



# ***Электромагнитная индукция. Явление самоиндукции***

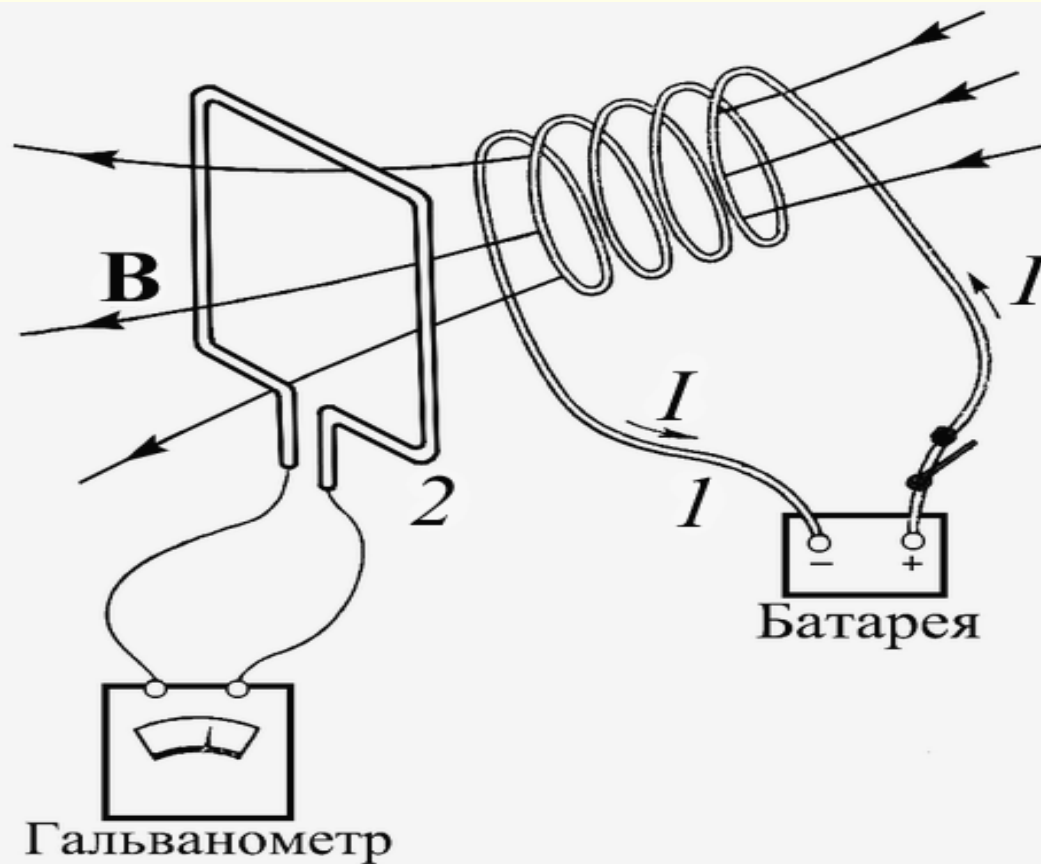
***Лекция №7***



## **Содержание лекции:**

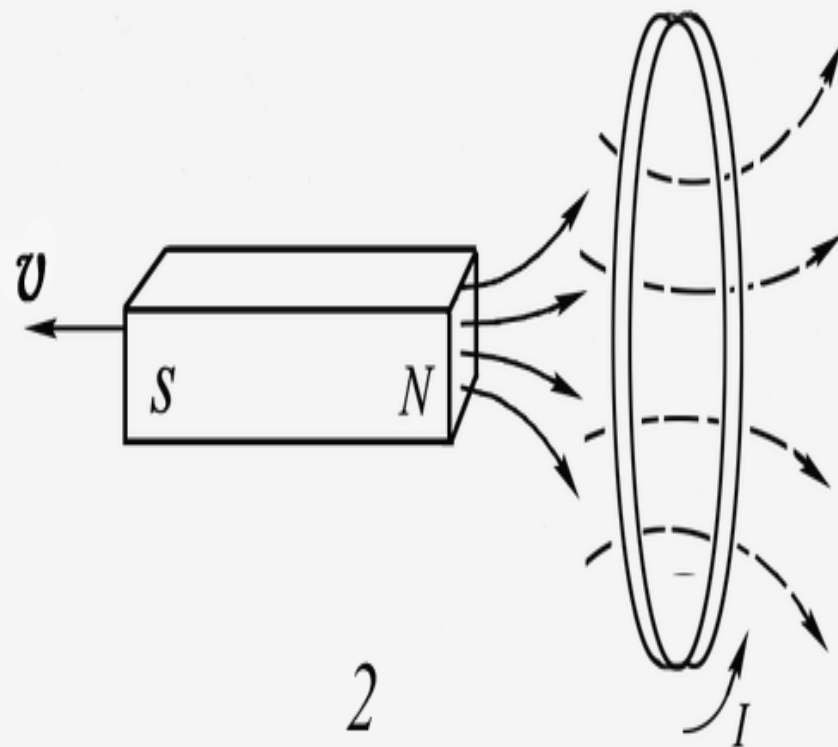
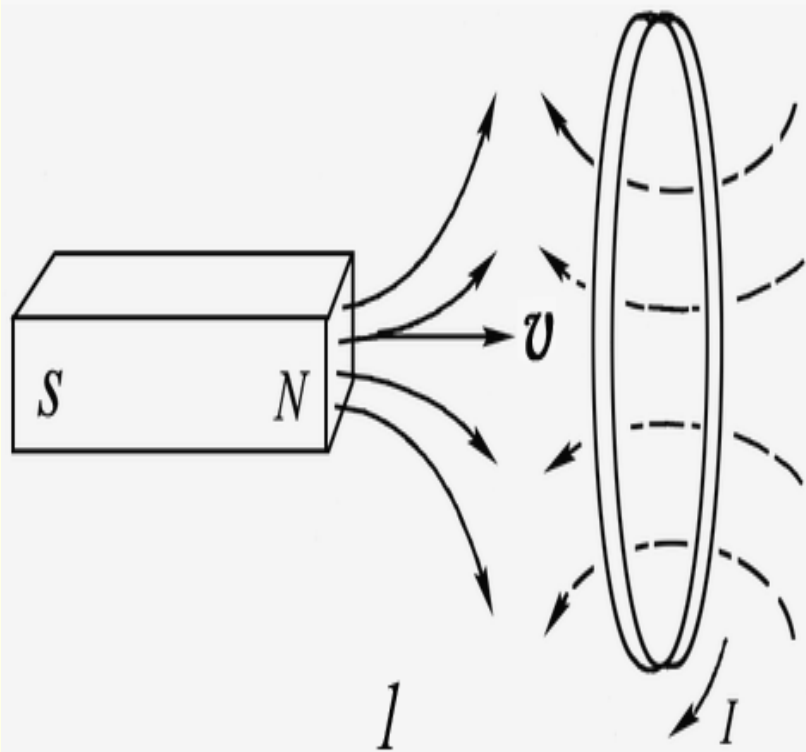
- ***Явление электромагнитной индукции***
- ***Правило Ленца***
- ***Токи Фуко (вихревые токи)***
- ***Явление самоиндукции***

# Явление электромагнитной индукции



Первый опыт Фарадея, 1831 г.

Катушка с током  $I$  возбуждает ток в другой катушке 2 при замыкании и размыкании цепи.

