

Тема урока

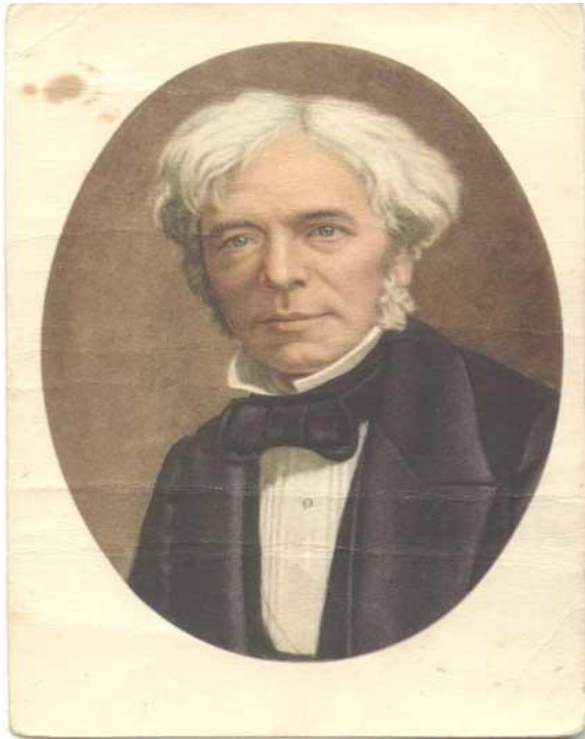
Явление электромагнитной индукции.

Правило Ленца

Закон электромагнитной индукции.

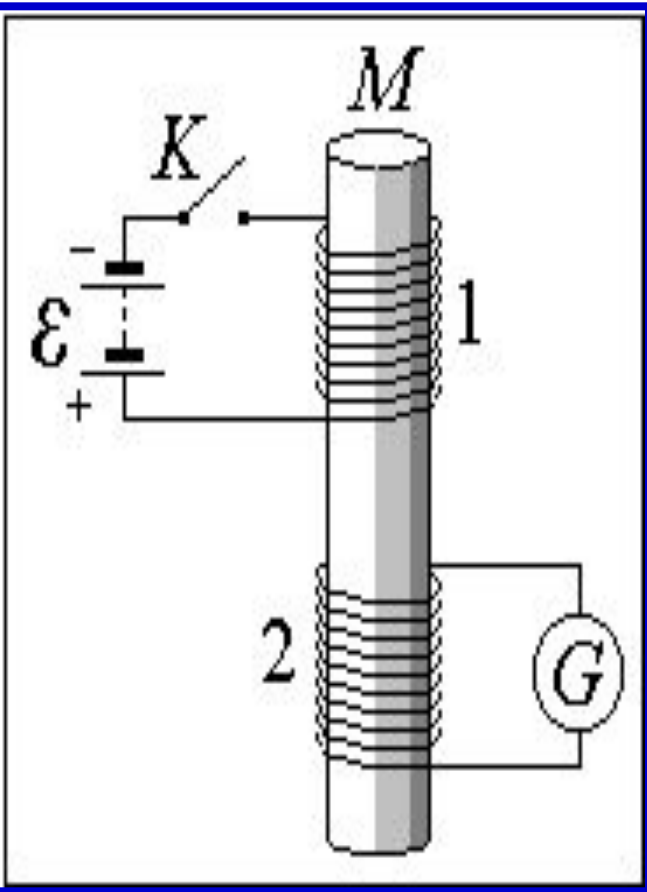
В 1820 г. Эрстед обнаружил действие электрического тока на магнитную стрелку

М. Фарадей с 1821 по 1831 год проводил опыты и получил электрический ток с помощью магнитного поля. Ему удалось «Превратить магнетизм в электричество».



Основоположник учения об электромагнитном поле; ввел понятия «электрическое» и «магнитное поле»; высказал идею существования электромагнитных волн.

Опыты М. Фарадея



«На деревянную катушку была намотана медная проволока, между ее витками была намотана проволока изолированная от первой хлопчатобумажной нитью.

