











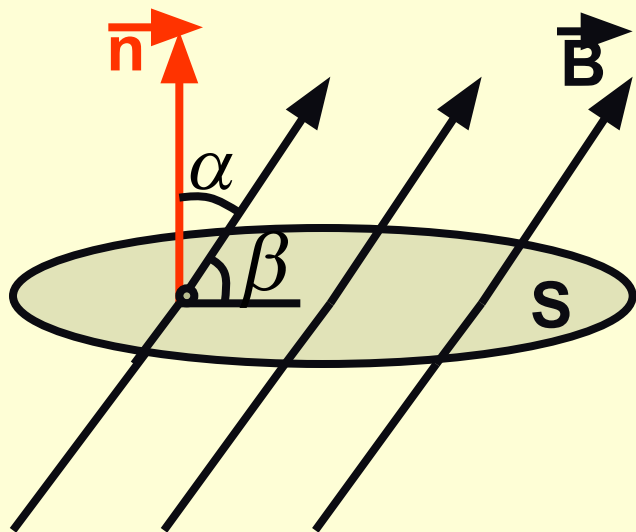
# Электромагнитная индукция



# Электромагнитная индукция

- Магнитный поток 
- Майкл Фарадей 
- Явление электромагнитной индукции 
- Вихревое электрическое поле 
- ЭДС индукции в движущихся проводниках 
- Явление самоиндукции 
- Индуктивность 
- Энергия магнитного поля 
- Электромагнитное поле 
- Вопросы 

# Магнитный поток



$$\Phi = BS \cos \alpha$$

$$\Phi = BS \sin \beta$$

$$[\Phi] = B\sigma$$

$$1B\sigma = 1Tл \cdot 1M^2$$

$$\Phi = \Phi_{\max} = BS \quad \text{если} \quad \alpha = 0^0 \quad ( \beta = 90^0 )$$

$$\Phi = 0 \quad \text{если} \quad \alpha = 90^0 \quad ( \beta = 0^0 )$$

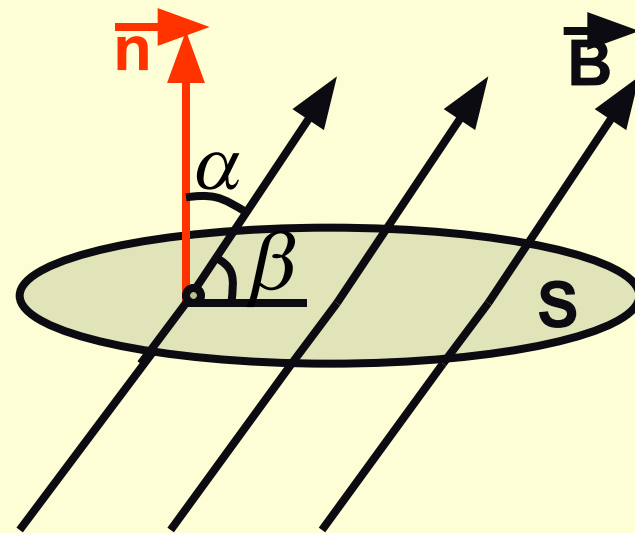
# Магнитный поток

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

$$\Delta \Phi = \Delta BS \cos \alpha$$

$$\Delta \Phi = B \Delta S \cos \alpha$$

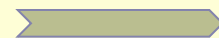
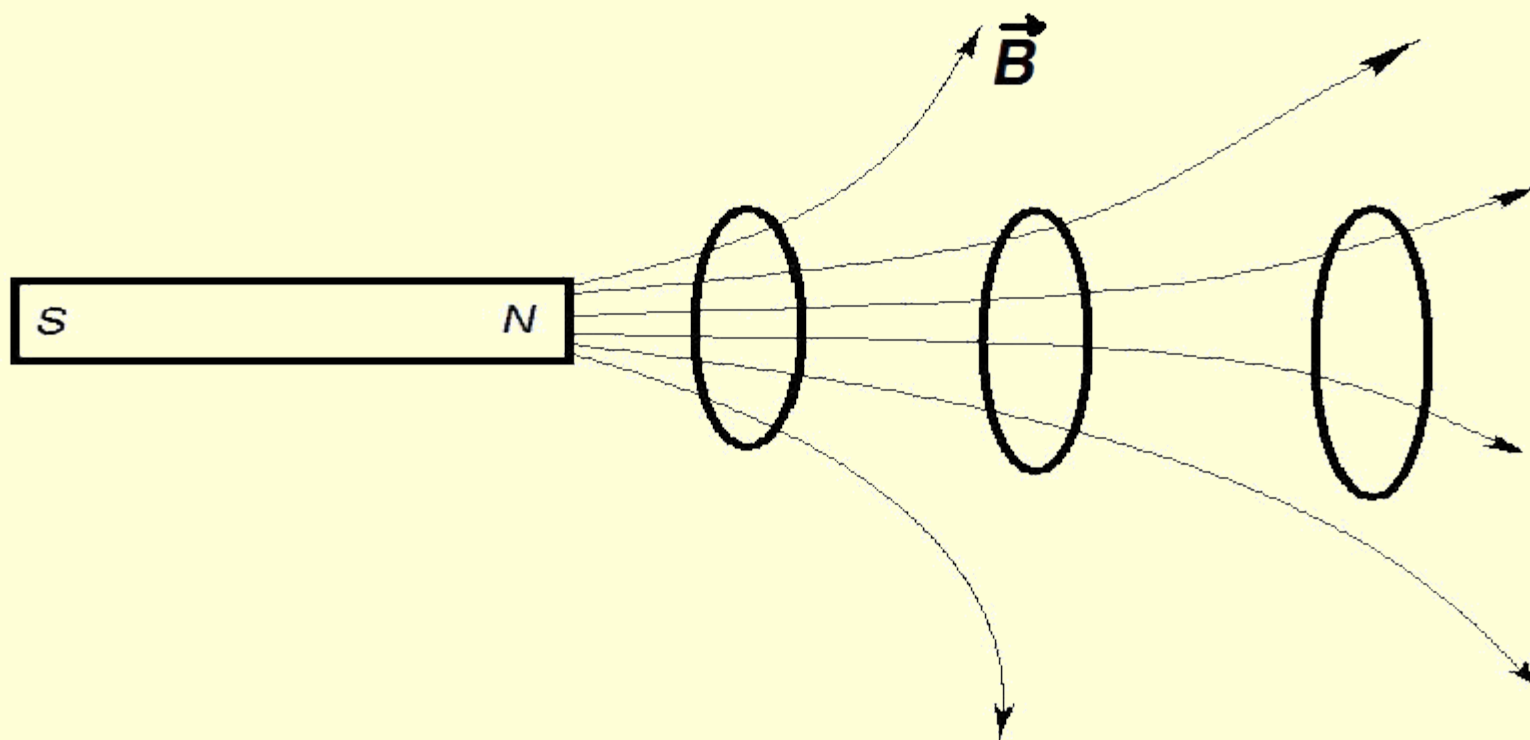
$$\Delta \Phi = BS \Delta(\cos \alpha)$$



*Магнитный поток через поверхность изменяется, если изменяется число магнитных линий пронизывающих поверхность.*



