

Тема семинара:

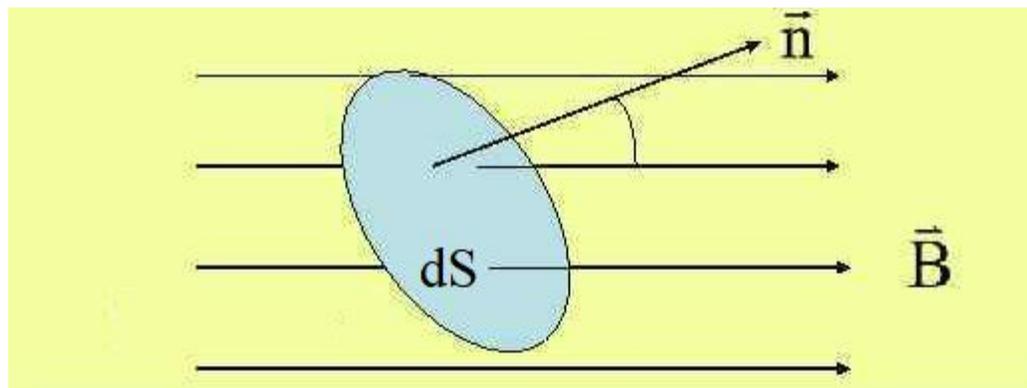
Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея.  
Самоиндукция. Индуктивность. Энергия магнитного  
поля.

# Магнитный поток

• Поток вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  (магнитным потоком)  $\Phi$  через площадку  $dS$  называется скалярная физическая величина равная

$$d\Phi = \vec{B}d\vec{S} = B_n dS$$

$B_n = B\cos\alpha$  - проекция вектора  $\vec{B}$  на направление нормали  $\vec{n}$  к площадке  $dS$ ,  $d\vec{S}$  - вектор, модуль которого равен  $dS$ , а направление совпадает с направлением нормали  $\vec{n}$  к площадке,  $\alpha$  - угол между векторами  $\vec{n}$  и  $\vec{B}$ .

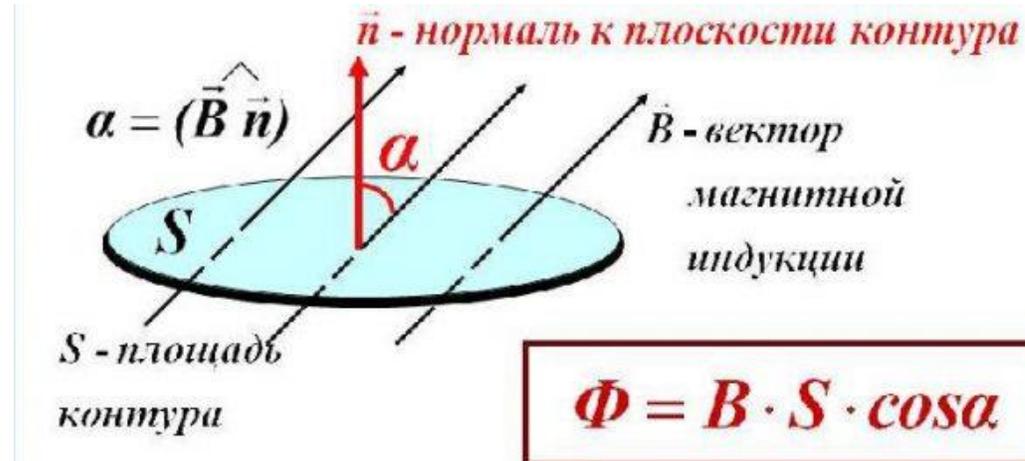


# Магнитный поток

Поток вектора через произвольную поверхность равен интегралу по поверхности  $S$ :

$$\Phi = \int_S B_n dS$$

Для однородного магнитного поля и плоской поверхности  $S$  получим  $\Phi = B_n S = B S \cos \alpha$ . Единица измерения магнитного потока Вебер [Вб]. 1 Вб = 1 Тл·м<sup>2</sup>. Один Вебер (1 Вб) – магнитный поток, проходящий через плоскую поверхность площадью 1 м<sup>2</sup>, перпендикулярную однородному магнитному полю с индукцией  $B = 1$  Тл.