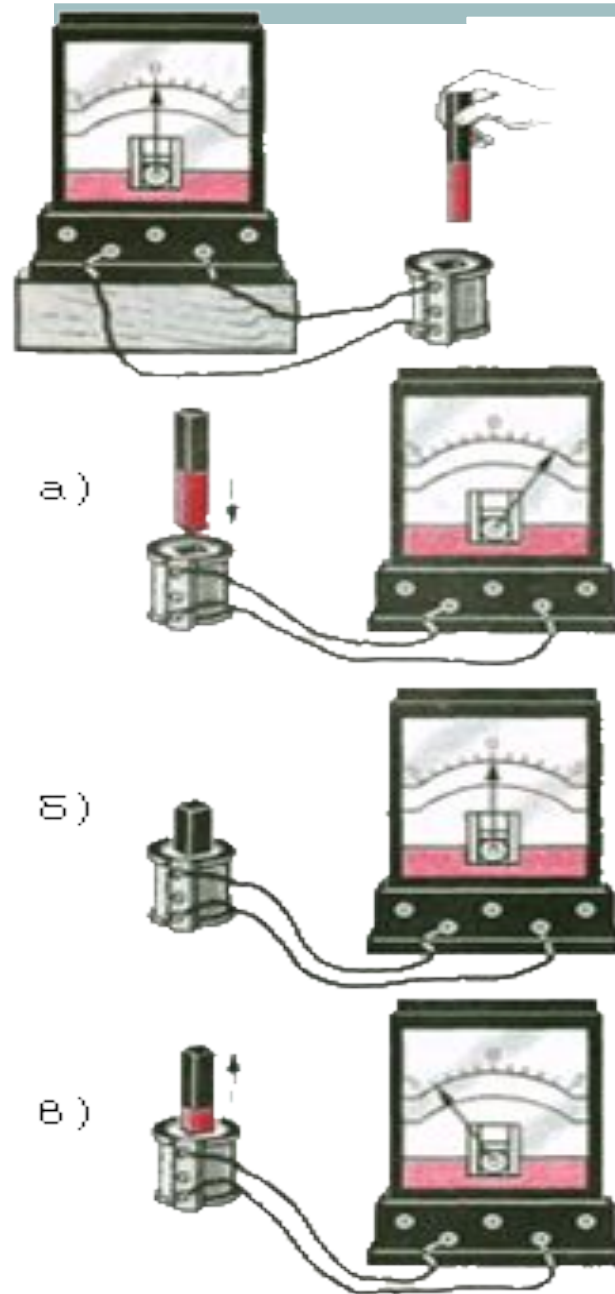
Одна из этих спиралей была соединена с гальванометром, другая - с батареей.

При замыкании цепи стрелка гальванометра отклонялась, при размыкании цепи то же самое.

При непрерывном же прохождении тока через одну из спиралей не удалось обнаружить отклонения стрелки гальванометра...»

Вывод:

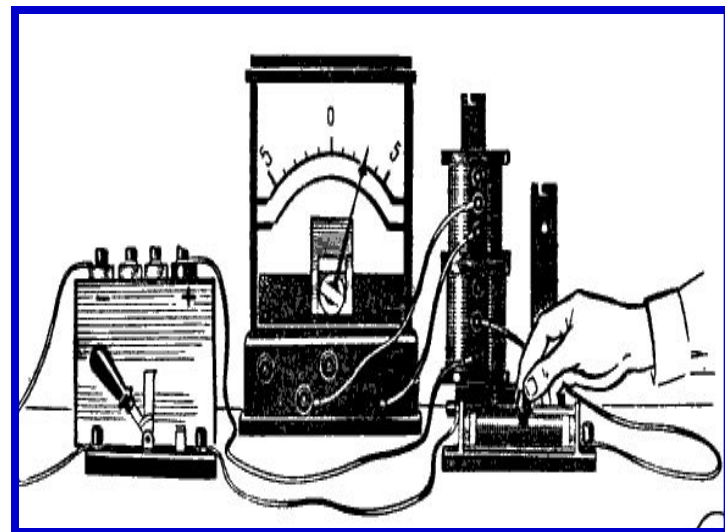
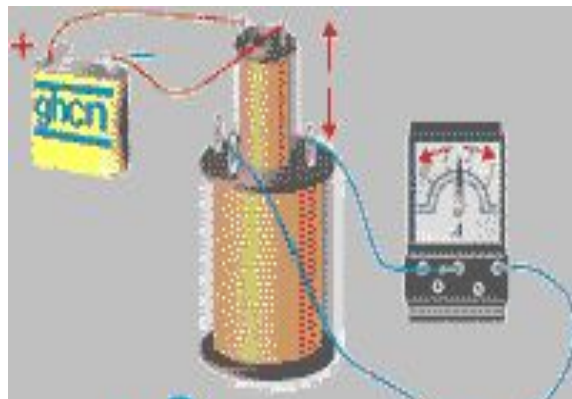
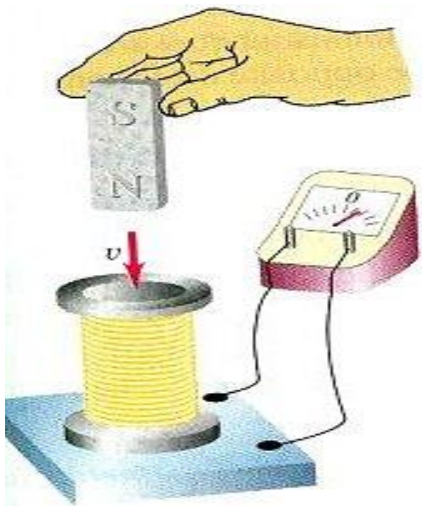
электрический ток возникал тогда, когда проводник оказывался в области действия переменного магнитного



Электромагнитная индукция –

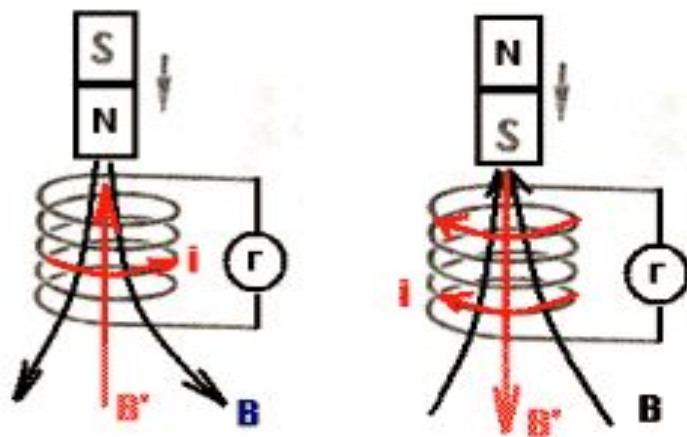
физическое явление, заключающееся в возникновении электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменении числа линий магнитной индукции, пронизывающих поверхность, ограниченную этим контуром.

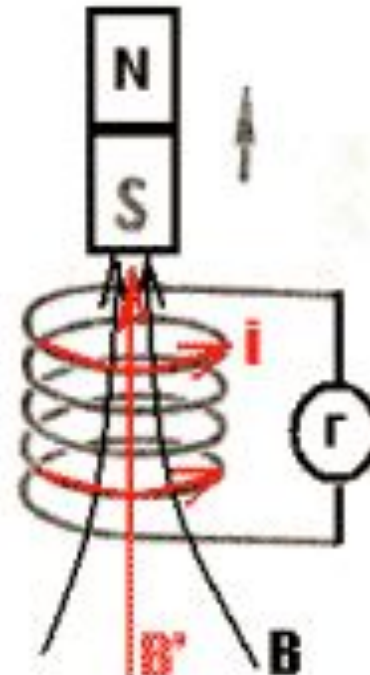
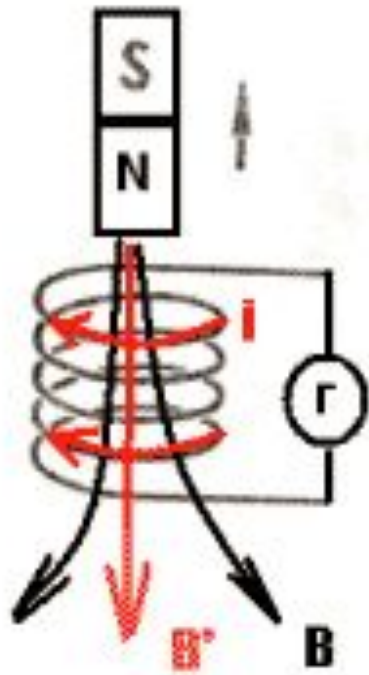
Возникающий при этом ток называют индукционным.