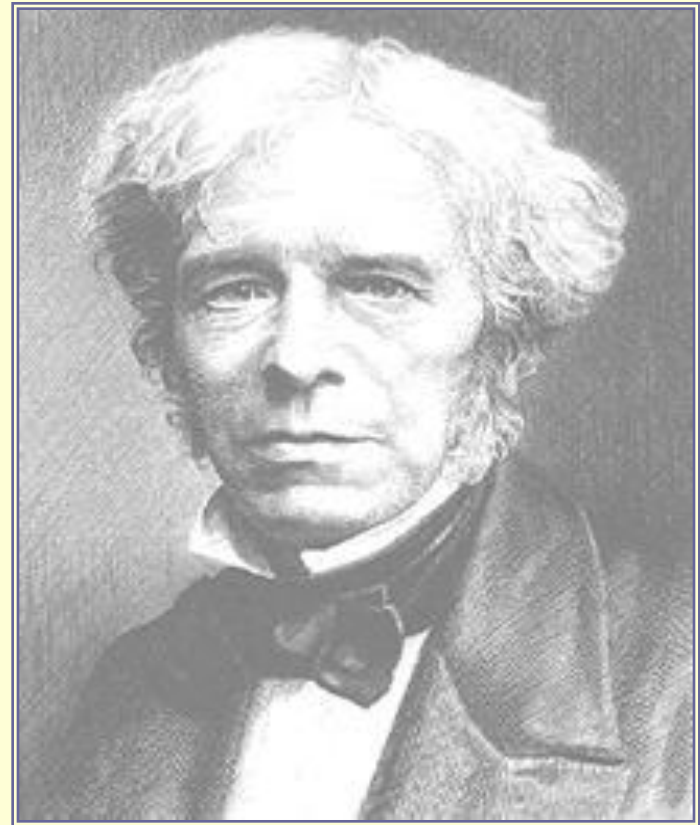
# Магнитный поток



# Майкл Фарадей

**Майкл Фарадей  
(1791 -1867)**

**«Превратить магнетизм  
в электричество»  
(запись в дневнике  
была сделана в 1822  
году)**



# Майкл Фарадей



Портрет Майкла Фарадея изображен на одной из английских купюр.








# ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Явление электромагнитной  
индукции было открыто 29  
августа 1831 года.



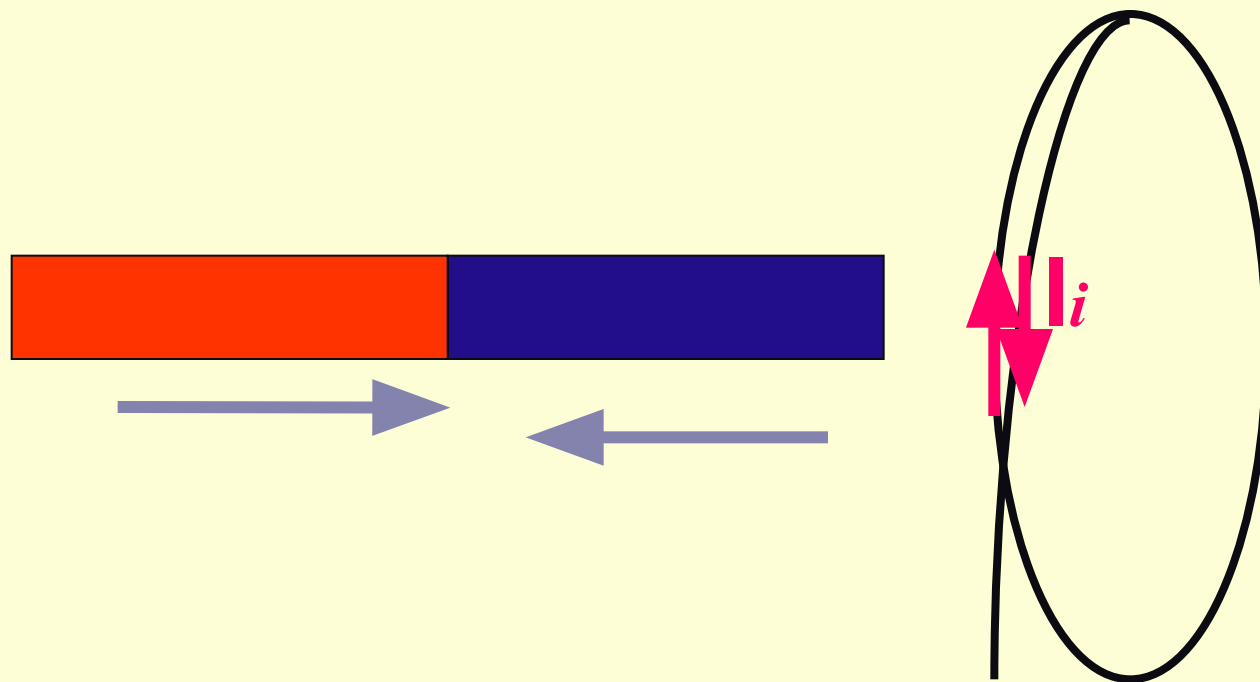


# ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

- Явление ЭМИ 
- Направление индукционного тока 
- Сила индукционного тока 
- Закон ЭМИ 
- Опыт с катушками 



# Электромагнитная индукция



# Электромагнитная индукция

Именно ассистент Фарадея, бывший сержант артиллерии, Андерсен заметил отклонение стрелки гальванометра в те моменты, когда Фарадей двигал железный сердечник.



