

# Электромагнетизм

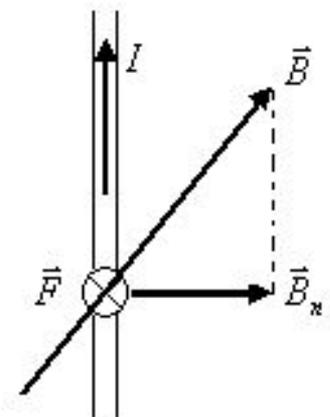
# Магнитное поле

- Магнитное поле – силовое поле, основным свойством которого, является действие на проводники с током или движущиеся заряды в этом поле.
- Действие м. п. обнаружил в 1820 году Эрстед (датский ученый (1777-1851)): поле, возбуждаемое током, оказывает ориентирующее действие на магнитную стрелку.

# *Закон Ампера.*

В 1820 году Ампер (французский ученый (1775-1836)) установил экспериментально закон, по которому можно рассчитать силу, действующую на элемент проводника ДЛИНЫ С ТОКОМ.

$$d\vec{F} = I [d\vec{l} \times \vec{B}]$$



- Для прямолинейного проводника длиной  
с током в однородном поле

$$F = IBl \sin \alpha$$

# Направление силы Ампера

## Правило левой руки:

Если ладонь левой руки расположить так, чтобы нормальная (к току) составляющая магнитного поля входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца направлены вдоль тока, то большой палец укажет направление, в котором действует сила Ампера

# Сила Лоренца

Лоренц (голландский физик (1853-1928))

$$dF_A = I dl B \sin \alpha$$

$$I = jS = qnvS$$

$$dF_A = qnvSB dl \sin \alpha$$

$$dV = dlS$$

$$n = \frac{N}{dV} \Rightarrow dVn = N \Rightarrow$$

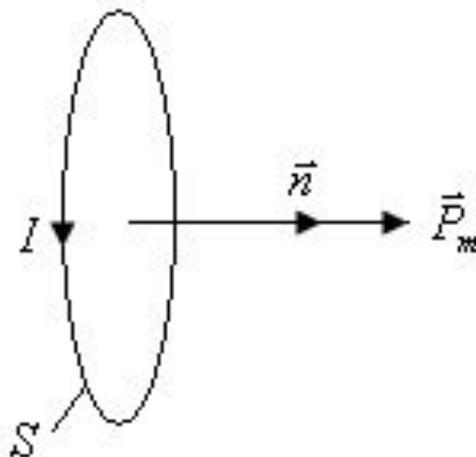
$$dF_A = NqvB \sin \alpha \Rightarrow$$

$$\frac{dF_A}{N} = F_{\text{л}} = qvB \sin \alpha$$

$$F = qE + qv \times B$$

Под скоростью следует понимать скорость относительно системы координат, в которой измеряется сила  $f_l$  и измерена индукция поля  $B$

# Магнитный момент



Введем понятие магнитного момента контура с током. Если  $\vec{n}$  – единичный вектор нормали к плоскости контура,  $S$  – площадь контура с током  $I$ , то магнитный момент

$$\vec{p}_m = IS\vec{n}$$

$$M = p_m B \sin \alpha \quad \vec{M} = [\vec{p}_m \times \vec{B}]$$

# *Принцип суперпозиции магнитных полей*

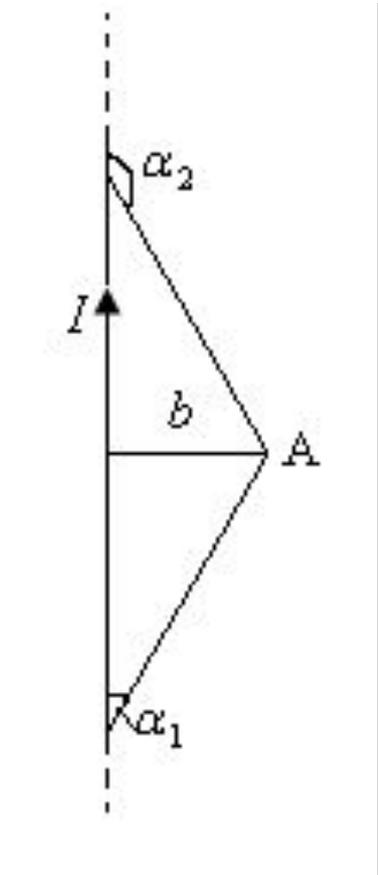
Опыт дает, что для магнитного поля, как и для электрического, справедлив принцип суперпозиции: поле, порождаемое несколькими движущимися зарядами (токами) равно векторной сумме полей, порождаемых каждым зарядом (током) в отдельности:

$$\vec{B} = \sum \vec{B}_i$$

# Магнитное поле прямолинейного тока

$$B_A = \frac{\mu_0 I}{4\pi b} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

