — действующее значение силы тока (А); I_m — амплитуда силы тока (А).

ЗАПОМНИТЕ, что измерительные приборы (амперметр, вольтметр) показывают действующее значение величин.

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C},$$

где X_C — емкостное сопротивление (Ом); ω — циклическая частота (рад/с); C — емкость конденсатора (Ф).

НАПОМИНАЮ:

• *реактивные сопротивления* — это сопротивления конденсатора и катушки индуктивности.

$$X_L = L \cdot \omega,$$

где X_L — сопротивление индуктивное (Ом); ω — циклическая частота (рад/с); L — индуктивность катушки (Гн).

Закон Ома для участка цепи переменного тока, содержащего *только*

• резистор сопротивлением R (*активное сопротивление*)

$$i = \frac{u}{R}; \quad I_m = \frac{U_m}{R}; \quad I = \frac{U}{R};$$

• конденсатор с емкостным сопротивлением X_C

$$i = \frac{u}{X_C}; \quad I_m = \frac{U_m}{X_C}; \quad I = \frac{U}{X_C};$$

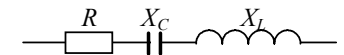
• катушку с индуктивным сопротивлением X_L

$$i = \frac{u}{X_L}; \quad I_m = \frac{U_m}{X_L}; \quad I = \frac{U}{X_L},$$

где i — мгновенное значение силы тока (А); I_m — амплитудное значение силы тока (А); I — действующее значение силы тока (А); u — мгновенное значение напряжения (В); U_m — амплитудное значение напряжения (В); U — действующее значение напряжения (В).

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2},$$

где Z — полное сопротивление для последовательного участка цепи переменного тока (Ом); R , X_L и X_C — активное, индук-



катушки (м); N — число витков; S — площадь поперечного сечения катушки (м^2).

$$\text{НАПОМИНАЮ: } S_{\text{круга}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \pi R^2.$$

$$W_{\text{м}} = \frac{L \cdot I^2}{2}$$

где $W_{\text{м}}$ — энергия магнитного поля тока (Дж); L — индуктивность контура (катушки) (Гн); I — сила тока (А).

$$\omega_{\text{м}} = \frac{W_{\text{м}}}{V},$$

где $\omega_{\text{м}}$ — объемная плотность энергии магнитного поля ($\text{Дж}/\text{м}^3$); $W_{\text{м}}$ — энергия магнитного поля (Дж); V — объем (м^3).

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Уравнения электромагнитных гармонических колебаний имеют вид

синусоидальные	косинусоидальные
$q = Q_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0);$	$q = Q_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_0);$
$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0);$	$i = I_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_0);$
$u = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0);$	$u = U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_0);$
$e = \mathcal{E}_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0);$	$e = \mathcal{E}_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_0);$

где ω — циклическая частота (рад/с); t — время (с); φ_0 — начальная фаза (рад); q и Q_m — мгновенное и амплитудное (максимальное) значения заряда (Кл); i и I_m — мгновенное и амплитудное значения силы тока (А); u и U_m — мгновенное и амплитудное значения напряжения (В); e и \mathcal{E}_m — мгновенное и амплитудное значения ЭДС (В).

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C},$$

где T — период (с); C — емкость конденсатора (Ф); L — индуктивность катушки (Гн).

$$W_{\text{полн}} = W_{\text{эл макс}} = W_{\text{маг макс}}; W_{\text{эл макс}} = \frac{C \cdot U_m^2}{2}, W_{\text{маг макс}} = \frac{L \cdot I_m^2}{2}$$

где $W_{\text{полн}}$, $W_{\text{эл макс}}$, $W_{\text{маг макс}}$ — энергии колебательного контура (полная, максимальная электрического поля, максимальная магнитного поля) (Дж); C —

где ε — диэлектрическая проницаемость среды (табличная величина, см. таблицу 2 приложения); k — коэффициент пропорциональности, равный $\frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

Потенциал электрического поля φ , созданного несколькими электрическими полями с потенциалами φ_1 , φ_2 и т.д. равен алгебраической сумме этих потенциалов:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U,$$

где $\varphi_1 - \varphi_2$ — разность потенциалов (В); U — напряжение (В).

$$E = \frac{U}{\Delta d} \text{ или } U = E \cdot \Delta d,$$

где E — напряженность однородного электрического поля (Н/Кл или В/м); U — напряжение между двумя точками 1 и 2 (В); $\Delta d = l \cdot \cos \alpha = d_2 - d_1$ — проекция перемещения заряда на ось, направленную вдоль силовой линии (м); l — расстояние между точками 1 и 2 (м); α — угол между отрезком l и силовой линией; d_1 и d_2 — координаты точек 1 и 2 соответственно (м).