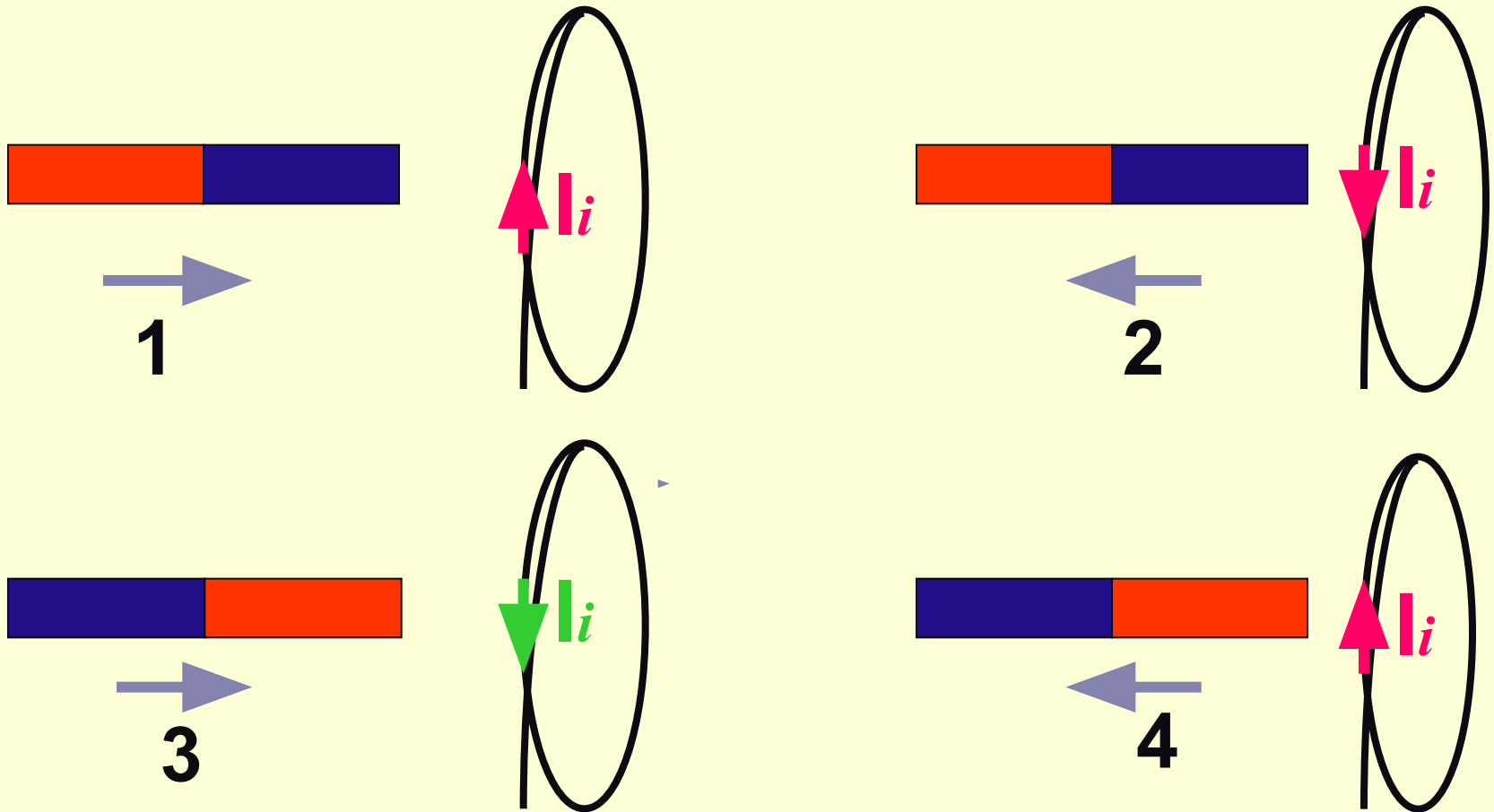


# Электромагнитная индукция

**Явление возникновения тока  
в замкнутом проводящем  
контуре при изменении  
магнитного потока  
пронизывающего этот  
контур.**



# Направление индукционного тока

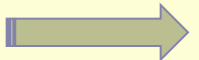




# Направление индукционного тока

*Направление индукционного тока  
зависит от:*

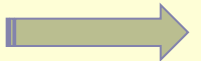
- *Направления магнитных линий*
- *Характера изменения магнитного потока*





# Правило Ленца

**Возникающий в замкнутом контуре индукционный ток своим магнитным полем противодействует тому изменению магнитного потока, которым он вызван.**



# Направление индукционного тока

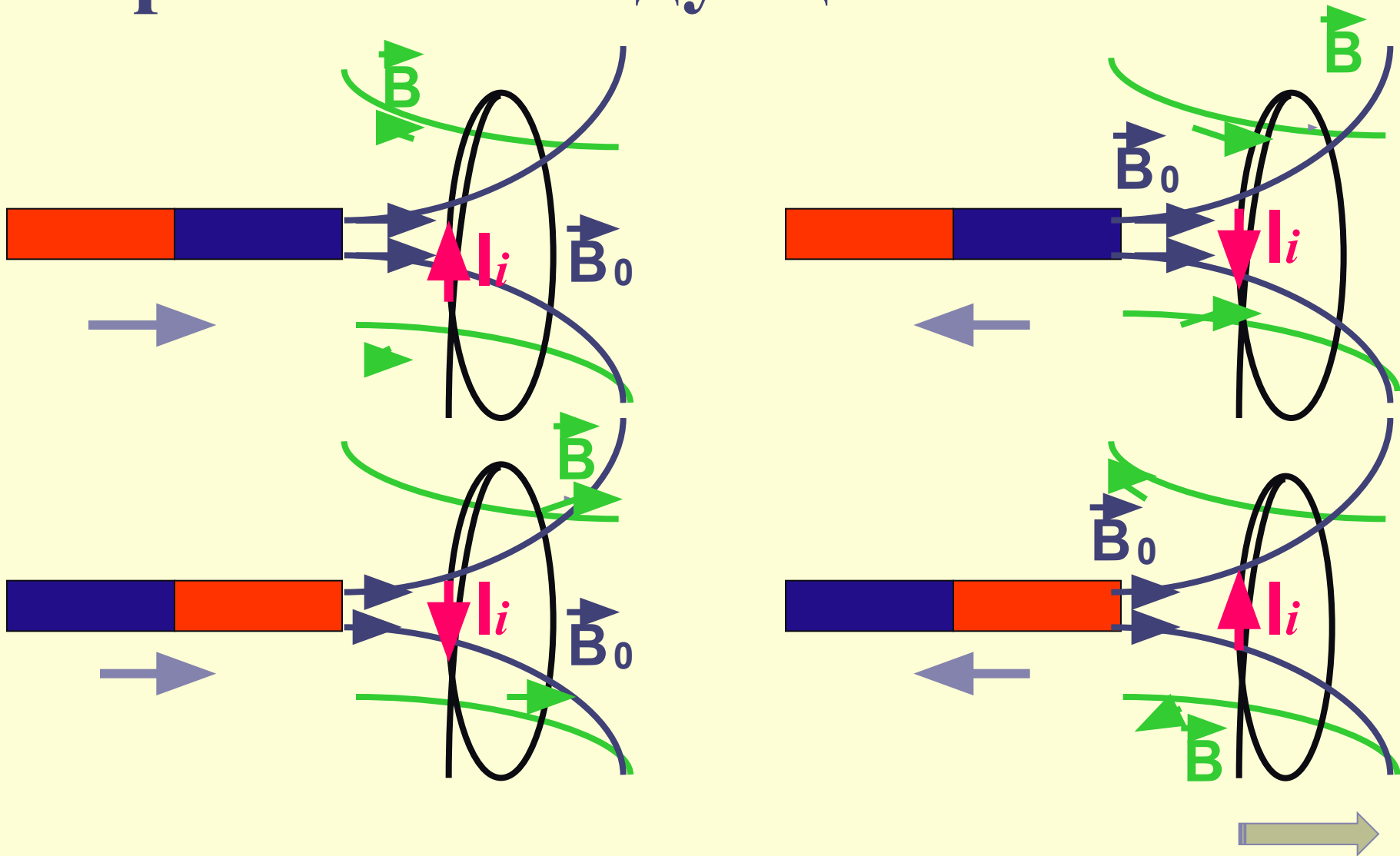
*Для определения направления индукционного тока в контуре необходимо:*

- 1. Определить направление линий магнитной индукции внешнего (первичного) поля ( $B_0$ ).*
- 2. Выяснить как меняется магнитный поток, пронизывающий контур (увеличивается или уменьшается.)*
- 3. Определить направление линий магнитной индукции вторичного магнитного поля, созданного индукционным током ( $B$ ).*  
$$\Delta\Phi_0 > 0 \Rightarrow \vec{B} \uparrow \downarrow \vec{B}_0$$
$$\Delta\Phi_0 < 0 \Rightarrow \vec{B} \uparrow \uparrow \vec{B}_0$$
- 4. Определить направление индукционного тока по вторичным линиям используя правило правого буравчика.*