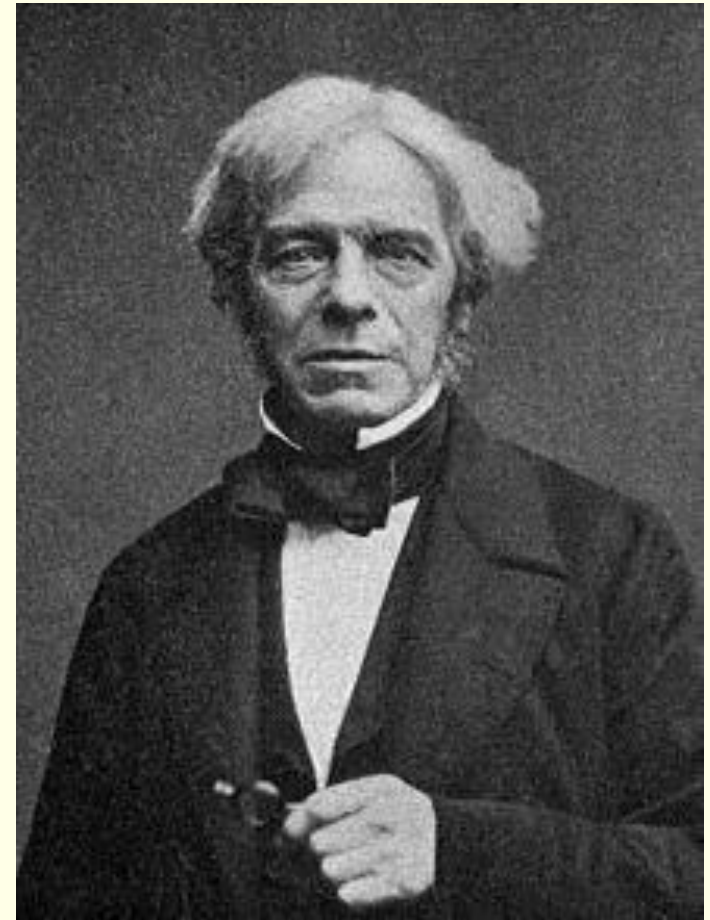


Явление магнитоэлектрической индукции  
возбуждение электрического тока в катушке  
при внесении и удалении из нее постоянного  
магнита

# Фарадей Майкл

## (1791 – 1867)

Английский физик-экспериментатор и химик. Открыл электромагнитную индукцию, химическое действие тока, законы электролиза, действие магнитного поля на свет, диамагнетизм, создал первую модель электродвигателя, первый трансформатор, первым предсказал электромагнитные волны и др.



Дальнейшие исследования показали, что:

В замкнутом контуре при любом изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур, возбуждается электрический ток – *ток индукции*, или *индукционный ток*. Величина этого тока тем больше, чем выше скорость изменения магнитного потока в замкнутом контуре.

Фарадей открыл, что:

*ЭДС индукции в замкнутом проводящем контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения потока вектора магнитной индукции  $\Phi$  сквозь поверхность, натянутую на этот контур:*

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Phi = \left( \vec{B} \cdot \vec{S} \right)$$

Для замкнутого контура магнитный поток  $\Phi_m$  есть не что иное, как потокосцепление  $\Psi$  этого контура.

Поэтому основной закон электромагнитной индукции для замкнутого проводящего контура:

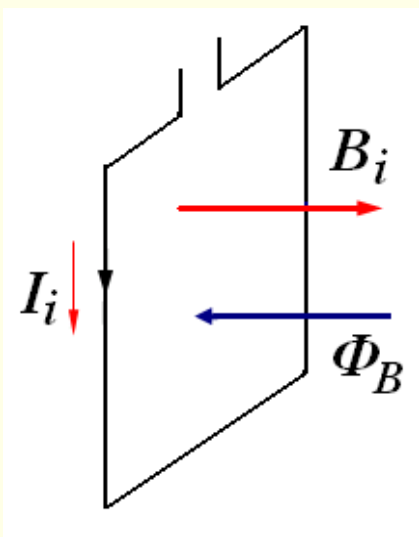
$$\varepsilon = - \frac{d\Psi}{dt}$$



# Правило Ленца

Правило, определяющее знак в формуле для ЭДС индукции и направление индукционного тока, было установлено в 1833 г. петербургским академиком Ленцем и называется *правилом Ленца*:

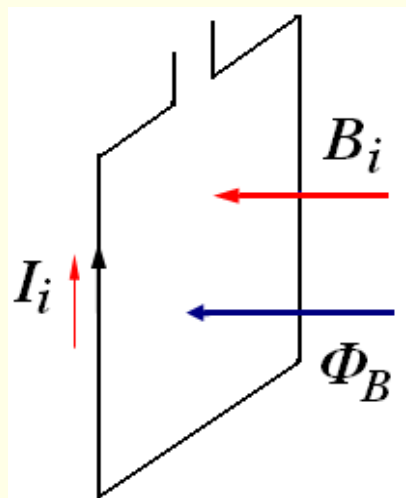
ЭДС индукции порождает в замкнутой цепи индукционный ток, направленный таким образом, чтобы препятствовать изменению магнитного потока в замкнутом контуре.