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E} \text{ или } E = \frac{E_0}{\varepsilon},$$

где ε — диэлектрическая проницаемость среды (табличная величина, см. таблицу 2 приложения); E — напряженность электрического поля в диэлектрике (В/м); E_0 — напряженность электрического поля в вакууме (В/м).

$$C = \frac{q}{U},$$

где C — емкость проводником (Ф); q — заряд проводников (Кл); $U = \varphi_1 - \varphi_2$ — разность потенциалов (напряжение) между проводниками (В).

$$C = \frac{q}{\varphi},$$

где C — емкость уединенного проводника (Ф); φ — потенциал проводника (В); q — заряд проводника (Кл).

Емкость уединенного шара радиусом R , расположенного в однородном диэлектрике, равна

$$C = \frac{\varepsilon \cdot R}{k} \text{ или } C = 4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot R,$$

где ε — диэлектрическая проницаемость диэлектрика (табличная величина, см. таблицу 2 приложения); k — коэффициент пропорциональности, равный

$$\frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

$$C = \frac{q}{U},$$

где C — емкость конденсатора (Ф); q — заряд конденсатора (Кл); $U = \varphi_1 - \varphi_2$ — разность потенциалов (напряжение) между обкладками конденсатора (В).

Емкость плоского конденсатора равна

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d},$$

где ε — диэлектрическая проницаемость вещества между обкладками (табличная величина, см. таблицу 2 приложения); ε_0 — электрическая постоянная (см. таблицу 1 приложения); d — расстояние между обкладками (пластинами) (м); S — площадь обкладки (м²).

Емкость батареи, состоящая из конденсаторов емкостью $C_1, C_2, C_3, \dots, C_N$:

- при параллельном соединении равна:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N;$$

- при последовательном соединении равна:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_N}.$$

ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ, что если $C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_N$, то

- при параллельном соединении: $C = N \cdot C_1$;
- при последовательном соединении: $C = \frac{C_1}{N}$.

$$W = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{q \cdot U}{2} = \frac{q^2}{2C},$$

где W — энергия заряженного конденсатора (Дж); C — емкость конденсатора (Ф); U — разность потенциалов (напряжение) (В).

ПОСТОЯННЫЙ ТОК

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

где I — сила тока (А); Δq — заряд, прошедший через поперечное сечение проводника (Кл); Δt — промежуток времени прохождения тока (с).

С учетом этого можно сформулировать следующее *правило левой руки* для определения направления *индукционного тока* в движущемся проводнике: нужно расположить левую руку так, чтобы вектор магнитной индукции входил в ладонь, четыре пальца совпадали с направлением движения проводника, тогда отставленный на 90° большой палец укажет направление индукционного тока.

ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ:

- если проводник (частица) движется вдоль вектора магнитной индукции, то индукционного тока не будет (сила Лоренца равна нулю);
- ток не может идти поперек проводника (заряды под действием силы Лоренца смещаются к стенкам проводников и создавать ток не будут).

$$\mathcal{E}_i = v \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha,$$

где \mathcal{E}_i — ЭДС индукции (В); v — скорость движения проводника (м/с); B — модуль вектора магнитной индукции (Тл); l — длина проводника (м); α — угол между направлением движения проводника и вектором магнитной индукции.

$$L = \frac{\Phi}{I} \text{ или } \Phi = L \cdot I,$$

где L — индуктивность контура (катушки) (Гн); Φ — магнитный поток (Вб); I — сила тока (А); N — число витков.

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

где \mathcal{E}_{is} — ЭДС самоиндукции (В); L — индуктивность катушки (Гн); $\Delta I = I_2 - I_1$ — изменение сила тока от I_1 до I_2 (А); Δt — время изменения силы тока (с); $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ — скорость изменения силы тока (А/с).

ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ:

- знак «−» учитывать будем в задачах, где указано как изменяется (увеличивается или уменьшается) сила тока;
- при увеличении тока ($\Delta I > 0$), ЭДС отрицательная ($\mathcal{E}_{is} < 0$);
- при уменьшении тока ($\Delta I < 0$), ЭДС положительная ($\mathcal{E}_{is} > 0$).

$$L = \mu \cdot \mu_0 \cdot N^2 \cdot \frac{S}{l},$$

где L — индуктивность катушки (Гн); μ — магнитная проницаемость среды, для воздуха $\mu = 1$; μ_0 — магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$; l — длина

$$F_{\text{л}} = q \cdot v B \sin \alpha,$$

где $F_{\text{л}}$ — сила Лоренца (Н); q — модуль заряда (Кл); v — скорость частицы (м/с); B — модуль вектора магнитной индукции (Тл); α — угол между скоростью движения положительного заряда и вектором магнитной индукции.

ЗАПОМНИТЕ, что при движении частицы массой m со скоростью v перпендикулярно к вектору магнитной индукции поля, ее траектория будет окружностью радиуса R , плоскость которой перпендикулярна к магнитному полю. Тогда 2-ой закон Ньютона можно записать в следующем виде:

$$m \cdot a_{\text{ц}} = F_{\text{л}} \text{ или } \frac{m \cdot v^2}{R} = q \cdot v \cdot B.$$

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha,$$

где Φ — магнитный поток (Вб); B — модуль вектора магнитной индукции (Тл); S — площадь контура (м^2); α — угол между вектором магнитной индукции и нормалью (\vec{n}) к контуру.

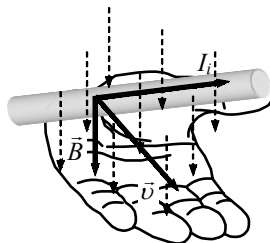
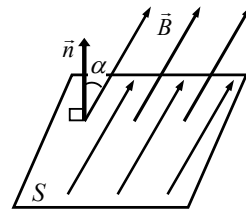
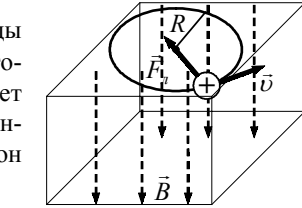
$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \cdot N,$$

где \mathcal{E}_i — ЭДС индукции (В); N — число витков; Δt — время изменения магнитного потока (с); $\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ — изменение магнитного потока от Φ_1 до Φ_2 (Вб); $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ — скорость изменения магнитного потока (Вб/с или В).

ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ:

- знак « \rightarrow » учитывать будем в задачах, где указано как изменяется (увеличивается или уменьшается) магнитный поток;
- при увеличении потока ($\Delta \Phi > 0$), ЭДС отрицательная ($\mathcal{E} < 0$);
- при уменьшении потока ($\Delta \Phi < 0$), ЭДС положительная ($\mathcal{E} > 0$).

ЗАПОМНИТЕ: индукционный ток в проводниках, движущихся в магнитном поле, возникает за счет действия на свободные заряды проводника силы Лоренца. Поэтому направление индукционного тока в проводнике будет совпадать с направлением составляющей силы Лоренца на этот проводник.



$$j = \frac{I}{S},$$

где j — плотность тока (А/м^2); I — сила тока (А); S — площадь поперечного сечения проводника (м^2).

$$I = q \cdot n \cdot S \cdot \langle v_{\text{д}} \rangle; j = q \cdot n \cdot \langle v_{\text{д}} \rangle,$$

где I — сила тока (А); q — заряд частицы (Кл) (для металлов $q = e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл); n — концентрация свободных заряженных частиц (м^{-3}); S — площадь поперечного сечения проводника (м^2); $\langle v_{\text{д}} \rangle$ — средняя скорость упорядоченного движения (скорость дрейфа) зарядов проводимости (м/с); j — плотность тока (А/м^2).

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S},$$

где R — сопротивление проводника (Ом); ρ — удельное сопротивление проводника — табличная величина (см. таблицу 6 приложения) ($\text{Ом} \cdot \text{м}$ или $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$); l — длина проводника (м); S — площадь поперечного сечения проводника (м^2 или мм^2).