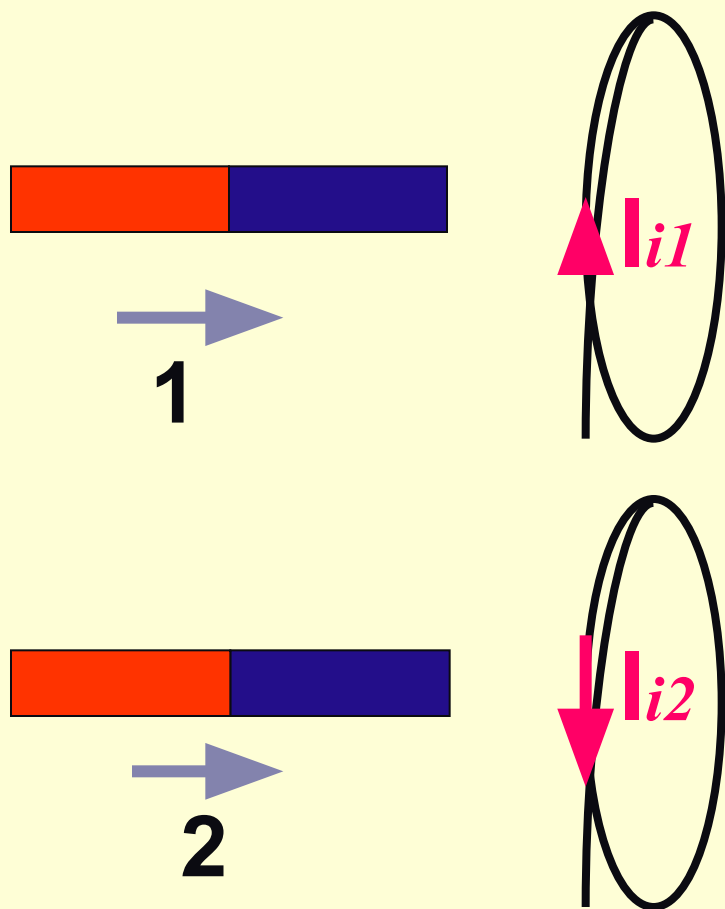




# Направление индукционного тока

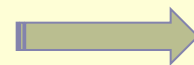


# Сила индукционного тока



$$I_{i1} < I_{i2}$$

$$\left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|_1 < \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|_2$$





# Сила индукционного тока

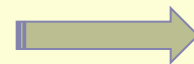
*Сила индукционного тока зависит от скорости изменения магнитного потока: чем быстрее меняется магнитный поток, тем больше сила индукционного тока.*



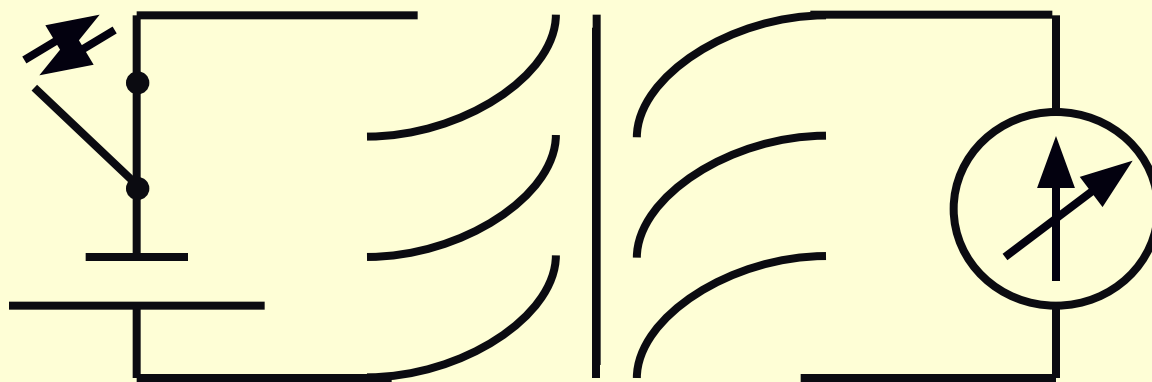
# Джозеф Генри

Джозеф Генри  
(1797 – 1878)

Впервые провел  
опыт с двумя  
катушками.



# Катушки

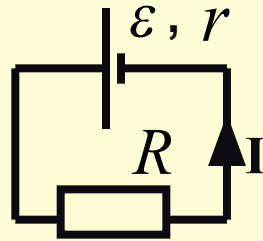


# Закон электромагнитной ИНДУКЦИИ.

$$I_i \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_i = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$$

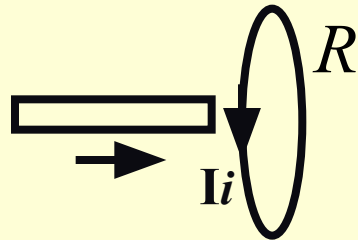
$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$



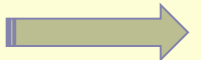
$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$r = 0$$

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}$$



$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} N$$





# Вихревое электрическое поле

- *Одним из условий существования тока является наличие электрического поля.*
- *В замкнутом проводящем контуре возникает электрический ток при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур.*

*Переменное во времени магнитное поле порождает электрическое поле.*

*Порождаемое электрическое поле является вихревым.*



# Электрическое поле

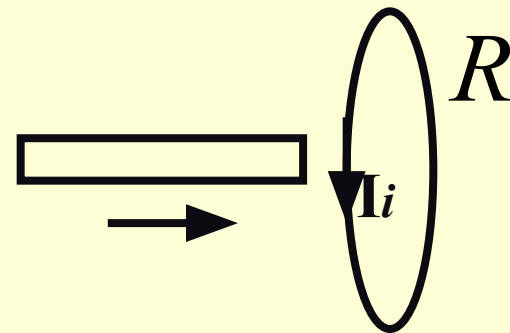
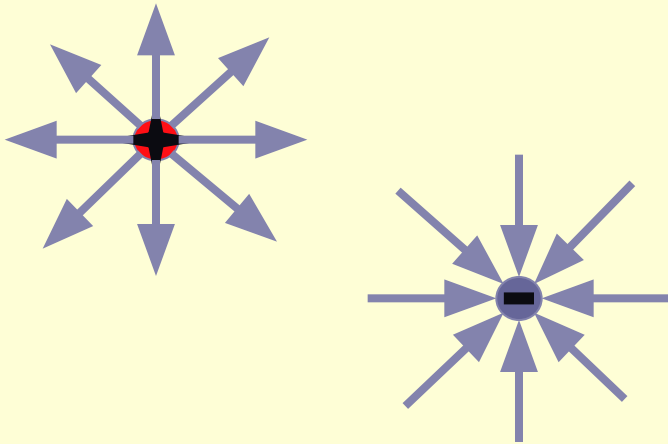
электростатическое