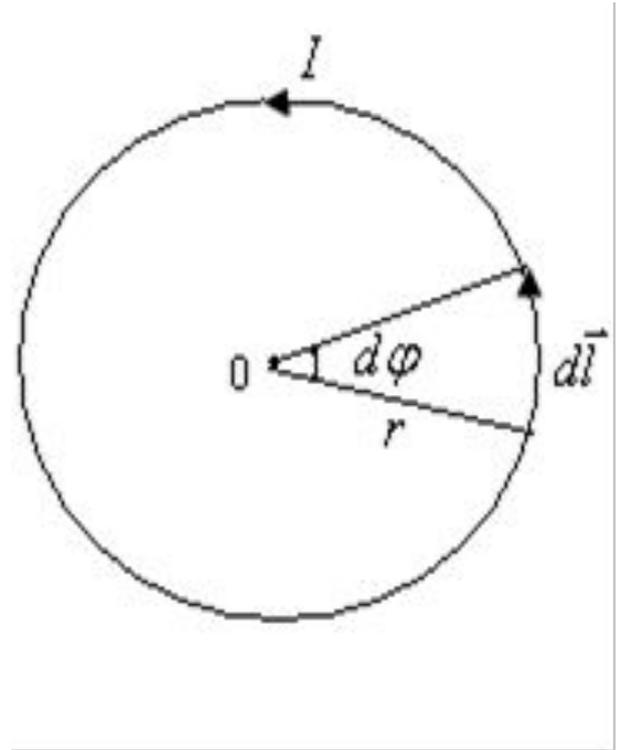
$$B_\infty = \frac{\mu_0 I}{2\pi b}$$



# Магнитное поле витка с током

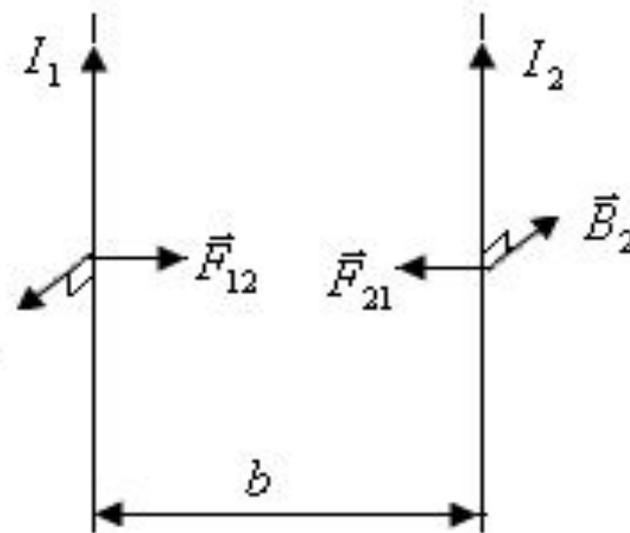
$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2r}$$

$$B = \mu_0 n I$$



# Два проводника с током

$$dF_{21} = I_2 dl \frac{\mu_0 I_1}{2\pi b} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 dl}{2\pi b} \vec{B}_1$$



ампер – сила неизменяющегося тока, который, проходя по двум прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенными на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы между этими проводниками силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$  на каждый метр длины.

# *Намагниченное состояние*

Под воздействием магнитного поля всякое вещество способно приобретать магнитный момент (намагничиваться), т.е. является магнетиком. Намагниченное вещество создает магнитное поле , которое накладывается на внешнее поле . Оба поля в сумме дают результирующее поле .

# Вектор намагничивания

Степень намагничивания магнетика характеризуется магнитным моментом единицы объема. Эту величину называют намагниченность

$$\vec{J} = \frac{\sum \vec{p}_m}{\Delta V} = \langle p_m \rangle n$$

где  $\vec{p}_m$  – магнитный момент отдельной молекулы (молекулярного тока).

# Напряженность и индукция магнитного поля

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0} \quad 1 + \chi = \mu$$

$$B = \mu\mu_0 nI \quad \vec{B} = \mu\vec{B}_0 \quad \mu = \frac{B}{B_0}$$

# Магнетики

-диамагнетики  $\chi < 0$  ( $\mu < 1$ )

( $\chi \sim 10^{-6} \div 10^{-9}$ )

Представители: *Cu, Ag, Au*, почти все газы: *N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>* и т.д.