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \Delta t),$$

где R — сопротивление проводника при некоторой температуре t (Ом); R_0 — сопротивление проводника при температуре $t_0 = 0$ °С (Ом); α — температурный коэффициент сопротивления (табличная величина) ($^{\circ}\text{C}^{-1}$); $\Delta t = t - t_0$ — изменение температуры ($^{\circ}\text{C}$).

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \Delta t),$$

где ρ — удельное сопротивление проводника при некоторой температуре t ($\text{Ом} \cdot \text{м}$ или $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$); ρ_0 — удельное сопротивление проводника при температуре $t_0 = 0$ °С ($\text{Ом} \cdot \text{м}$ или $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$); α — температурный коэффициент сопротивления (табличная величина) ($^{\circ}\text{C}^{-1}$); $\Delta t = t - t_0$ — изменение температуры ($^{\circ}\text{C}$).

$$I = \frac{U}{R} \text{ или } R = \frac{U}{I}, \text{ или } U = I \cdot R,$$

где I — сила тока, проходящая через проводник (А); R — сопротивление проводника (Ом); U — напряжение на проводнике (В).

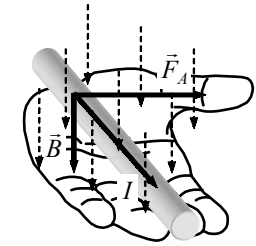
соединение	формулы	схема
Последовательное	$R = R_1 + R_2 + \dots + R_N;$ если $R_1 = R_2 = \dots = R_N,$ то $R = N \cdot R_1.$	
Параллельное	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$ если $R_1 = R_2 = \dots = R_N,$ то $R = \frac{R_1}{N}.$	

соединение	формулы	схема
последовательное:	$I = I_1 = I_2 = \dots = I_N;$ $U = U_1 + U_2 + \dots + U_N;$ если $R_1 = R_2 = \dots = R_N,$ то $U = N \cdot U_1.$	
параллельное:	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_N;$ $U = U_1 = U_2 = \dots = U_N;$ если $R_1 = R_2 = \dots = R_N,$ то $I = N \cdot I_1.$	

$$A = Q \text{ или } A = U \cdot I \Delta t, \text{ или } A = I^2 \cdot R \cdot \Delta t, \text{ или } A = \frac{U^2}{R} \cdot \Delta t,$$

где Q — количество теплоты (Дж); A — работа электрического тока или израсходованная электроэнергия (Дж); U — напряжение (В); I — сила тока (А); Δt — время (с); R — сопротивление (Ом).

ЗАПОМНИТЕ, что для определения направления силы Ампера применяют *правило левой руки*: если ладонь левой руки расположить так, чтобы перпендикулярная к проводнику составляющая вектора индукции (\vec{B}) входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали бы направление тока (I), то отогнутый на 90° большой палец укажет направление силы Ампера (\vec{F}_A).



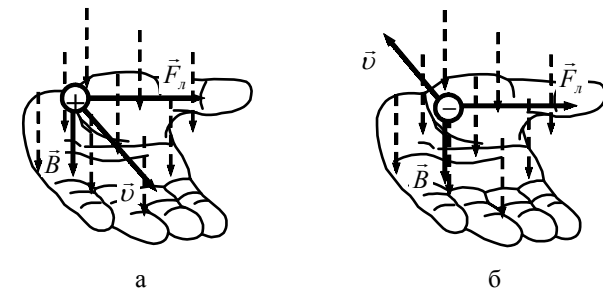
$$F_A = I \cdot B \cdot \Delta l \sin \alpha,$$

где F_A — сила Ампера (Н); B — модель вектора магнитной индукции (Тл); I — сила тока (А); Δl — длина проводника (м); α — угол между проводником и вектором магнитной индукции.

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

где B — модуль вектора магнитной индукции (Тл); M_{\max} — максимальный вращающий момент сил, действующий на рамку с током, находящуюся в магнитном поле (Н·м); I — сила тока в рамке (А); S — площадь рамки (м²).

Для определения направления силы Лоренца применяют *правило левой руки*: если левую руку расположить так, чтобы перпендикулярная к скорости частицы (\vec{v}) составляющая магнитной индукции (\vec{B}) входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали бы направления движения *положительно заряженной частицы*, то отогнутый на 90° большой палец укажет направление силы Лоренца (\vec{F}_L), действующей со стороны магнитного поля на частицу (рис. 1 а). Для *отрицательной частицы* четыре вытянутых пальца направляют против движения частицы (рис. б).

