

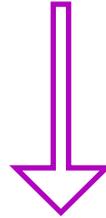
21. Гипотеза Максвелла о вихревом электрическом поле. 1-ое уравнение Максвелла.

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

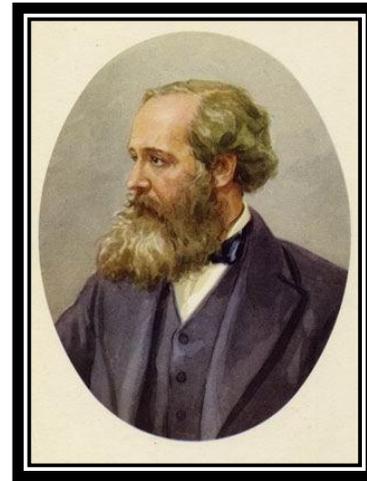


Явления ЭМИ не зависят от....

$$\Phi = \int_S B_n dS$$



Максвелл: **Всякое изменение магнитного поля** сопровождается появлением **вихревого электрического поля**, существование которого не зависит от наличия проводников



Джеймс Клерк  
Максвелл  
(1831-1879)

В проводнике, помещенном в вихревое электрическое поле, возникает индукционный ток - движение свободных носителей заряда под действием сил вихревого электрического поля:

$$\vec{F}^*$$



Сторонняя сила –  
характеризуется ЭДС:  $\longrightarrow \varepsilon_i$

$$\varepsilon_i = \frac{A_{\text{стор.с.}}}{q} = \frac{1}{q} \oint_l \vec{F}^* \cdot d\vec{l} = \oint_l \vec{E}^* \cdot d\vec{l} = \oint_l E_l^* dl$$

$$\vec{E}^* = \frac{\vec{F}^*}{q} \longrightarrow \text{Напряженность вихревого электрического поля}$$

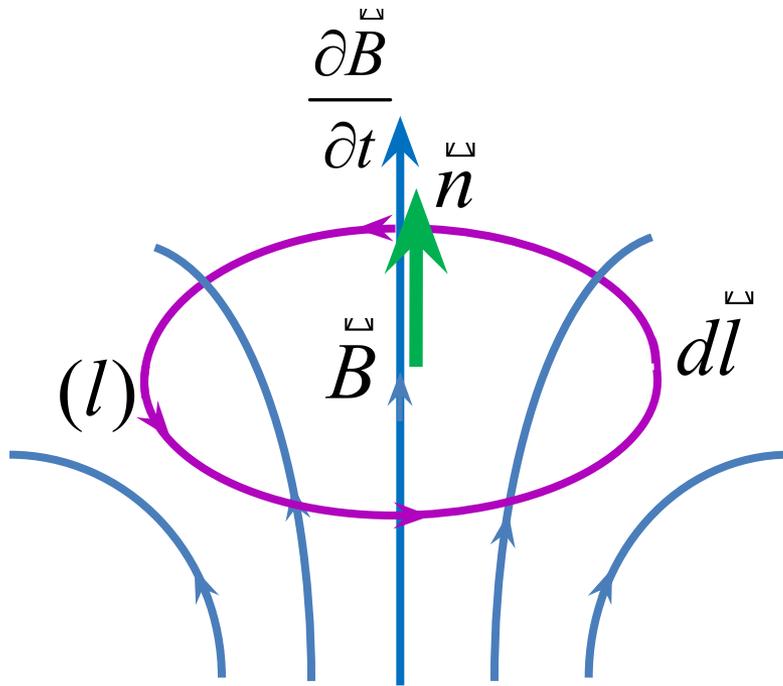
( по аналогии с определением напряженности электростатического поля).

$$\varepsilon_i = \oint_l \vec{E}_l^* dl \quad \varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} \quad \Phi = \int_S B_n dS$$

$$\oint_l \vec{E}_l^* dl = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_S (\vec{B} \cdot \vec{n}) dS = -\int_S \left( \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \vec{n} \right) dS = -\int_S \left( \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)_n dS$$

$$\oint_l \vec{E}_l^* dl = -\int_S \left( \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)_n dS$$

Пример построения линии вихревого электрического поля  
(случай осевой симметрии)