### *Увеличение потока* магнитной индукции

$$\frac{d\Phi_B}{dt} > 0 \text{ вызывает } \mathcal{E}_i < 0, \text{ т.е.}$$

поле индукционного поля  $B_i$  направлено навстречу внешнему полю, поток которого  $\Phi_B$ .



### *Уменьшение потока* магнитной индукции

$$\frac{d\Phi_B}{dt} < 0 \text{ вызывает } \mathcal{E}_i > 0, \text{ т.е.}$$

поле индукционного поля  $B_i$  совпадает с направлением внешнего поля, поток которого  $\Phi_B$ .

# Закон электромагнитной индукции в дифференциальной форме

По теореме Стокса

$$\oint_L \vec{A} d\vec{l} = \int_S \operatorname{rot} \vec{A} d\vec{S}.$$

В нашем случае

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \frac{\partial \Phi_B}{\partial t} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S}.$$

Контур не изменяет форму, следовательно, операции дифференцирования и интегрирования можно поменять местами и перейти к частной производной.

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}.$$

$$\Rightarrow \oint_L \vec{E} d\vec{l} = \underbrace{\int_S \operatorname{rot} \vec{E} d\vec{S}}_{= - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}}.$$

Закон электромагнитной индукции в  
дифференциальной форме будет выглядеть в  
следующем виде

$$\operatorname{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

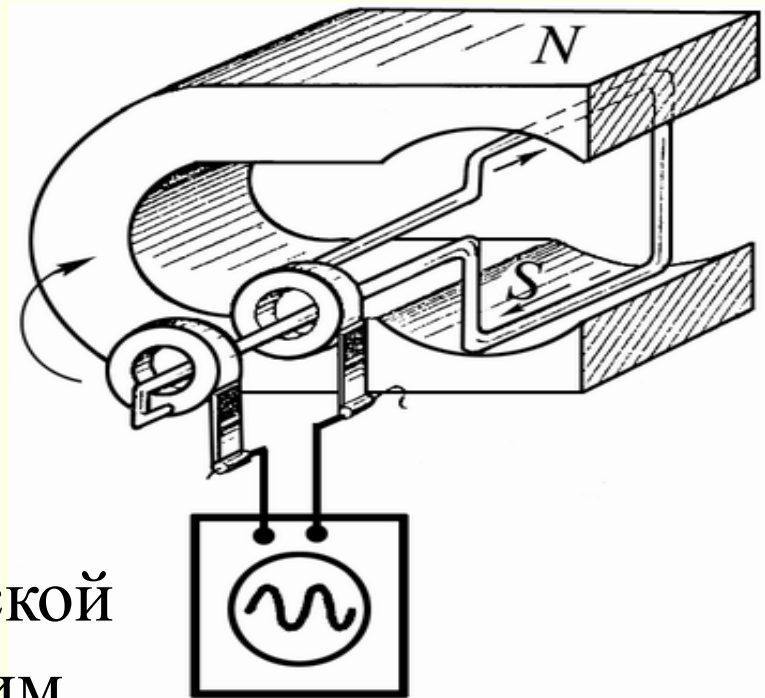
# Электромагнитная индукция в технике

Это явление положено в основу работы *генераторов переменного тока*, в которых в однородном магнитном поле ( $\mathbf{B} = const$ ) равномерно (с угловой скоростью  $\omega = const$ ) вращается рамка

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi_B}{dt} = \underbrace{BS}_{\mathcal{E}_{max}} \omega \sin \omega t,$$

где  $S$  – площадь рамки.

Процесс превращения механической энергии в электрическую обратим.