Правило Ленца

- Для определения направления индукционного тока в замкнутом контуре используется правило Ленца: Индукционный ток имеет такое направление, что созданный им магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром, препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего этот ток.





Закон электромагнитной ИНДУКЦИИ

- ЭДС индукции в замкнутом контуре равна по модулю скорости изменения магнитного потока через поверхность ограниченную контуром.

$$\mathcal{E}_i = \frac{|\Delta\Phi|}{|\Delta t|}$$

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

Поскольку работа при повороте одного витка равна $I\Delta\Phi$, а в рассматриваемом случае магнитный поток пронизывает ω витков, то работа при повороте соленоида выразится формулой

$$A = I\omega\Delta\Phi = I\omega(\Phi_2 - \Phi_1) = I(\omega\Phi_2 - \omega\Phi_1).$$

Если обозначить произведение $\omega\Phi$ через ψ (греч. «пси»), то для работы получим формулу

$$A = I(\psi_2 - \psi_1), \text{ или } A = I\Delta\psi. \quad (23.1)$$

Величину ψ , характеризующую связь («сцепление») магнитного потока с замкнутой цепью, сквозь которую он проходит, называют *потокосцеплением*. Если магнитный поток Φ пронизывает катушку с числом витков ω , то потокосцепление равно произведению числа витков на магнитный поток:

$$\psi = \omega\Phi. \quad (23.2)$$

(Покажите, что единицей потокосцепления в СИ является вебер;

Этого явления показало, что э. д. с. индукции, возникающая в какой-либо цепи, прямо пропорциональна скорости изменения потокосцепления магнитного поля с этой цепью:

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\Delta\psi/\Delta t. \quad (23.6)$$

Отметим, что когда цепь состоит из одного витка, т. е. является простым контуром, то формула (23.6) принимает вид

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\Delta\Phi/\Delta t. \quad (23.6a)$$

В этих формулах Δt — время, за которое происходит изменение потокосцепления на $\Delta\psi$. Если Δt очень мало, то формулы (23.6) дают мгновенное значение э. д. с. индукции. Если же Δt велико, то при подсчете по этим формулам получается среднее значение э. д. с. индукции.

Знак минус в формулах показывает, что, когда потокосцепление уменьшается ($\Delta\psi$ отрицательно), э. д. с. создает индукционный ток, увеличивающий потокосцепление, и наоборот. Таким образом, знак минус показывает, что в соответствии с законом Ленца э. д. с.

Опыт показал, что когда в замкнутой цепи нет ферромагнетиков, то собственное потокосцепление этой цепи изменяется прямо пропорционально силе тока I в ней:

$$\psi = LI. \quad (23.3)$$

Коэффициент пропорциональности L остается постоянным только при неизменной конфигурации проводов замкнутой цепи и неизменной окружающей среде. Коэффициент L , характеризующий зависимость собственного потокосцепления замкнутой цепи от ее формы и от окружающей среды, называется индуктивностью цепи.

Выведем единицу индуктивности L в СИ:

$$L = \psi / I = 1 \text{ Вб} / 1 \text{ А} = 1 \text{ Вб} / \text{А} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{с} = 1 \text{ Гн}.$$

За единицу индуктивности в СИ принимают г е н р и (Гн). Генри называют индуктивностью такой цепи, в которой возникает потокосцепление в 1 Вб при токе в 1 А.

В качестве примера определим индуктивность соленоида $L_{\text{сол}}$. Из (23.3) имеем

$$L_{\text{сол}} = \Psi_{\text{сол}} / I_{\text{сол}} = \omega \Phi_{\text{сол}} / I_{\text{сол}}.$$

Так как $\Phi_{\text{сол}}$ определяется соотношением (22.15), то

$$L_{\text{сол}} = \omega \mu_c I_{\text{сол}} \omega S / l I_{\text{сол}} = \mu_c \omega^2 S / l. \quad (23.4)$$

Таким образом, индуктивность соленоида определяется средой, размерами и числом витков соленоида.