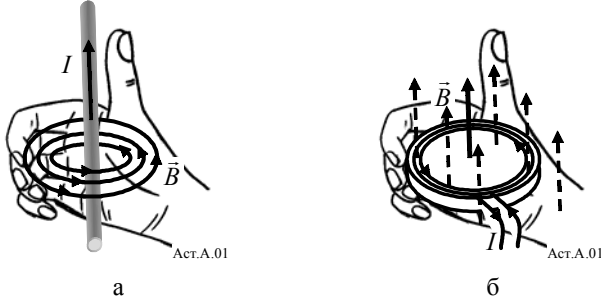


а

б

а) для прямого проводника с током правило правой руки имеет следующий вид: большой палец правой руки, отставленный на 90° , направляем по току, тогда четыре согнутых пальца, обхватывающей проводник, укажут направление вектора магнитной индукции (рис. а).

б) для витка (катушки) с током правило правой руки имеет следующий вид: четыре согнутых пальца правой руки, обхватывающей виток (катушку), направляем по току, тогда большой палец, отставленный на 90° , укажет направление вектора магнитной индукции (рис. б).



$$B_{\text{пр}} = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r},$$

где $B_{\text{пр}}$ — индукция магнитного поля бесконечного прямолинейного проводника в данной точке (Тл); μ — магнитная проницаемость среды (для воздуха $\mu \approx 1$); μ_0 — магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}}$; I — сила тока в проводнике (А); r — расстояние от проводника до данной точки (м).

$$B_{\text{кр}} = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I}{2R},$$

где $B_{\text{кр}}$ — индукция магнитного поля в центре кругового тока (кольца) (Тл); μ — магнитная проницаемость среды (для воздуха $\mu \approx 1$); μ_0 — магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}}$; I — сила тока (А); R — радиус кольца с током (м).

$$B_{\text{кт}} = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I \cdot N}{L},$$

где $B_{\text{кт}}$ — индукция магнитного поля в середине цилиндрической катушки (соленоида) длиной L (Тл); μ — магнитная проницаемость среды (для воздуха $\mu \approx 1$); μ_0 — магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}}$; N — число витков катушки; I — сила тока (А); L — длина катушки (м).

$$P = \frac{A}{\Delta t} \text{ или } P = U \cdot I, \text{ или } P = I^2 \cdot R, \text{ или } P = \frac{U^2}{R},$$

где P — мощность тока (Вт); U — напряжение (В); I — сила тока (А); R — сопротивление (Ом).

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$$

где \mathcal{E} — ЭДС источника (В); $A_{\text{ст}}$ — работа сторонних сил по перемещению заряда (Дж); q — величина перемещаемого заряда (Кл).

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

где I — сила тока в цепи (А); \mathcal{E} — ЭДС источника (В); R — внешнее сопротивление (Ом); r — сопротивление источника (Ом).

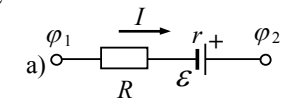
ЗАПОМНИТЕ, что при коротком замыкании сопротивление внешней части цепи стремится к нулю, т.е. $R \approx 0$, тогда

$$I_{\text{к}} = \frac{\mathcal{E}}{r},$$

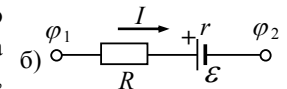
где $I_{\text{к}}$ — ток короткого замыкания (А); \mathcal{E} — ЭДС источника (В); r — сопротивление источника (Ом).

ЗАПОМНИТЕ, что на неоднородном участке цепи сила тока определяется по формуле

$$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) \pm \mathcal{E}}{R_{1/2}},$$



где \mathcal{E} — ЭДС источника, знак ЭДС определяем по мнемоническому правилу: при переходе вдоль тока через источник ЭДС берется с последним знаком, т.е. на рис. а — знак «+»; на рис. б — знак «-» (В); $\varphi_1 - \varphi_2$ — разность потенциалов на участке цепи (В); $R_{1/2} = R + r$ — сопротивление участка (Ом).