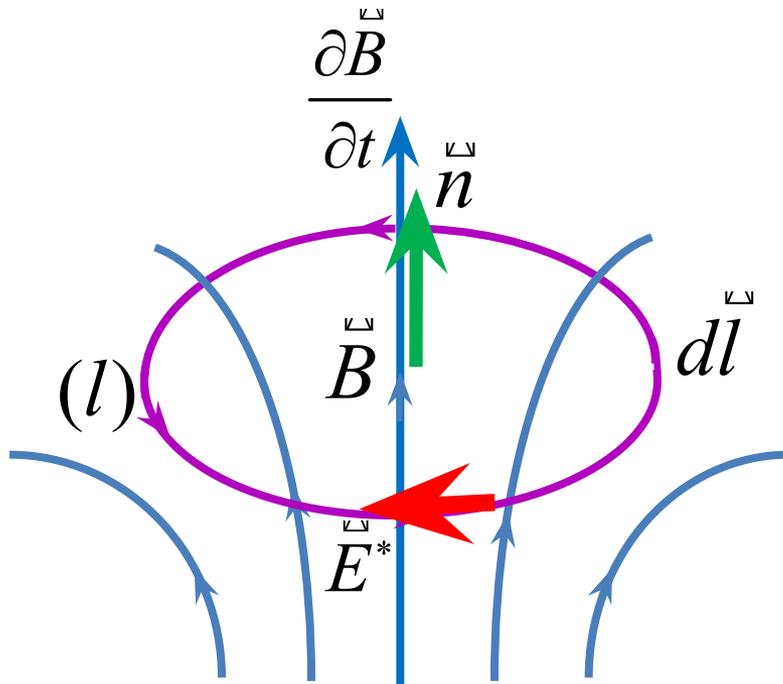


- |  |            |
|--|------------|
| 1. Замкнутый контур.....                   | $(l)$      |
| 2. Напр-ие обхода.....                     | $d\vec{l}$ |
| 3. Нормаль (правило<br>правого винта)..... | $\vec{n}$  |

Пусть:  $\frac{\partial B}{\partial t} > 0$  ( $B \uparrow$ )  $\rightarrow$   $\left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right)_n > 0$

$$\oint_l \vec{E}_l^* \cdot d\vec{l} = - \int_S \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right)_n \cdot d\vec{S} \Rightarrow E_l^* < 0 \Rightarrow \begin{cases} d\vec{l} \rightarrow \\ \vec{E}^* \leftarrow \end{cases}$$

Пример построения линии вихревого электрического поля  
(случай осевой симметрии)

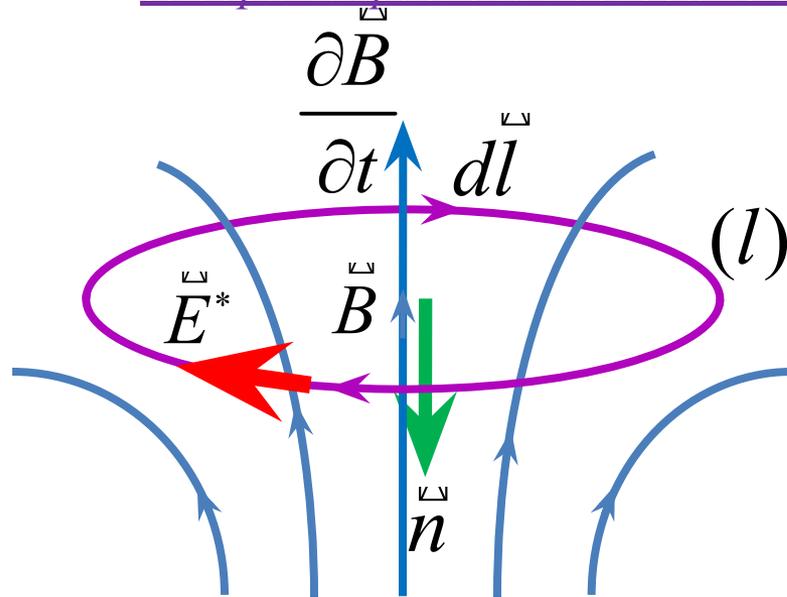


- |  |            |
|--|------------|
| 1. Замкнутый контур.....                   | $(l)$      |
| 2. Напр-ие обхода.....                     | $d\vec{l}$ |
| 3. Нормаль (правило<br>правого винта)..... | $\vec{n}$  |

Пусть:  $\frac{\partial B}{\partial t} > 0$  ( $B \uparrow$ )  $\rightarrow$   $\left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right)_n > 0$