-парамагнетики  $\chi > 0$  ( $\mu > 1$ )

( $\chi \sim 10^{-4} \div 10^{-6}$ )

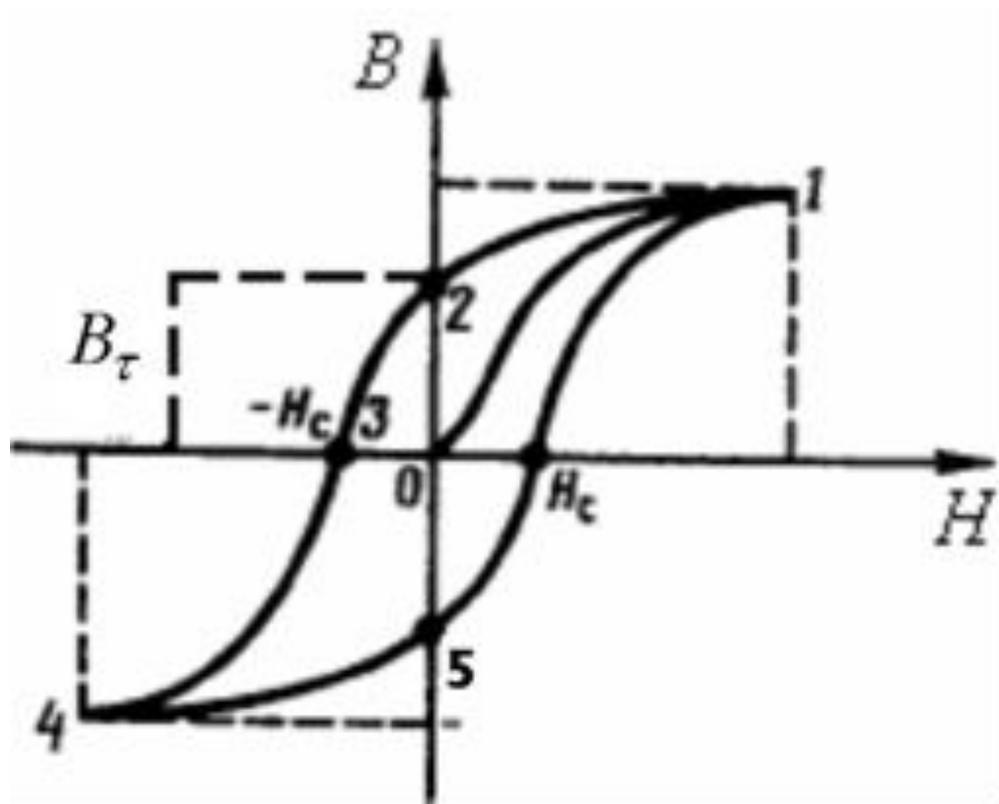
Представители: *Al, Na, K, Ca...*, из газов *O<sub>2</sub>*;

-ферромагнетики  $\chi \gg 1$  ( $\mu \gg 1$ )

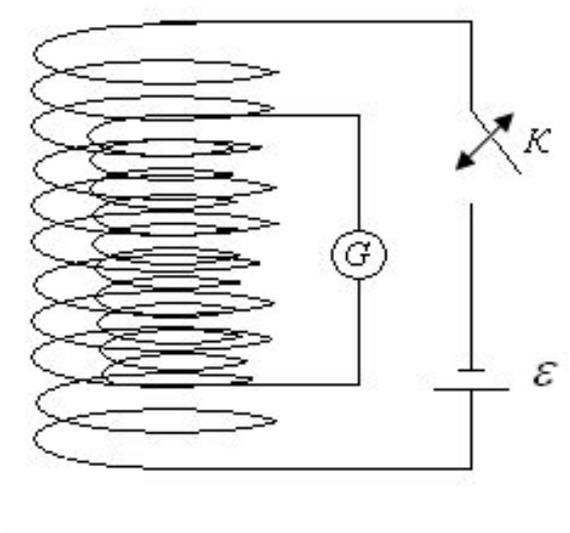
( $\chi \sim 10^3 \div 10^5$ )

Представители: *Fe, Ni, Co...*, некоторые сплавы, например, пермаллой и др.

# Гистерезис



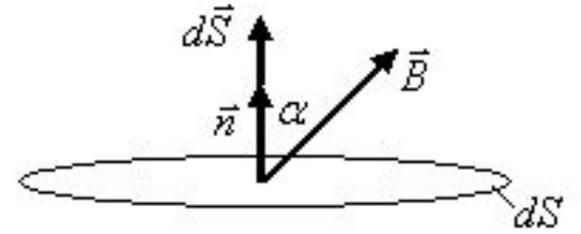
# Электромагнитная индукция



Причина возникновения индукционного тока – появление электродвижущей силы под влиянием изменяющегося потока магнитной индукции.