вихревое

## ИСТОЧНИКИ

положительные и отрицательные электрические заряды

переменное во времени магнитное поле



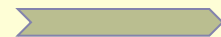
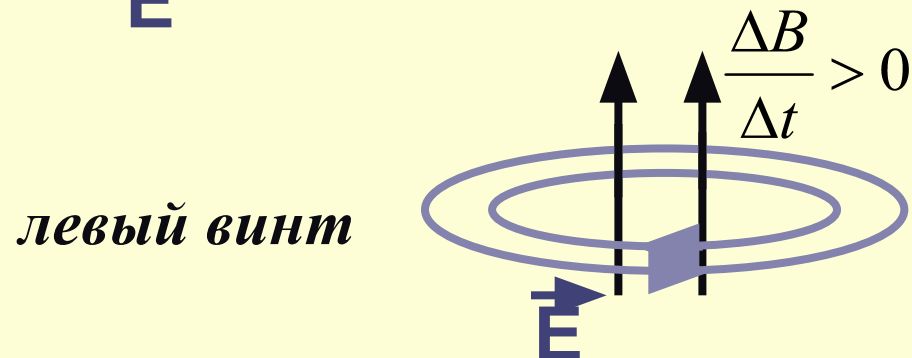
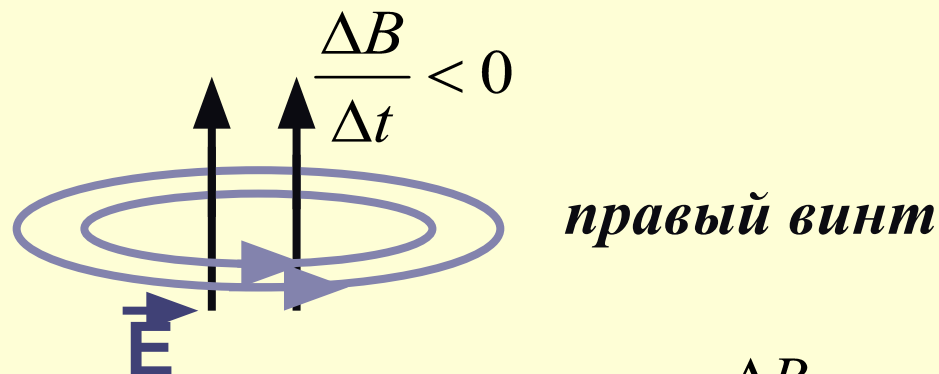
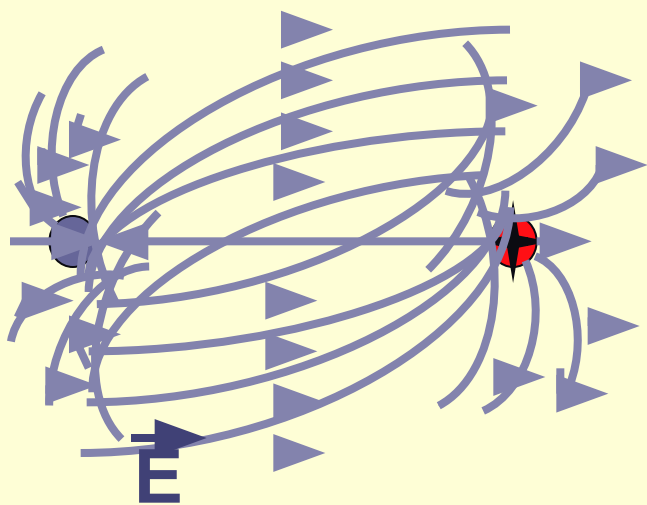