Возникновение в замкнутом проводнике электрического тока, обусловленное изменением магнитного поля, называют явлением электромагнитной индукции. Полученный таким способом ток называют индукционным (наведенным), а создающую его э. д. с. называют э. д. с. индукции.

создаст в нем электрическую силу $F_{\text{вх}}$, которая уравновесит силу Лоренца $F_{\text{л}}$. Итак, смещение электронов к концу A прекратится при $F_{\text{вх}} = F_{\text{л}}$. Поскольку $F_{\text{вх}} = Eq = Uq/l$, а $F_{\text{л}} = Bvq \sin \alpha$, имеем $Uq/l = Bvq \sin \alpha$, откуда

$$U = Bvl \sin \alpha.$$

Так как напряжение на полюсах при разомкнутой цепи равно э. д. с., то э. д. с. индукции, возникающая в проводнике при его движении в магнитном поле, выражается формулой

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = Bvl \sin \alpha. \quad (23.5)$$

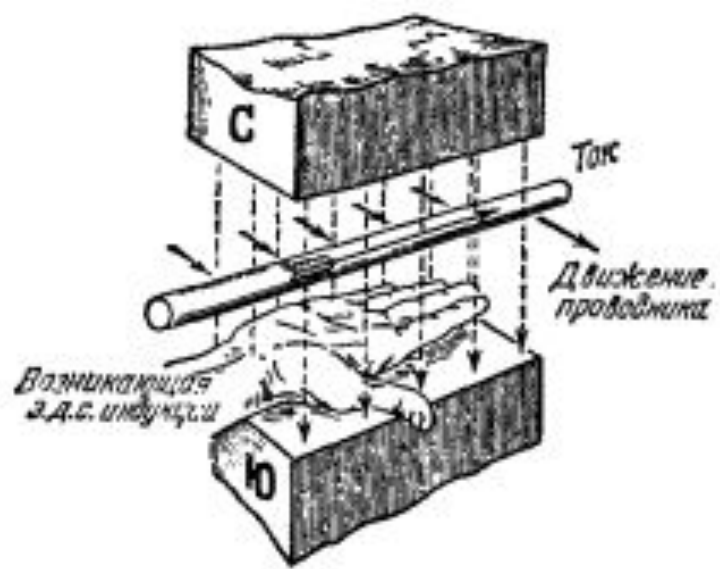


Рис. 23.2.

Направление индукционного тока, возникающего в прямолинейном проводнике при его движении в магнитном поле, определяется по правилу правой руки (рис. 23.2): если правую руку расположить вдоль проводника так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, а отогнутый большой палец показывал направление движения проводника, то четыре вытянутых пальца укажут направление индукционного тока в проводнике.

в такой цепи должна возникать э. д. с. индукции. Возникновение э. д. с. индукции в цепи, которое вызвано изменением магнитного поля тока, текущего в этой же цепи, называют явлением самоиндукции, а появляющуюся электродвижущую силу — э. д. с. самоиндукции.

Выведем формулу для вычисления э. д. с. самоиндукции. Так как всякая э. д. с. индукции может быть найдена по формуле (23.6) $\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\Delta\psi/\Delta t$, а $\psi = LI$, то $\mathcal{E}_c = -\Delta(LI)/\Delta t$, откуда

$$\mathcal{E}_c = -L \Delta I / \Delta t. \quad (23.7)$$

Э. д. с. самоиндукции в цепи прямо пропорциональна скорости изменения силы тока в этой цепи.

