

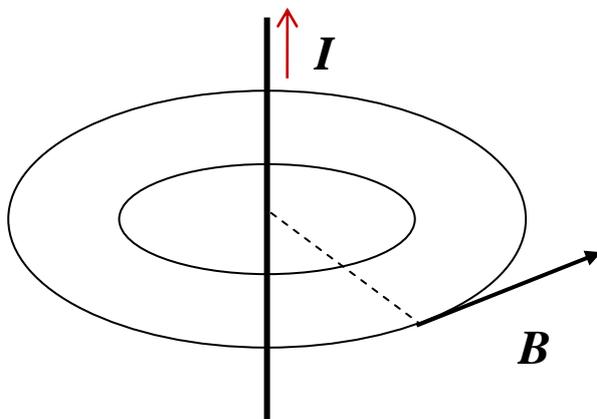
11 класс, Экспресс-подготовка к ЕГЭ по физике

Теоретический обзор к занятию 7.

Темы: магнитное поле, его действие на заряды и токи, явление электромагнитной индукции.

Магнитное взаимодействие – это взаимодействие движущихся зарядов, зависящее от их скорости. Собственно для зарядов при скоростях движения, малых по сравнению со скоростью света это взаимодействие обычно является слабой поправкой к электрическому. Поэтому чаще всего оно рассматривается как взаимодействие токов, описываемое **законом Ампера**: два параллельных провода с током на расстоянии r притягиваются, если токи в них сонаправлены и отталкиваются при противоположном направлении токов, причем сила, действующая на участок длиной Δl , равна $F_A = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{r} \Delta l$.

Это взаимодействие также можно описать, считая, что ток создает магнитное поле, силовые линии которого – окружности в плоскости, перпендикулярной проводу, обходящие ток в положительном направлении (т.е. против часовой стрелки, если смотреть навстречу току) величиной $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r}$:



а поле действует на ток с силой Ампера $F_A = I B \Delta l$ (здесь ток и линии индукции перпендикулярны, а сила направлена перпендикулярна им).

Отметим, что именно закон Ампера используется для определения единицы измерения тока в системе СИ.

Некоторые вещества – *магнетики* – способны усиливать или ослаблять поле за счет внутренней *намагниченности*. Этот эффект описывают, заменяя в этих формулах μ_0 на $\mu_0 \cdot \mu$, где μ называют *относительной магнитной проницаемостью*, а μ_0 – *магнитной проницаемостью вакуума*.

Из источников магнитного поля в школьном курсе рассматривают постоянные магниты (изготовленные из магнетика с очень большой магнитной проницаемостью, способного длительное время сохранять остаточную намагниченность после выключения намагничивающего поля) и контура с током.

Катушка индуктивности (соленоид) – провод, намотанный витками на сердечник (обычно из магнетика). При пропускании тока I в соленоиде длиной l , на который намотано N витков, создается почти однородное магнитное поле $B = \mu_0 \mu \frac{N}{l} I$. Магнитный поток через каждый виток соленоида площадью S равен $B \cdot S$, а полный поток через соленоид $\Phi = \mu_0 \mu N^2 \frac{S}{l} I \equiv L \cdot I$.

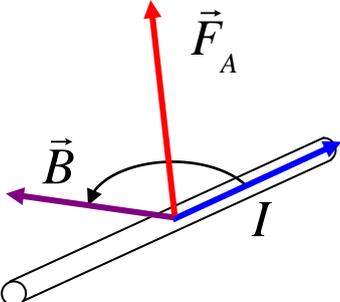
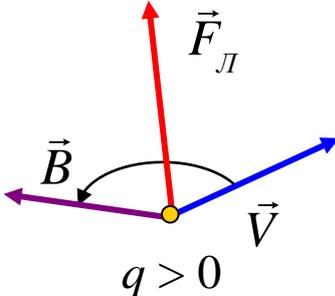
Величина L , равная отношению магнитного потока через контур к току в нем, называется индуктивностью (или коэффициентом самоиндукции). Как видно из примера с соленоидом,

индуктивность зависит от геометрических параметров контура и свойств сердечника. Энергия катушки индуктивности, запасенная в виде магнитного поля, равна $E_L = \frac{LI^2}{2}$.

Действие магнитного поля на контур с током можно описать, считая, что на каждый элемент контура $\Delta \vec{l}$ (этот вектор ориентирован по касательной к контуру в направлении тока) в поле с индукцией \vec{B} действует сила $\vec{F}_A = I[\Delta \vec{l} \times \vec{B}]$. Полная сила Ампера, действующая на замкнутый контур в однородном магнитном поле, равна нулю, но при этом суммарный момент таких сил оказывается ненулевым – силы Ампера стремятся развернуть контур.