# Электрическое поле

электростатическое

вихревое

## направление линий напряженности

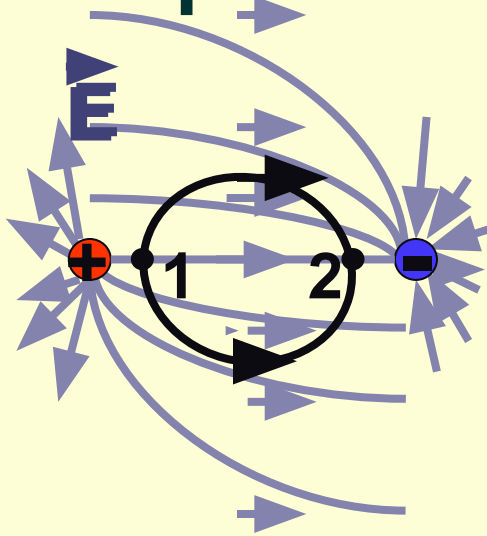


# Электрическое поле

электростатическое

вихревое

работа поля по замкнутому контуру



$$\vec{F} = q\vec{E}$$

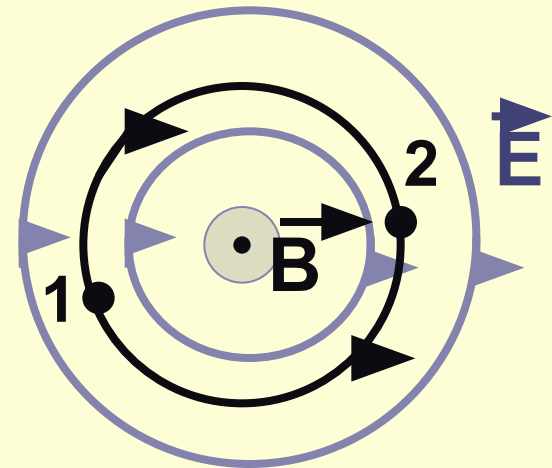
$$A = Fd$$

$$A_{cm} = A_{12} + A_{21}$$

$$A_{12} > 0$$

$$A_{21} < 0$$

$$A_{cm} = 0$$



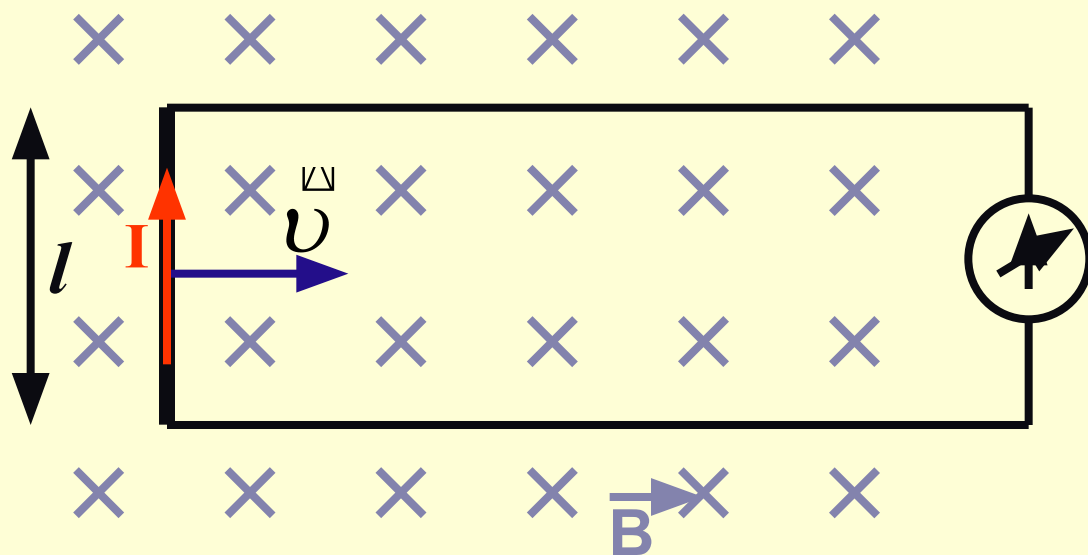
$$A_{вихр} = A_{12} + A_{21}$$

$$A_{12} > 0$$

$$A_{21} > 0$$

$$A_{вихр} \neq 0$$

# ЭДС индукции в движущихся проводниках



$$F_{Л} = |q|vB \sin \alpha$$

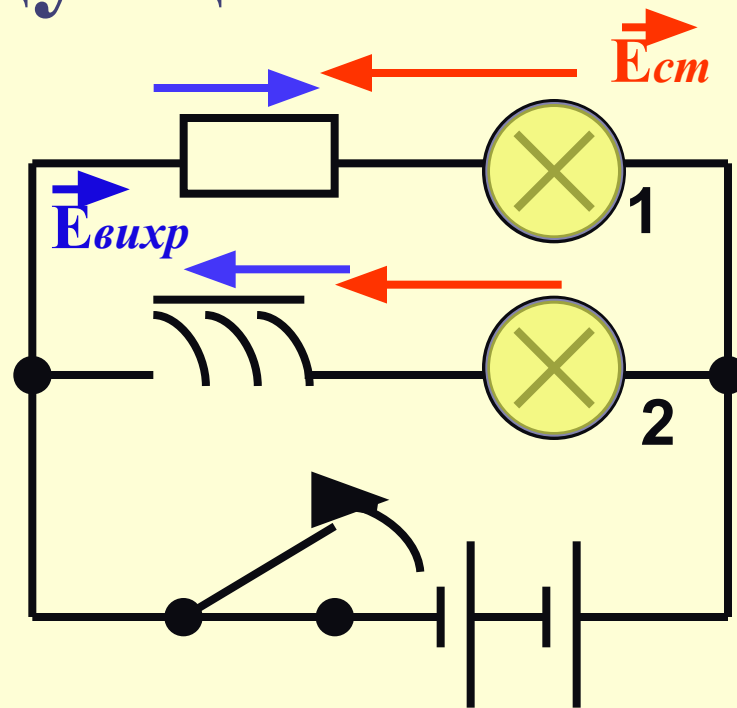
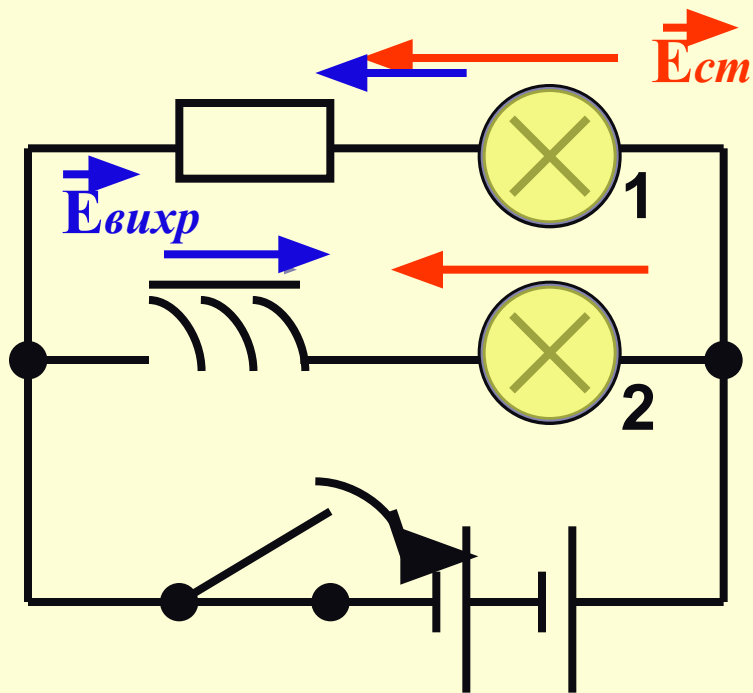
$$A = F_{Л} l = |q|vBl \sin \alpha$$

$$\varepsilon_i = \frac{A}{|q|}$$

$$\varepsilon_i = vBl \sin \alpha$$

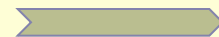
$\alpha$  - угол между направлением скорости проводника и вектором магнитной индукции.

# Самоиндукция



$$\vec{F} = q\vec{E}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_{ст} + \vec{E}_{вихр}$$



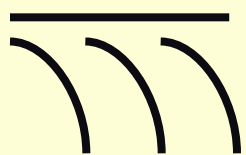
# Самоиндукция

$$\left. \begin{aligned} B &= \mu\mu_0 I \frac{N}{l} \\ \Phi &= BS \cos \alpha \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \Phi &\sim B \sim I \\ \Phi &= LI \end{aligned} \quad L = \frac{\Phi}{I}$$

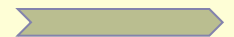
$$[L] = \Gamma_{\text{H}} \quad - \text{индуктивность контура} \quad 1 \Gamma_{\text{H}} = \frac{1 \text{ Вб}}{1 \text{ А}}$$

$$\varepsilon_{is} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{L \Delta I}{\Delta t}$$

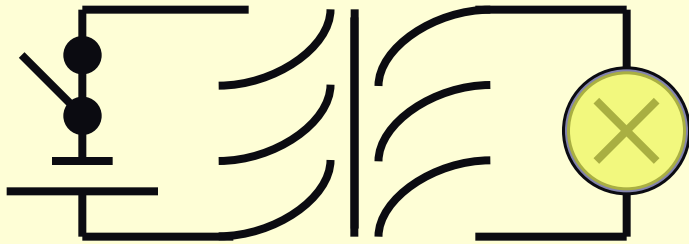
$$\varepsilon_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$



$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l} \quad - \text{индуктивность катушки}$$



# Энергия магнитного поля тока



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

$$W_B = \frac{\Phi I}{2}$$

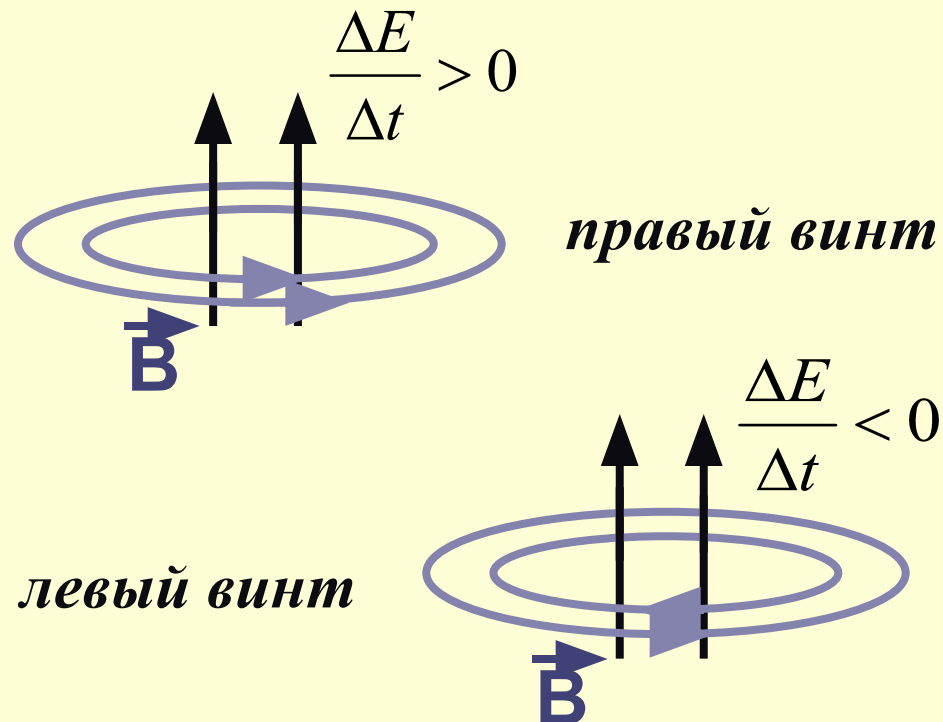
$$\Phi = LI$$

$$W_B = \frac{\Phi^2}{2L}$$



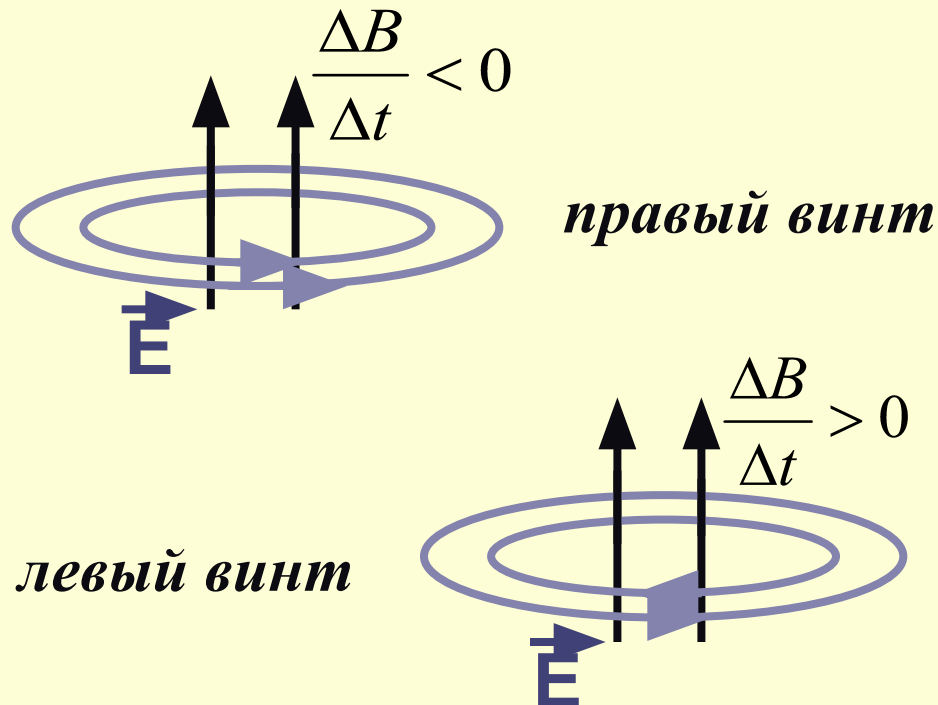
# Электромагнитное поле

- *Переменное во времени электрическое поле порождает магнитное поле.*



# Электромагнитное поле



- Переменное во времени магнитное поле порождает электрическое поле.







# Электромагнитное поле

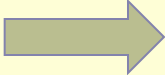


- Утверждение, что в данной точке пространства существует только электрическое или только магнитное поле, не имеет смысла, если не указать, по отношению к какой системе отсчета эти поля рассматриваются.
  - Электрические и магнитные поля – проявление единого **электромагнитного поля**.
- 
- 

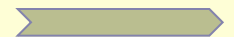
# Вопросы и задания





# Вопросы и задания

- Вопросы. 
- Контур в маг. поле. 
- График зависимости  $\Phi(t)$ . 



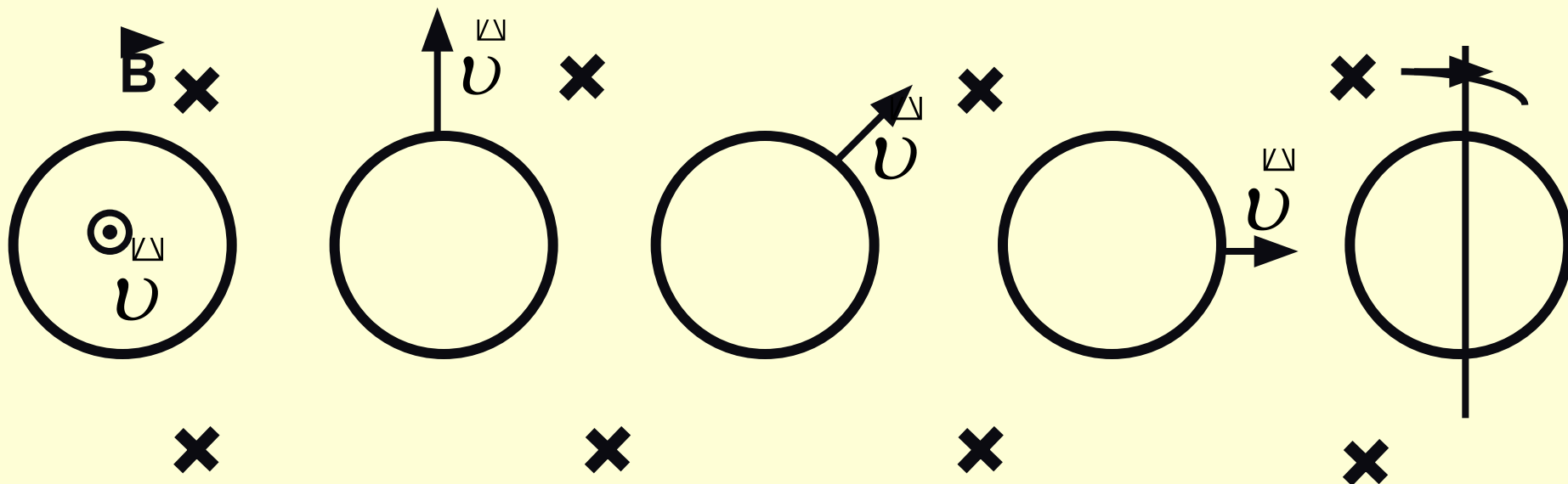


# Электромагнитная индукция

- **Что такое электромагнитная индукция?**
- **От чего зависит сила индукционного тока?**
- **От чего зависит направление индукционного тока?**
- **Кто открыл закон электромагнитной индукции?**
- **В чем важность открытия явления электромагнитной индукции?**



# Электромагнитная индукция



а

б

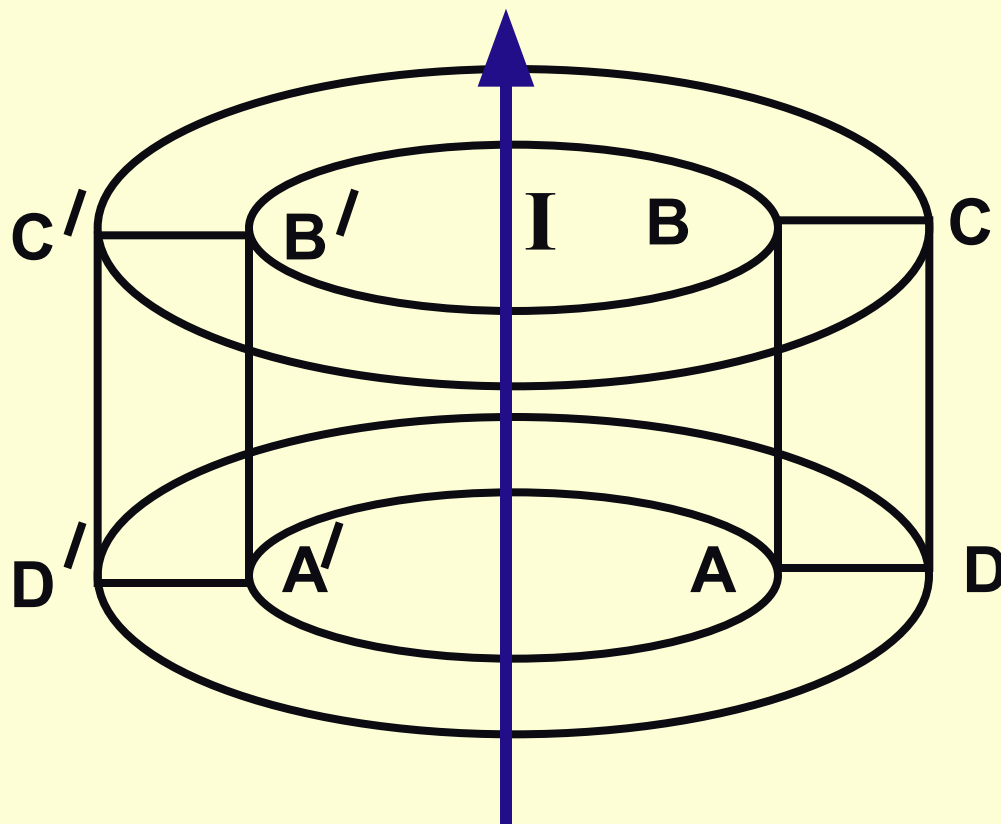
в

г

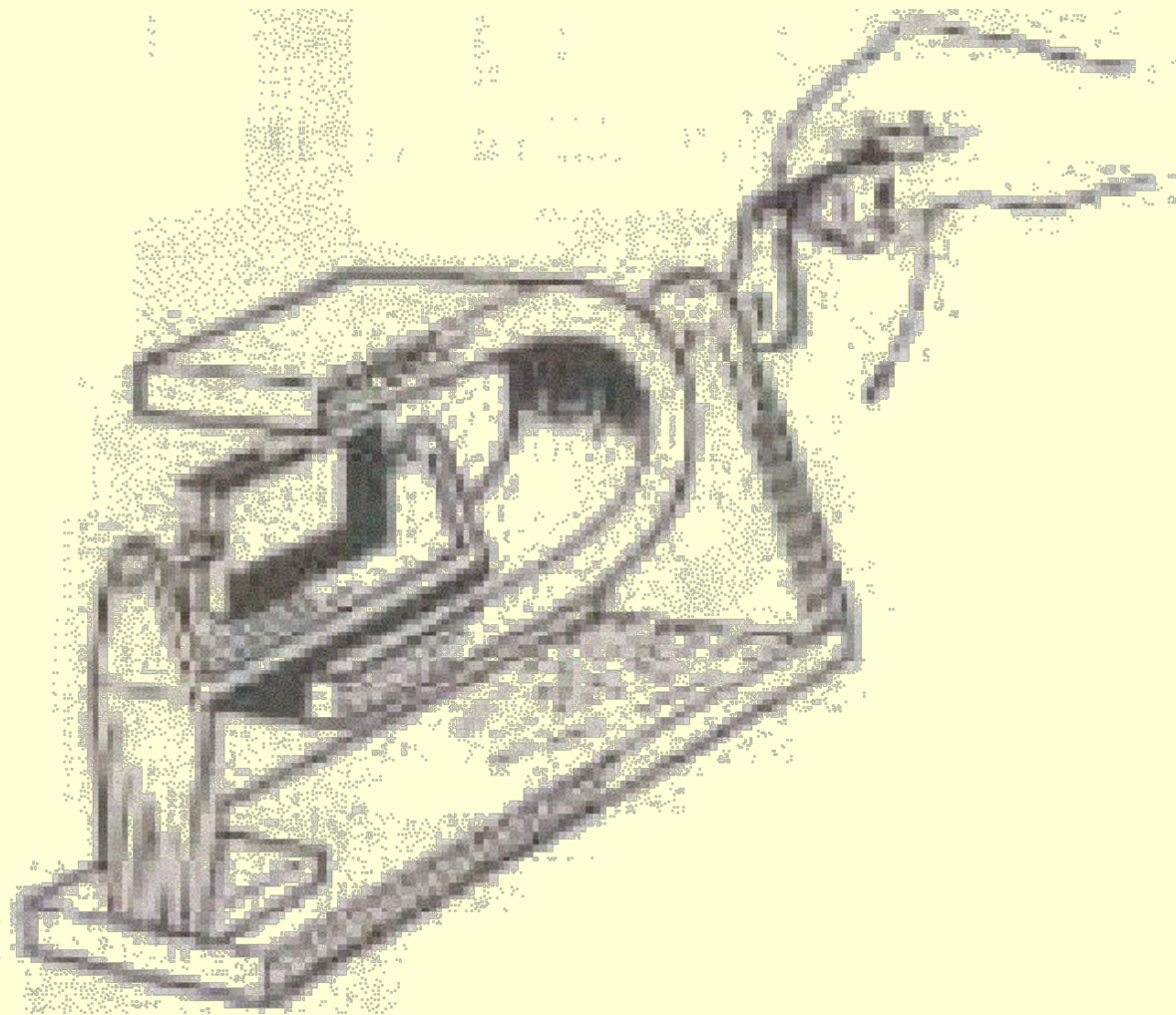
д



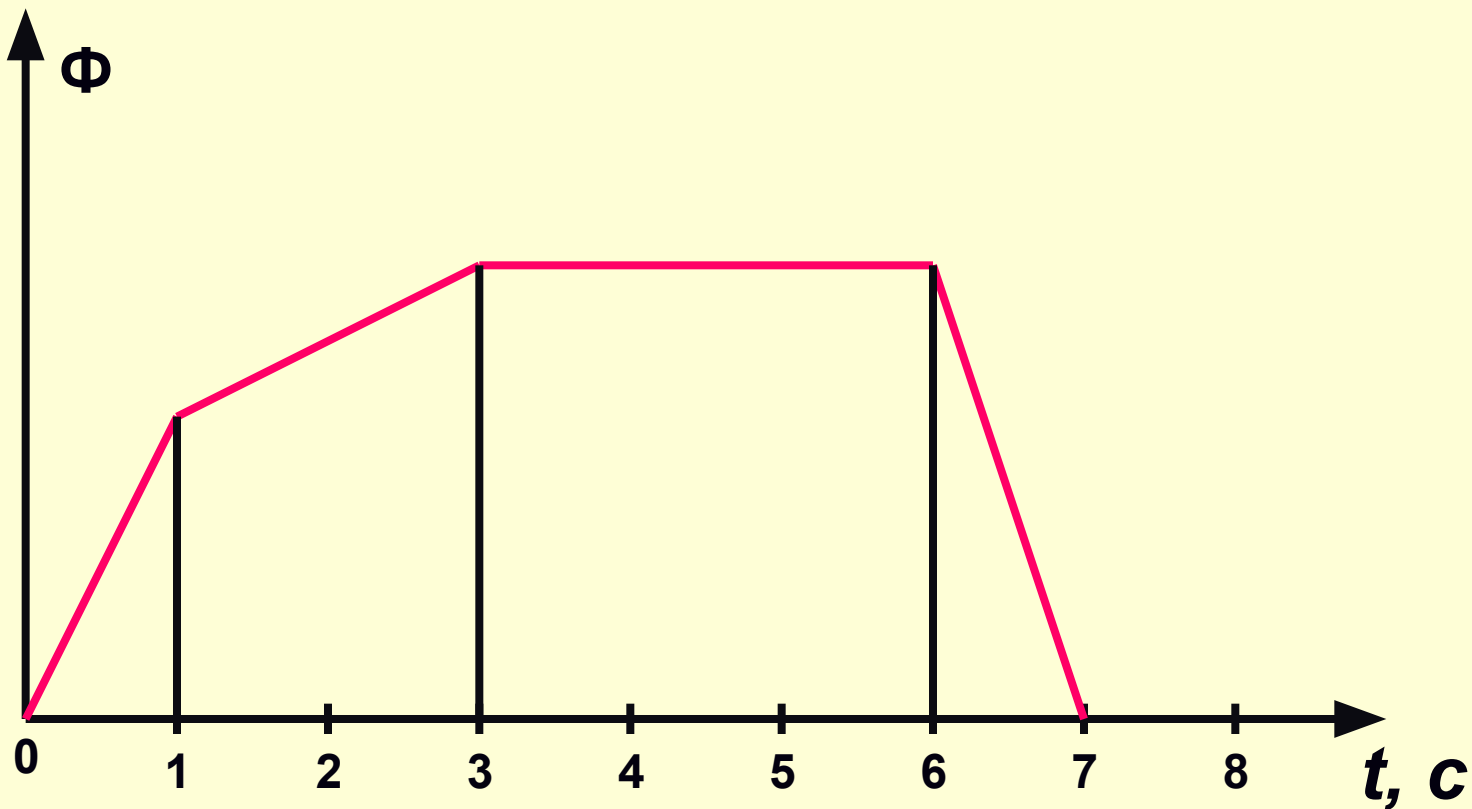
# Электромагнитная индукция



# Электромагнитная индукция



# Электромагнитная индукция





# Электромагнитная индукция