кании цепи. Если среднее значение э. д. с. самоиндукции при этом равно \mathcal{E}_c , а по цепи за время нарастания тока в ней Δt прошел заряд q , то работа по преодолению э. д. с. самоиндукции равна $\mathcal{E}_c q$. Тогда

$$W_{\text{маг}} = -\mathcal{E}_c q.$$

Знак минус означает, что заряды при этом движутся против э. д. с. самоиндукции. Так как $\mathcal{E}_c = -L \Delta I / \Delta t$, то

$$W_{\text{маг}} = L (\Delta I / \Delta t) q = L \Delta I (q / \Delta t).$$

Поскольку ток в цепи возрастает от 0 до I , получаем, что $\Delta I = I - 0 = I$, а $q / \Delta t$ есть средняя сила тока за время его нарастания. Приняв среднюю силу тока за $I/2$ и подставляя значения ΔI и $q / \Delta t$ в приведенное выше соотношение, найдем формулу для вычисления энергии магнитного поля цепи, в которой идет ток I :

$$W_{\text{маг}} = L I I / 2 = L I^2 / 2. \quad (23.8)$$

Энергия магнитного поля цепи прямо пропорциональна квадрату величины тока в ней и зависит от ее индуктивности L . Поскольку индуктивность соленоида с сердечником из ферромагнетика особенно велика, большая магнитная энергия получается в цепи, содержащей электромагниты.

18.28. Автомобиль движется со скоростью 120 км/ч. Определить разность потенциалов на концах передней оси



Рис. 18.27

машины, если длина оси равна 180 см, а вертикальная составляющая напряженности магнитного поля Земли равна 40 А/м.

18.29. Прямолинейный проводник движется со скоростью 25 м/с в однородном магнитном поле с индукцией 0,0038 Тл перпендикулярно к линиям магнитной индукции. Чему равна длина проводника, если на его концах

имеется разность потенциалов 28 мВ?

18.30. Прямолинейный проводник длиной 120 см движется в однородном магнитном поле под углом 17° к линиям магнитной индукции со скоростью 15 м/с. Определить индукцию магнитного поля, если в проводнике создается э. д. с. индукции, равная 6,2 мВ.

18.31. Прямолинейный проводник длиной 86 см движется со скоростью 14 м/с в однородном магнитном поле с индукцией 0,025 Тл. Определить угол между индукцией поля и скоростью проводника, если в проводнике создается э. д. с., равная 0,12 В.

18.59. Какая э. д. с. самоиндукции возникнет в катушке с индуктивностью 68 мГн, если ток силой 3,8 А в ней уменьшится до нуля за 0,012 с?

18.60. Определить индуктивность катушки, если при уменьшении силы тока на 2,8 А за 62 мс в катушке появляется средняя э. д. с. самоиндукции, равная 14 В.

18.61. За какое время в катушке с индуктивностью 240 мГн происходит нарастание силы тока от нуля до 11,4 А, если при этом возникает средняя э. д. с. самоиндукции, равная 30 В?

18.62. Определить мгновенное значение э. д. с. самоиндукции, возникающей в цепи с индуктивностью 25 мГн при изменении в ней силы тока по закону $i = (3 + 4t) \cdot 10^{-1}$.

18.63. Определить индуктивность цепи, если при изменении силы тока по закону $i = (1 - 0,2t)$ в ней возникает э. д. с. самоиндукции, равная $2,0 \cdot 10^{-3}$ В.

18.64. Определить энергию магнитного поля катушки, содержащей 120 витков, если при силе тока 7,5 А магнитный поток в ней равен 2,3 мВб.

18.65. Определить индуктивность катушки, если при силе тока 6,2 А ее магнитное поле обладает энергией 0,32 Дж.

18.66. Магнитное поле катушки с индуктивностью 95 мГн обладает энергией 0,19 Дж. Чему равна сила тока в катушке?

17.65. Определить индуктивность катушки, в которой возникает потокосцепление $0,12 \text{ Вб}$ при силе тока $8,6 \text{ А}$.

17.66. В катушке возникает магнитный поток $0,015 \text{ Вб}$ при силе тока в витках $5,0 \text{ А}$. Сколько витков содержит катушка, если ее индуктивность равна 60 мГн ?

17.67. Во сколько раз изменится индуктивность соленоида без сердечника, если число витков в нем увеличить в два раза без изменения линейных размеров? Во сколько раз при этом изменится потокосцепление? Силу тока считать постоянной.

17.68. Определить магнитный поток и потокосцепление в соленоиде без сердечника, сила тока в котором равна $6,3 \text{ А}$. Соленоид имеет 1400 витков, длину $1,6 \text{ м}$ и радиус $4,8 \text{ см}$. Какова индуктивность соленоида?