На самом деле сила Ампера есть равнодействующая всех сил, действующих на движущиеся заряженные частицы – носители зарядов в проводниках. Сила, действующая на один заряд, движущийся со скоростью \vec{v} – сила Лоренца $\vec{F}_L = q[\vec{v} \times \vec{B}]$. Поскольку сила Лоренца всегда перпендикулярна скорости, то ее работа при любом перемещении заряда равна нулю. Таким образом, сила Лоренца не может изменить кинетическую энергию частицы – если других сил нет, то, независимо от конфигурации постоянного магнитного поля скорость движущегося в нем заряда меняется только по направлению, но не по величине.

Большинство заданий ЕГЭ по этой теме требуют умения четко определять направление силы Ампера или силы Лоренца в каждом конкретном случае. Те, кто знаком с конструкцией векторного произведения (с помощью которой выше были записаны формулы для этих сил), могут использовать ее. Заметим, что запись $\vec{c} = [\vec{a} \times \vec{b}]$ («вектор \vec{c} равен векторному произведению векторов \vec{a} и \vec{b} ») собственно означает, что модуль этого вектора $|\vec{c}| = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \sin \alpha$, где α – угол между \vec{a} и \vec{b} , и при этом он направлен перпендикулярно \vec{a} и \vec{b} . Конкретное направление перпендикуляра можно определить, пользуясь любым из «правил». Например: при «взгляде» навстречу \vec{c} вращение от \vec{a} к \vec{b} должно происходить в «положительном» направлении (против часовой стрелки) – смотреть рисунок 2.

| СИЛА АМПЕРА | СИЛА ЛОРЕНЦА |
|---|---|
|  |  |

Можно использовать «правило правой руки» и любое другое – важно одно из них научиться применять четко, ибо нередко правильность решения задачи ЕГЭ зависит от правильности определения направления силы Ампера либо силы Лоренца.

В заданиях ЕГЭ встречаются: задачи на равновесие контура в магнитном поле при учете действия силы Ампера; задачи о движении проводников в магнитном поле при учете действия силы Ампера; задачи о движении заряженных тел в магнитном поле при учете действия силы Лоренца.

В однородном постоянном магнитном поле можно выделить два характерных движения заряженных тел:

- 1) равномерного движения со скоростью $v_{||}$ вдоль направления \vec{B} : если скорость тела направлена вдоль индукции поля, то сила Лоренца равна нулю, и в отсутствие других сил тело движется с постоянной скоростью.
- 2) равномерного вращения по окружности в плоскости, перпендикулярной \vec{B} : если тело влетает в магнитное поле перпендикулярно индукции, то его скорость меняться не будет, а сила Лоренца (и вместе с ней ускорение тела) перпендикулярны скорости. Поэтому такое

движение будет равномерным вращением, и связь радиуса траектории со скоростью определяется из уравнения движения: $m \frac{v_{\perp}^2}{R} = qv_{\perp}B$. Отсюда легко находим, что радиус окружности равен $R = \frac{mv_{\perp}}{qB}$, а угловая скорость вращения $\omega = \frac{qB}{m}$.

Постоянные электрическое и магнитное поля могут рассматриваться независимо. Ситуация меняется при рассмотрении переменных полей. В этом случае проявляется их общая природа – переменные магнитные поля порождают электрическое поле, переменные электрические поля порождают магнитное поле. Особенность порождаемого вследствие этого взаимовлияния электрического поля – то, что оно является *вихревым* (его силовые линии **замкнуты** – напомним, что силовые линии электростатического поля идут от положительных зарядов к отрицательным). Вихревое электрическое поле совершает работу по перемещению зарядов по замкнутому проводящему контуру, то есть играет роль ЭДС. Величина ЭДС вычисляется в соответствии с **законом электромагнитной индукции Фарадея**: при изменении магнитного потока через контур в нем наводится ЭДС индукции, пропорциональная скорости изменения магнитного потока: $\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt}$. Знак минус в этом соотношении выражает **правило Ленца**:

направление индукционного тока таково, что он своим полем стремится скомпенсировать изменение магнитного потока. Замечательно, что закон Фарадея определяет значение ЭДС индукции независимо от конкретной причины, вызвавшей изменение магнитного потока – изменение величины магнитного поля, изменение площади контура или изменение угла между \vec{B} и нормалью к контуру (вращение контура).

В материалах ЕГЭ года встречается ряд задач по этой теме. В основном это задачи на вычисление ЭДС индукции, либо индукционного тока, либо протекшего заряда. Все они решаются с использованием закона Фарадея и закона Ома; иногда также используются кинематические соотношения для скорости движения проводника.