# Явление электромагнитной индукции

Явление электромагнитной индукции - это возникновение в замкнутом проводящем контуре электрического тока, обусловленное изменением потока вектора магнитной индукции через поверхность, ограниченную контуром.

## Правило Ленца

*Индукционный ток в контуре всегда направлен таким образом, что создаваемая этим током индукция магнитного поля стремится скомпенсировать изменение индукции магнитного поля, вызывающее этот ток.*

# Закон Фарадея. ЭДС индукции

Появление тока должно быть связано с возникновением в контуре электродвижущей силы – ЭДС индукции  $\mathcal{E}_{\text{инд}}$ : если сопротивление контура  $R$ ,

$$I_{\text{инд}} R = \mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

**Закон электромагнитной индукции Фарадея**

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Такая электродвижущая сила возникает в любом замкнутом контуре, если по каким-то причинам поток вектора  $\vec{B}$  через него  $\Phi = \int_S B_n dS$  изменяется со скоростью  $\frac{d\Phi}{dt}$ .

# Потокосцепление

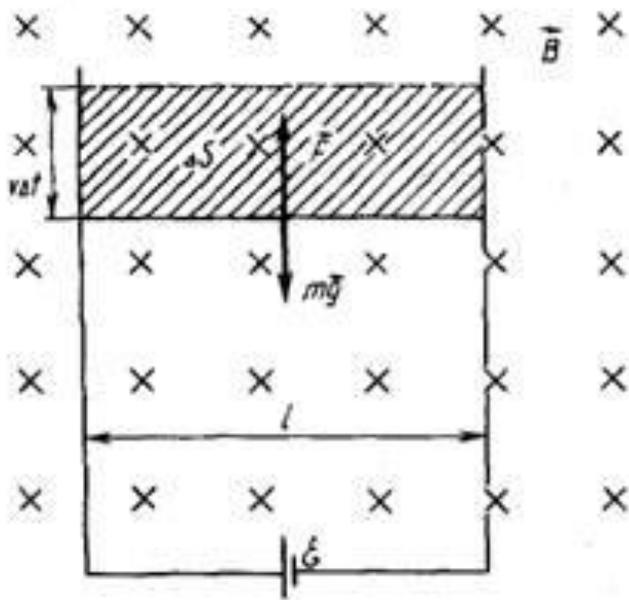
Если контур, в котором индуцируется ЭДС, состоит из  $N$  одинаковых витков (соленоид), и витки соединяются последовательно, то  $\mathcal{E}$  будет равна сумме ЭДС, индуцируемых в каждом из витков

$$\mathcal{E} = -\sum \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(\sum \Phi) = -\frac{d\Psi}{dt}$$

Величину  $\Psi = \sum \Phi$  называют **потокосцеплением**. Если поток, пронизывающий каждый из витков, одинаков, то  $\Psi = N\Phi$ .

# Задача 1

Горизонтально расположенный проводящий стержень, сопротивление которого  $R$  и масса  $m$ , может скользить без нарушения электрического контакта по двум вертикальным медным шинам. Расстояние между шинами равно  $l$ . Снизу их концы соединены с источником тока, ЭДС которого равна  $\mathcal{E}$  (рис.). Перпендикулярно плоскости, в которой находятся шины, приложено однородное магнитное поле с индукцией  $B$ . Найти постоянную скорость, с которой будет подниматься стержень. Сопротивлением шин и источника тока, а также трением пренебречь.



## Задача 2

Проводник длиной  $l = 0,5$  м движется со скоростью  $v = 5$  м/с перпендикулярно силовым линиям в магнитном поле, индукция которого  $B = 8$  мТл. Найти разность потенциалов, возникающую на концах проводника.