# Закон Фарадея

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

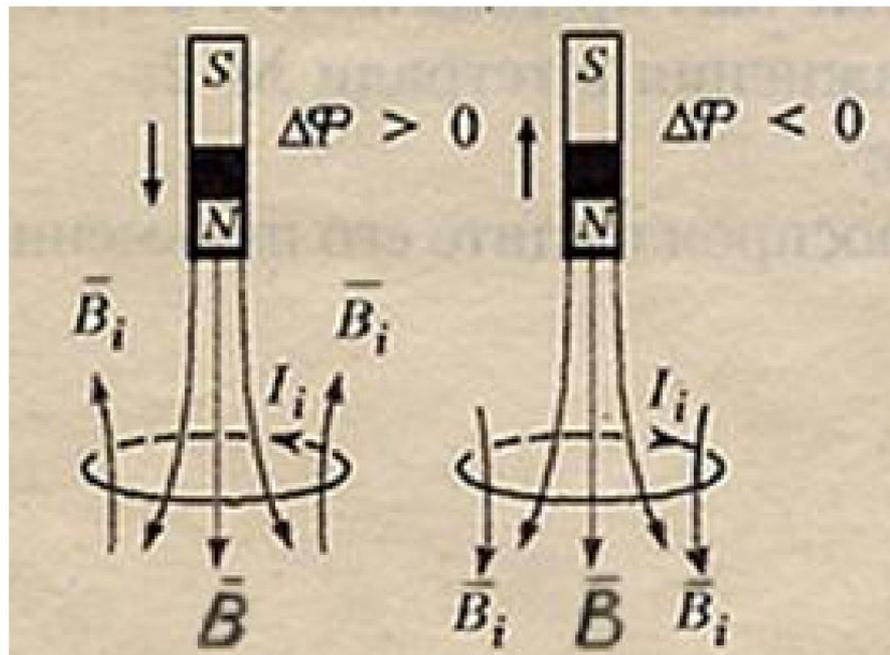


$$\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S} = \int_S B_n dS$$

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt}$$

ЭДС индукции в контуре равна скорости изменения магнитного потока, пронизывающего этот контур, взятой с обратным знаком.

# Правило Ленца



## *Правило Ленца.*

Индукционный ток всегда направлен так, чтобы противодействовать изменению магнитного потока, вызвавшего этот ток.

# *Токи Фуко*

Индукционные токи могут возбуждаться и в сплошных массивных проводниках.

В этом случае их называют токами Фуко или вихревыми токами.

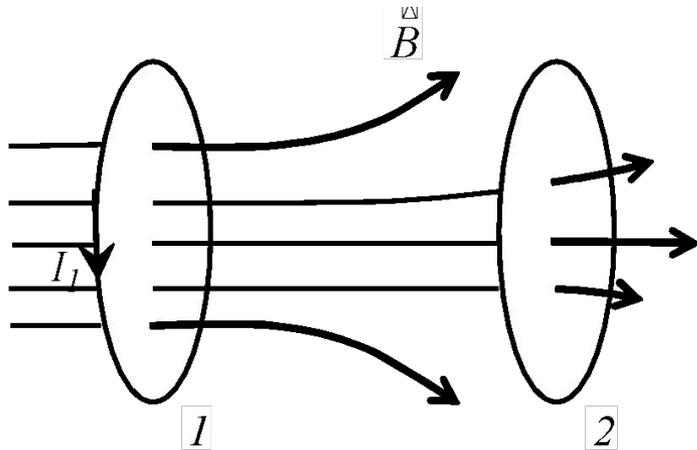
Тепловое действие токов используется в индукционных печах.

# *Явление самоиндукции*

Электрический ток, текущий в любом контуре, создает пронизывающий этот контур магнитный поток. Изменение потока магнитной индукции приведет к возникновению в контуре ЭДС. Таким образом, изменение тока в контуре приводит к возникновению ЭДС индукции в самом контуре. Это явление носит название самоиндукции.

$$\text{ЭДС самоиндукции } \varepsilon_S = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(LI) = -L\frac{dI}{dt}, \text{ т.е. } \varepsilon_S = -L\frac{dI}{dt}.$$

# Явление взаимной индукции



$$\varepsilon_{i2} = - \frac{d\Phi_{21}}{dt} = -L_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

Взаимная индукция состоит в том, что при изменении силы тока в 1-ом контуре изменяющееся магнитное поле этого тока индуцирует ЭДС в соседнем контуре 2.

**Спасибо за внимание !!!**