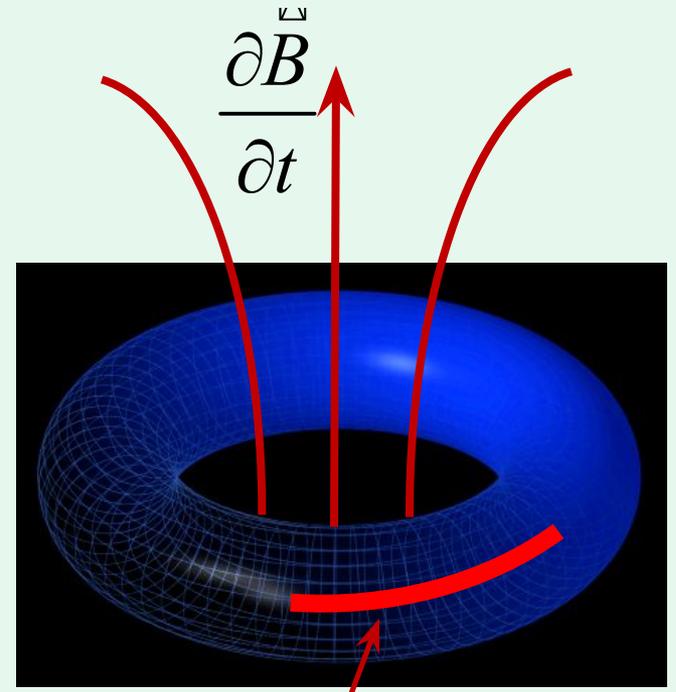
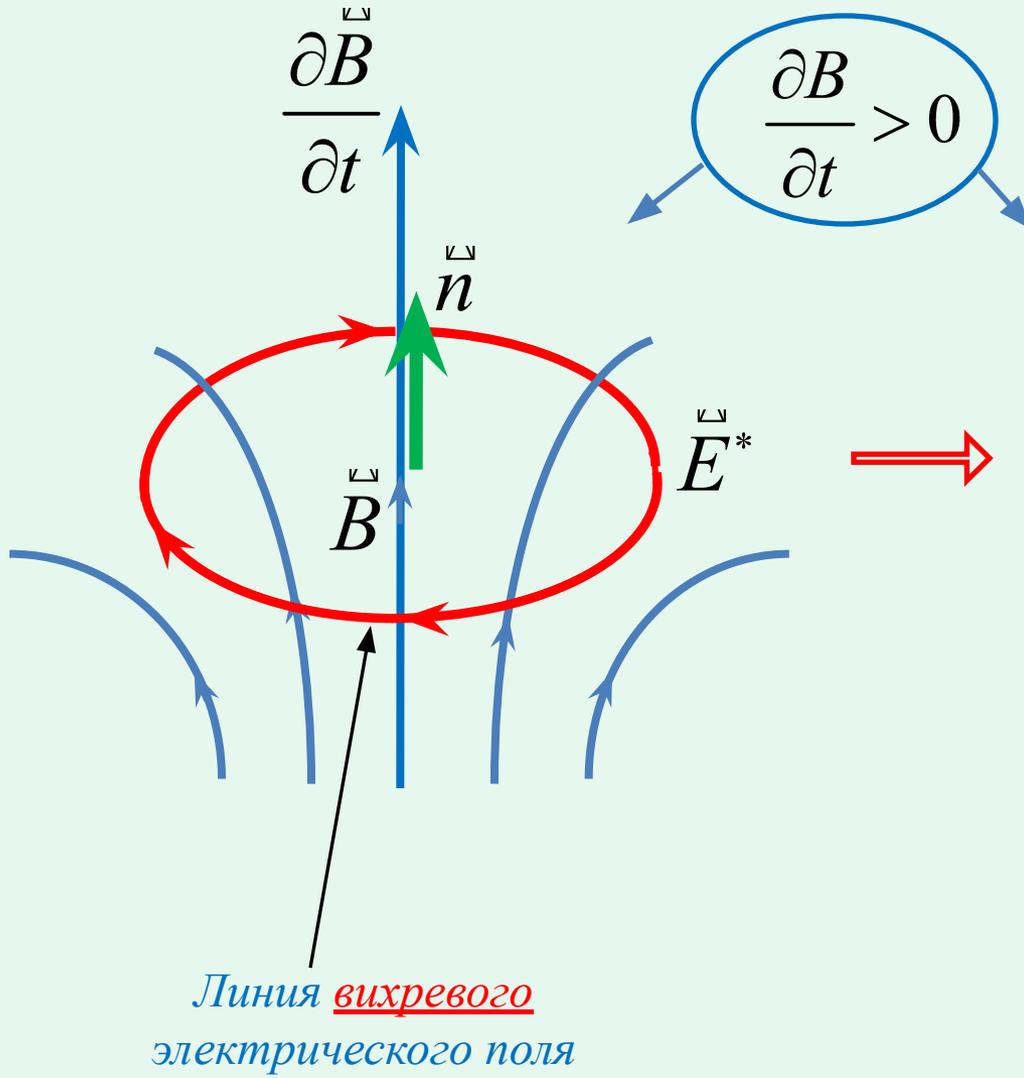
$$\oint_l \vec{E}_l^* \cdot d\vec{l} = - \int_S \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right)_n \cdot d\vec{S} \Rightarrow E_l^* < 0 \Rightarrow \begin{cases} d\vec{l} \rightarrow \\ \vec{E}^* \leftarrow \end{cases}$$