# Токи Фуко (вихревые токи)

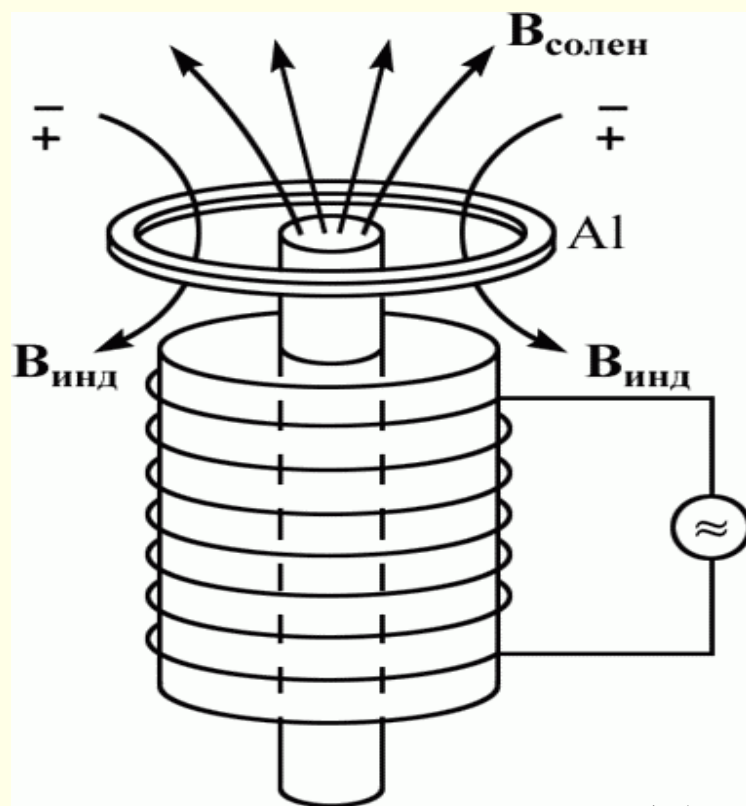
- индукционные токи, возникающие в массивных сплошных проводниках, помещенных в переменное магнитное поле.

**Массивные проводники** – поперечные размеры, которых соизмеримы с длиной проводника.

В отличие от линейных проводников в **массивных проводниках** токи (токи Фуко) замкнуты в объёме, поэтому они называются *вихревыми*. Они подчиняются правилу Ленца, т.е. их магнитное поле направлено таким образом, чтобы противодействовать изменению магнитного потока, индуцирующего вихревые токи.

Алюминиевое кольцо выталкивается и зависает над сердечником соленоида, подключенного к генератору переменного электрического тока.

Сила отталкивания возникает в соответствии с **правилом Ленца** – индукционный ток порождает магнитное поле, препятствующее изменению магнитного потока в контуре



# Явление самоиндукции

Явление возникновения ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении в нем силы тока называется *самоиндукцией*.

Направление ЭДС самоиндукции препятствует возрастанию тока в цепи при его увеличении и его убыванию при уменьшении тока в цепи.

Самоиндукция подобна инерции в механическом движении.



Поток вектора магнитной индукции  $\Psi$ , посылаемый током  $I$  через свой собственный контур, равен  $\Psi = LI$ , где  $L$  – коэффициент самоиндукции произвольного замкнутого контура (*индуктивность*).

Величина индуктивности  $L$  определяется *геометрией контура, числом витков  $N$ , магнитными свойствами окружающей среды*.

В частности, для соленоида с магнитным сердечником

$$L = \mu \mu_0 \left( \frac{N}{l} \right)^2 V$$

где  $\mu$  – магнитная проницаемость сердечника;  $N$ ,  $l$ ,  $V$  – полное число витков, длина и объем соленоида.

Таким образом,  
самоиндукции равна

ЭДС

$$\mathcal{E}_{si} = - \frac{d(LI)}{dt}$$

Если индуктивность контура  
постоянна, то ЭДС  
самоиндукции  
пропорциональна скорости  
изменения тока в цепи

$$\mathcal{E}_{si} = -L \frac{dI}{dt}$$

Единица измерения индуктивности – Гн (Генри)

$$[L](\text{Гн}) \cdot [I](\text{А}) = [\Psi](\text{Вб}).$$