# Явление самоиндукции

Самоиндукция – явление возникновения ЭДС индукции в контуре при изменении электрического тока в этом же контуре.

Когда ток идет по проводнику любой формы, создаваемая им индукция магнитного поля пропорциональна силе тока  $B \sim I$  по закону Био-Савара-Лапласа. Поскольку также всегда поток  $\Phi \sim B$ , то для магнитного потока через контур и протекающего через него тока  $I$  имеем  $\Phi \sim I$  или  $\Phi = LI$ , где коэффициент пропорциональности  $L$  называется **индуктивностью** проводника. Тогда ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_{\text{с.и.}} = -L \frac{dI}{dt}$$

Как и ранее, по правилу Ленца, *ток самоиндукции будет направлен так, чтобы скомпенсировать вызванное изменением тока изменение магнитной индукции.*

$$\mathcal{E}_{\text{с.и.}} = -L \frac{dI}{dt}$$

## Задача 3

Катушка сопротивлением  $R = 20$  Ом и индуктивностью  $L = 0,01$  Гн находится в переменном магнитном поле. Когда создаваемый этим полем магнитный поток увеличился на  $\Delta\Phi = 0,001$  Вб, ток в катушке возрос на  $\Delta I = 0,05$  А. Какой заряд прошел за это время через поперечное сечение витка катушки?

# Индуктивность соленоида

*Если при изменении тока на 1 А за 1 секунду в контуре возникает ЭДС самоиндукции, равная 1 В, то говорят, что индуктивность  $L$  контура равна 1 Генри (Гн).*

Индуктивность зависит только от геометрических свойств контура или катушки (формы и размеров), а также от магнитных свойств среды, в которую помещен контур.

Индуктивность соленоида – катушки, длиной  $l$ , сечением  $S$ , имеющей  $n$  витков на 1 метр  $L = \mu_0 n^2 \cdot V$  ( $V = lS$  – объем соленоида). Если соленоид заполнен веществом с магнитной проницаемостью  $\mu$ , то  $L = \mu_0 \mu n^2 \cdot V$

## Задача 4

Сколько витков проволоки диаметром  $d = 0,6$  мм имеет однослойная обмотка длинного соленоида, индуктивность которого  $L = 1$  мГн и диаметр  $D = 4$  см? Витки плотно прилегают друг к другу.

# Энергия магнитного поля

Энергия магнитного поля соленоида с индуктивностью  $L$ , по которому идет ток  $I$  равна

$$W_m = \frac{LI^2}{2}$$

Энергия, приходящаяся на единицу объема соленоида, то есть плотность энергии магнитного поля

$$w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{B_0^2}{2\mu_0}$$

Если в соленоиде имеется сердечник из ферромагнетика с большим значением  $\mu$ , то

$L = \mu_0 \mu n^2 \cdot V$  и

$$w_m = \frac{\mu B_0^2}{2\mu_0}$$

## Задача 5

Ток в катушке уменьшился с  $I_1 = 12$  А до  $I_2 = 6$  А. При этом энергия магнитного поля катушки уменьшилась на  $\Delta W = 2,0$  Дж. Какова индуктивность катушки и энергия ее магнитного поля в обоих случаях?

# ОТВЕТЫ

$$1. \quad v = \frac{\varepsilon}{Bl} - \frac{Rmg}{B^2 l^2}$$

$$2. \quad \Delta\varphi = Blv = 20 \text{ мВ.}$$

$$3. \quad \Delta q = (\Delta\Phi - L\Delta I) / R = 25 \text{ мкКл.}$$

$$4. \quad N = \frac{4Ld}{\mu_0 \mu \pi D^2} = 380.$$

$$5. \quad L = \frac{2\Delta W}{(I_1^2 - I_2^2)} = 37 \text{ мГн, } W_1 = \frac{LI_1^2}{2} = 2,66 \text{ Дж, } W_2 = \frac{LI_2^2}{2} = 0,67 \text{ Дж.}$$

# Домашнее задание

№№ 3.7.30, 3.7.33, 3.7.35 , 3.7.37.