Направление напряженности электрического поля не зависит от выбора направления обхода контура:



$$\frac{\partial B}{\partial t} > 0 \Rightarrow \left(\frac{\partial B}{\partial t}\right)_n < 0$$

$$\oint_l \vec{E}_l^* \cdot d\vec{l} = - \int_S \left(\frac{\partial B}{\partial t}\right)_n dS \Rightarrow E_l^* > 0 \Rightarrow \begin{cases} d\vec{l} \leftarrow \\ \vec{E}_l^* \leftarrow \end{cases}$$



Индукционный ток в проводнике, помещенном в вихревое электрическое поле

Циркуляция вектора  
напряженности вихревого  
электрического поля

$$\oint_l E_l^* dl = - \int_S \left( \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)_n dS$$



Циркуляция вектора  
напряженности  
электростатического поля

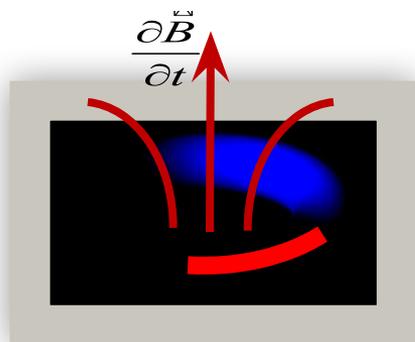
$$\oint_l E_l (\text{Эл. стат.}) dl = 0$$

Циркуляция вектора  
напряженности  
электрического поля

$$\oint_l E_l dl = - \int_S \left( \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)_n dS$$

## 22. Экспериментальное доказательство существования вихревого электрического поля. Токи Фуко.

1. Явления ЭМИ (см. выше).
2. Токи Фуко – индукционные (вихревые) токи, возникающие в массивных проводниках, помещенных в изменяющееся со временем магнитное поле.



Печи высокой частоты...



Зонная плавка...



Физиотерапия...

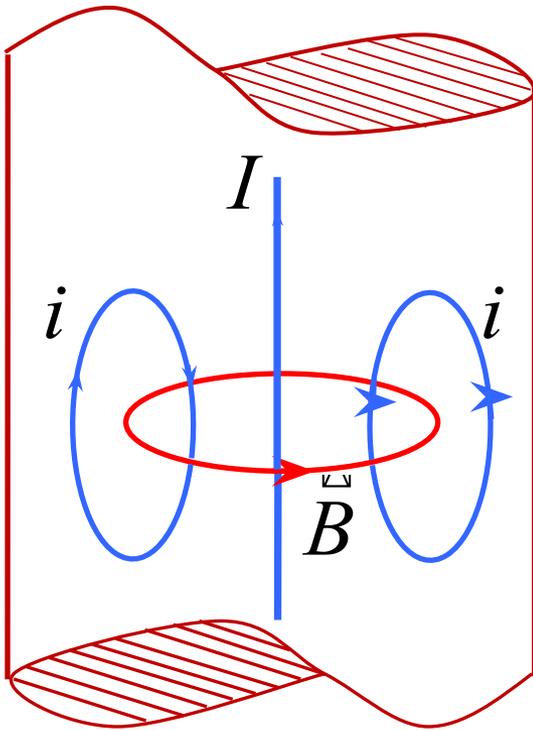


Трансформаторы...



## Скин- эффект:

«вытеснение» тока высокой частоты на поверхность проводника.



$$I \uparrow, B \uparrow \Rightarrow i$$

По правилу Ленца индукционный ток Фуко направлен так, чтобы препятствовать возрастанию магнитного поля...

**Высокочастотные проводники – полые !!!**