Для замкнутой цепи, мощность, выделяемая на внешнем участке цепи, называется полезной мощностью. Она равна

$$P_{\text{пол}} = I^2 \cdot R \text{ или } P_{\text{пол}} = \frac{\mathcal{E}^2 \cdot R}{(R + r)^2}.$$

Для замкнутой цепи, мощность, выделяемая на внутреннем сопротивлении источника, называется теряемой мощностью. Она равна

$$P_{\text{тер}} = I^2 \cdot r \text{ или } P_{\text{тер}} = \frac{\mathcal{E}^2 \cdot r}{(R+r)^2}.$$

Полная мощность источника тока равна

$$P = P_{\text{пол}} + P_{\text{тер}} \text{ или } P = \frac{\mathcal{E}^2}{R+r},$$

где P — полная мощность источника тока (Вт); $P_{\text{пол}}$ — полезная мощность (Вт); $P_{\text{тер}}$ — теряемая мощность (Вт); \mathcal{E} — ЭДС источника (В); I — сила тока в цепи (А); R — внешнее сопротивление (Ом); r — сопротивление источника (Ом).

$$\eta = \frac{P_{\text{пол}}}{P} \text{ или } \eta = \frac{R}{R+r},$$

где η — КПД источника тока; P — полная мощность источника тока (Вт); $P_{\text{пол}}$ — полезная мощность (Вт); R — внешнее сопротивление (Ом); r — сопротивление источника (Ом).

При соединении N источников тока с $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_N$ и сопротивлениями r_1, r_2, \dots, r_N :

последовательно

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_N \text{ (с учетом знака); } r = r_1 + r_2 + \dots + r_N;$$

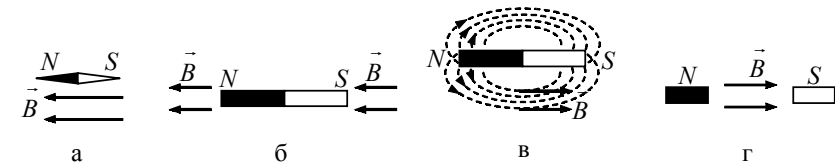
параллельно одноименными полюсами, если $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \dots = \mathcal{E}_N$

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1; \frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_N}.$$

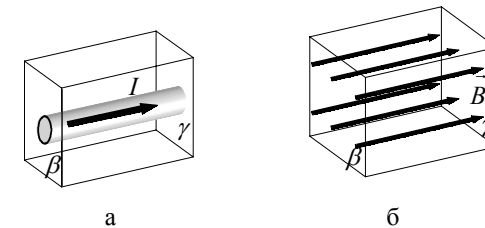
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

ЗАПОМНИТЕ: за направление вектора магнитной индукции принято следующие направления:

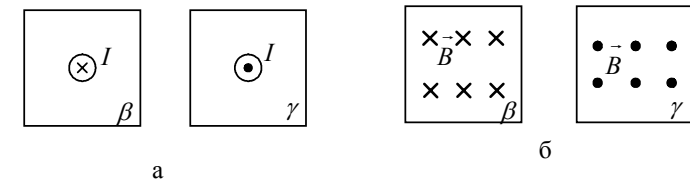
- для свободной магнитной стрелки — от южного (S) полюса стрелки к северному (N) (рис. а);
- для плоского магнита — от южного (S) полюса магнита или к северному (N) (рис. б), НО вдоль плоского магнита — от северного (N) полюса магнита к южному (S) (рис. в — пунктиром показаны линии индукции);
- между полюсами магнитов (подковообразного магнита) — от северного (N) полюса магнита к южному (S) (рис. г).



ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ, что в данной теме для изображения векторов, перпендикулярных плоскости рисунка применяют условные обозначения. Например: а) по проводнику течет ток (рис. а); б) в данной области существует однородное магнитное поле с индукцией \vec{B} (рис. б).



Тогда в плоскостях β (боковая левая грань) и γ (боковая правая грань) направление векторов будем изображать так, как на рис. а (окружности на данном рисунке — это сечения проводника) и б.



Для ориентации в трехмерном пространстве будем использовать названия направлений, которые указаны на рис. (плоскость α лежит в плоскости листа, плоскость γ перпендикулярна плоскости листа).

ЗАПОМНИТЕ: для определения направления вектора магнитной индукции проводника с током применяют правило буравчика или *правило правой руки*:

