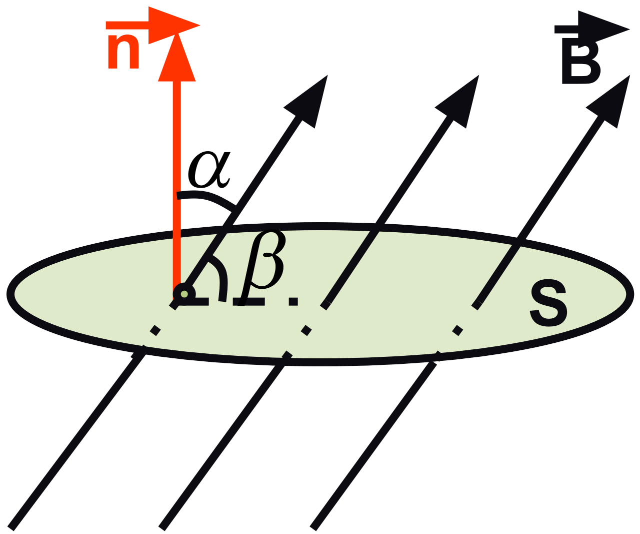
Lecture 12

Electromagnetic induction

- **Magnetic flux**
- **Michael Faraday**
- **The phenomenon of electromagnetic inductio**
- **The vortex electric field**
- **EMF induction in moving conductors**
- **The phenomenon of self-induction**
- **Inductance**
- **The energy of the magnetic field**
- **Electromagnetic field**

Magnetic flux



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

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

$$[\Phi] = Вб$$

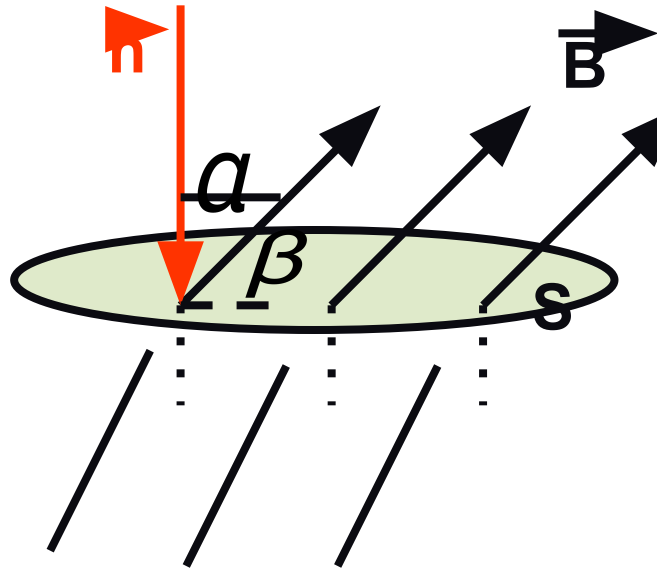
$$1Вб = 1Тл \cdot 1м^2$$

Magnetic flux

$$\Phi = BS\cos a$$

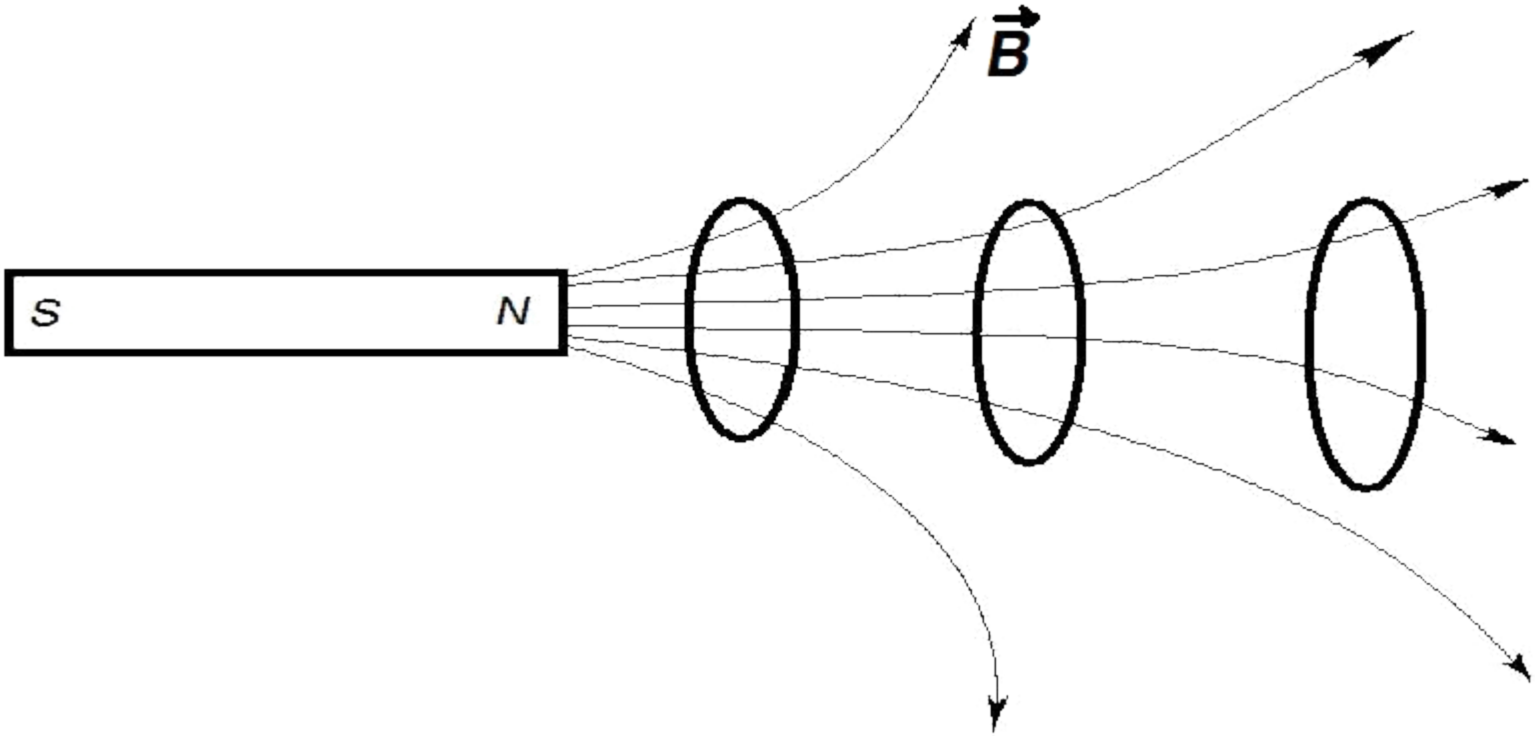
$$\Delta\Phi = \Delta BS\cos a$$

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



The magnetic flux through the surface is changed when the number changes of magnetic field lines penetrating the surface.

Magnetic flux

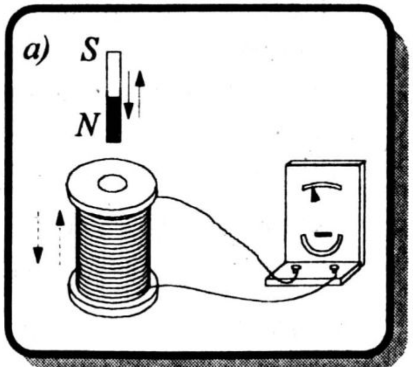


ELECTROMAGNETIC INDUCTION

- **The phenomenon of EMR**
- **The direction of the induced current**
- **Power of induced current**
- **Law EMI**
- **Experience with coils (solenoid)**

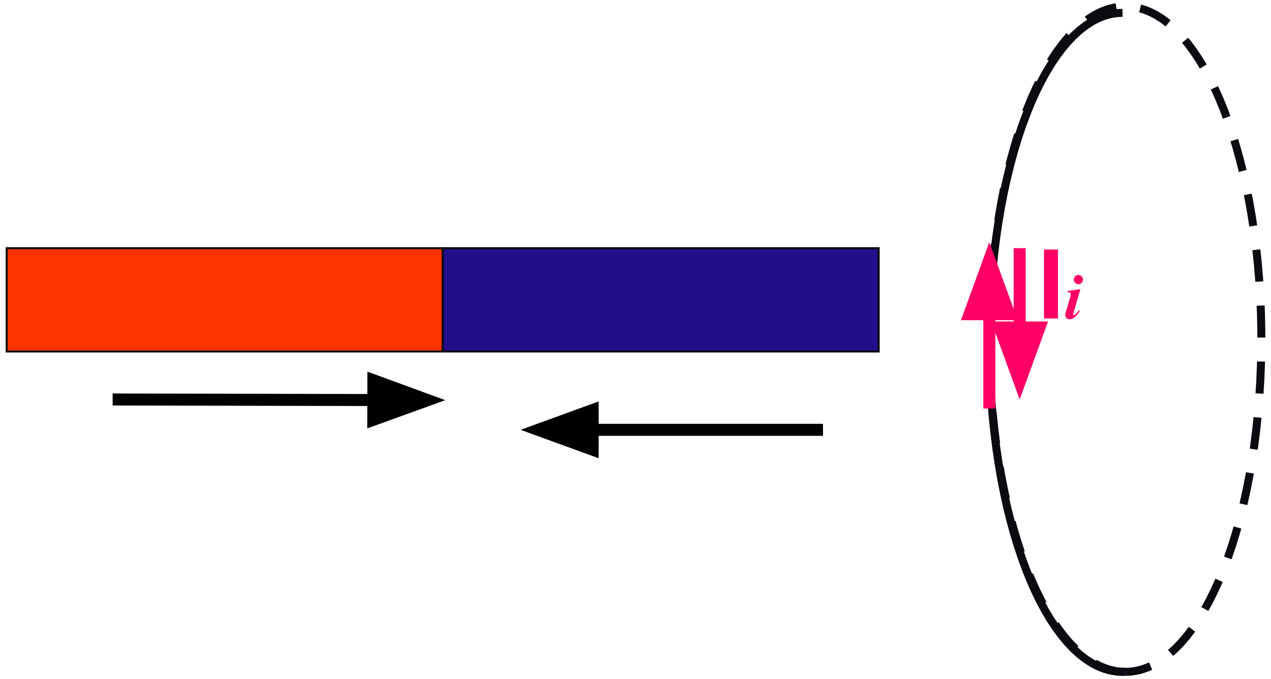
Магнит өрісінде орналасқан тұйық контур арқылы өтетін магнит ағыны өзгергенде тұйық контурда токтың пайда болу құбылысын ***электромагниттік индукция*** деп атайды. Пайда болған ток ***индукциялық ток*** деп аталады.

Электромагниттік индукция құбылысын табуға көмегі тиген Фарадейдің классикалық тәжірибелерін қарастырамыз



Тұрақты магнитті немесе катушканы суретте көрсетілгендей етіп жоғары-төмен қозғаған кезде гальванометрдің ауытқығаны бақыланады. Ол тұйықталған катушкада индукциялық ток пайда болғандығын білдіреді. Тұрақты магнитті жоғары қозғаған кезде гальванометрдің тілшесі біржаққа қарай ауытқыса, төмендеткен кезде екінші жаққа қарай ауытқиды. Егер магнитті жылдамырақ қозғаса гальванометр тілшесі көбірек ауытқиды.

Electromagnetic induction

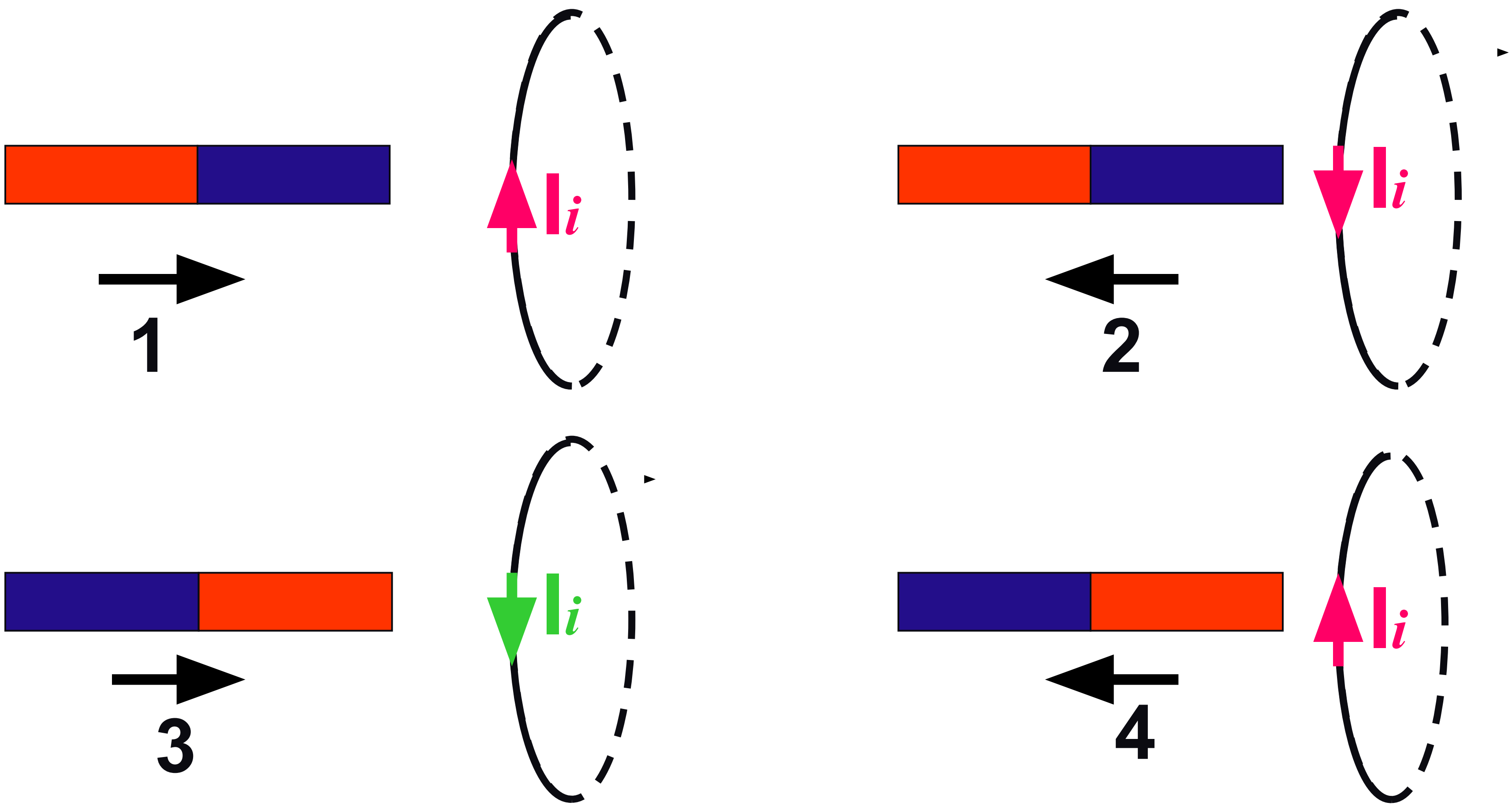


Electromagnetic induction

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

The phenomenon of the emergence of the current in a closed conducting circuit when the magnetic flux penetrating the circuit.

The direction of the induced current



The direction of the induced current

The direction of the induced current depends on:

Direction of the magnetic lines

Character of the change of the magnetic flux

Rule of Lenz

The resultant closed loop its induction current magnetic field that counteracts change in magnetic flux, which is caused by it.

Ленц ережесі. Контурды қиып өтетін магнит ағыны өзгерсе контурда ток пайда болады. Оның пайда болуы контурда индукцияның электр қозғаушы күші пайда болғандығын білдіреді. Индукцияның э.қ.к.-і тек қана магнит ағынының өзгеру жылдамдығымен анықталады,

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

Ленц ережесі: индукциялық ток өзінің магнит өрісімен өзін тудырушы магнит ағынының өзгерісіне қарсы әсер етеді.

The direction of the induced current

To determine the direction of the induction current in the circuit necessary:

1. Determine the direction of the external magnetic flux lines (primary) field (B 0).

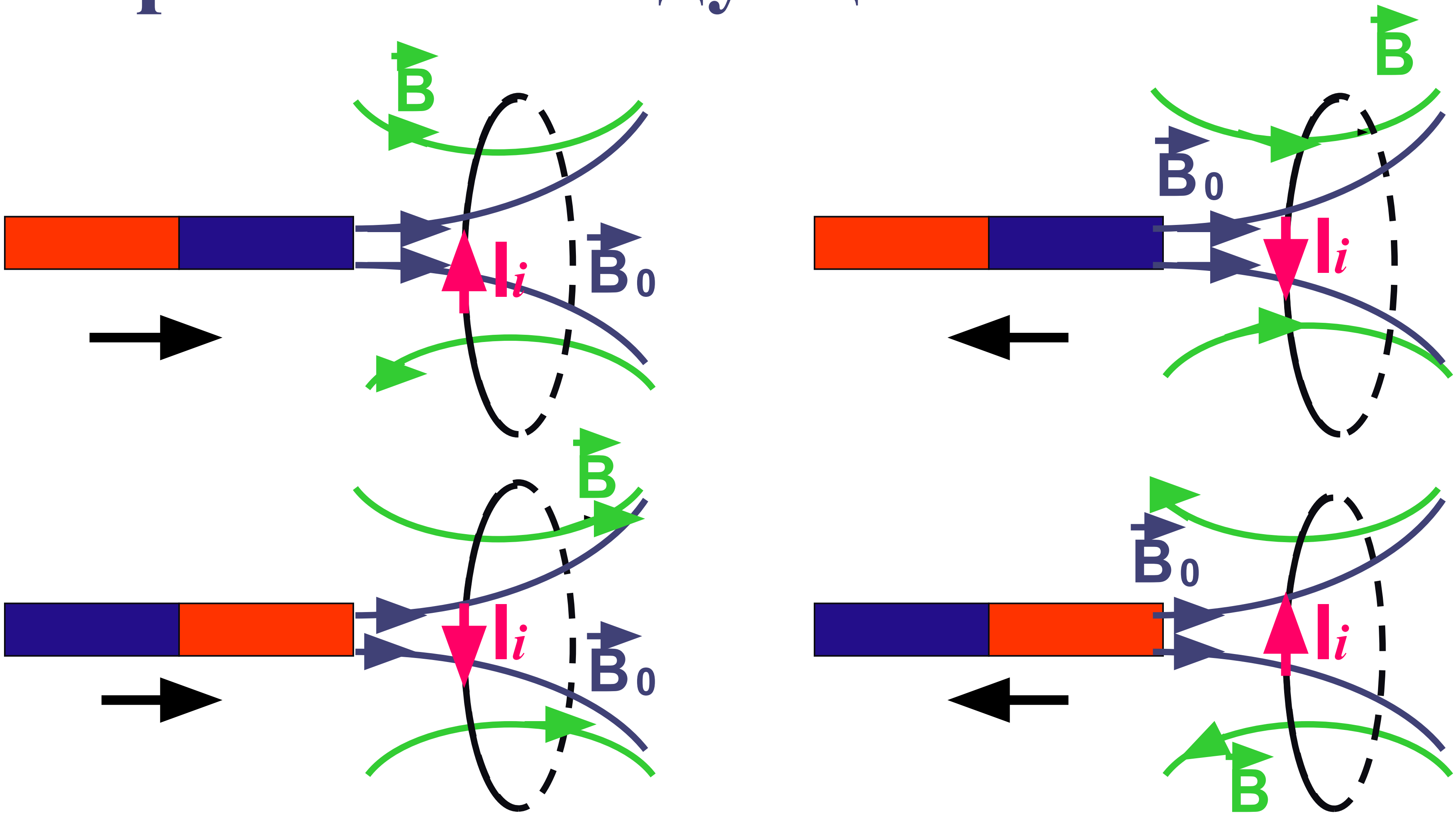
2. Find out how the magnetic flux penetrating the circuit (increases or decreases).

3. Determine the direction of lines of magnetic induction secondary magnetic field produced by the induced current (In).

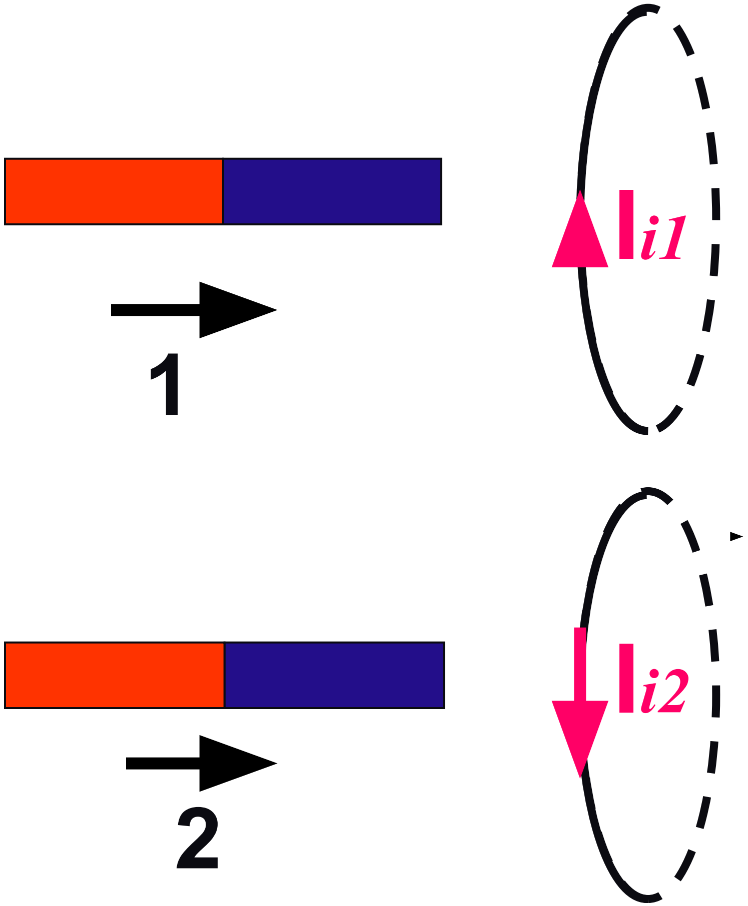
4. Determine the direction of the induced current on the secondary lines, using the right thumb rule

$$\Delta\Phi_0 < 0 \Rightarrow \vec{B} \uparrow\uparrow \vec{B}_0 \qquad \Delta\Phi_0 > 0 \Rightarrow \vec{B} \uparrow\downarrow \vec{B}_0$$

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

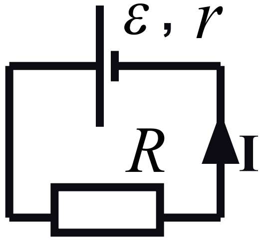
Сила индукционного тока зависит от скорости изменения магнитного потока: чем быстрее меняется магнитный поток, тем больше сила индукционного тока.

The law of electromagnetic induction.

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

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

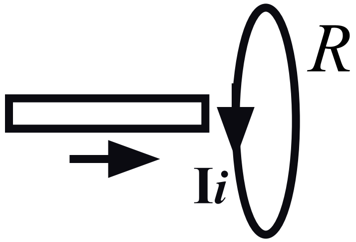
$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$



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

$$r = 0$$

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



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

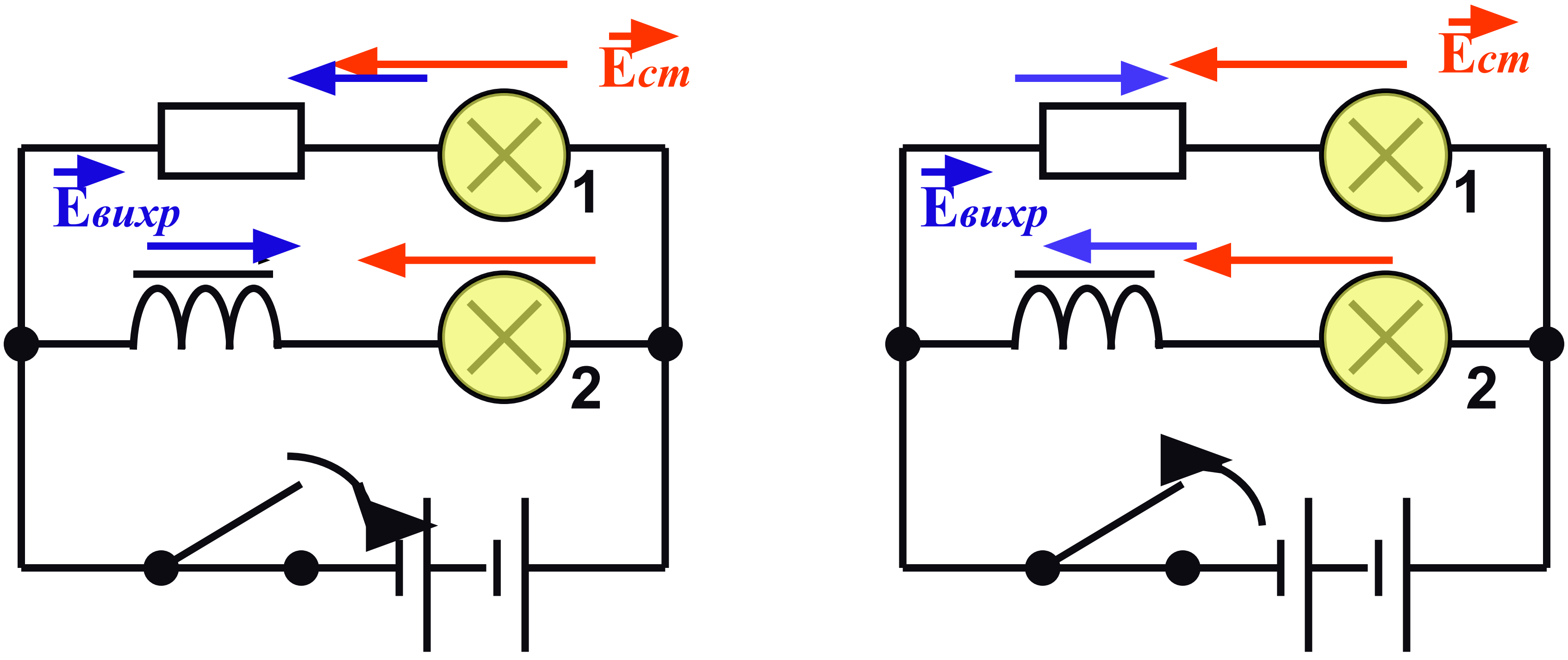
The vortex electric field

- ***Одним из условий существования тока является наличие электрического поля. (One of conditions is the presence of the current existence of an electric field)***

Alternating (айнымалы) magnetic field generates an electric field.

Generates an electric field is a vortex.

Self-induction



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

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

self-induction

$$B = \mu\mu_0 I \frac{N}{l}$$

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

Φ~B~I

Φ=LI

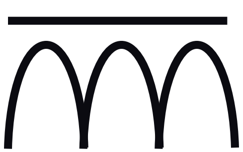
$$L = \frac{\Phi}{I}$$

$[L] = Гн$ ***- inductance of the circuit***

$$1Гн = \frac{1Вб}{1А}$$

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

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



$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l}$$ ***- Inductance***

The energy of the magnetic field of the current

$$W_B = \frac{LI^2}{2} \qquad W_B = \frac{\Phi I}{2}$$

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

$$\Rightarrow \quad L = \mu_0 \mu \frac{N^2}{\square} S \quad W = \frac{1}{2} \mu_0 \mu \frac{N^2 I^2}{\square} S$$

$$B = \mu_0 \mu H, \qquad I = \frac{B\square}{\mu_0 \mu N}$$

$$\Rightarrow \quad W = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} V = \frac{BH}{2} V$$

$$w = \frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \frac{BH}{2}$$

Energy density of magnetic field