

# Электромагнитная ИНДУКЦИЯ

---

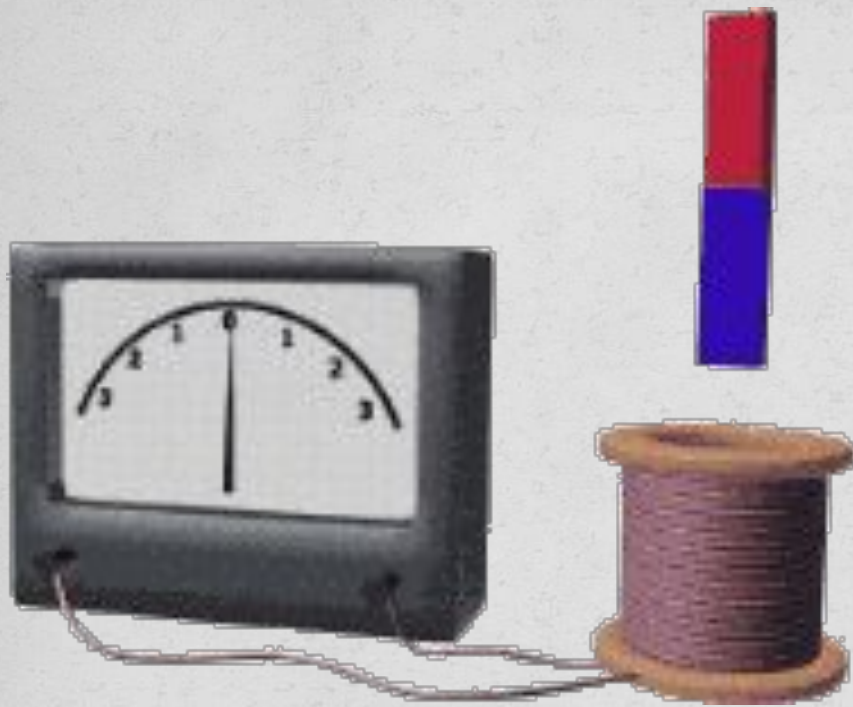
Презентация выполнена учителем физики  
ГОУ СОШ №332 Невского района  
города С-Петербурга  
Татьяной Викторовной Романовой

# Содержание

- Открытие явления (2, 3)
- Природа явления (4 – 10)
- Характеристика вихревого электрического поля (11, 12)
- Таблица сопоставления полей (13,40)
- Памятка (14,15)
- Аналитическое объяснение опытных фактов (16)
- Закон электромагнитной индукции (17 – 21)
- Определение явления (22)
- Способы получения индукционного тока (23 – 25)
- Правило Ленца (26– 28)
- Простейшие ситуации применения правила Ленца (29 – 32)
- Взаимодействие магнита и индукционного тока (33 – 36)
- Учет правила Ленца в формуле закона (37,38)
- Применения явления (39)
- План сообщения об ученом (41), источники (42)



# Явление электромагнитной индукции



Открыто  
Майклом  
Фарадеем в  
1831 году



Майкл Фарадей  
(1791 — 1867)

Выдающийся английский физик и химик, член Лондонского королевского общества, основоположник учения об электромагнитном поле

Открыл:

- закон электромагнитной индукции
- законы электролиза,
- явление вращения плоскости поляризации света в магнитном поле,
- явления диамагнетизма и парамагнетизма

Первый получил хлор в жидком состоянии.



# ИНДУКЦИИ

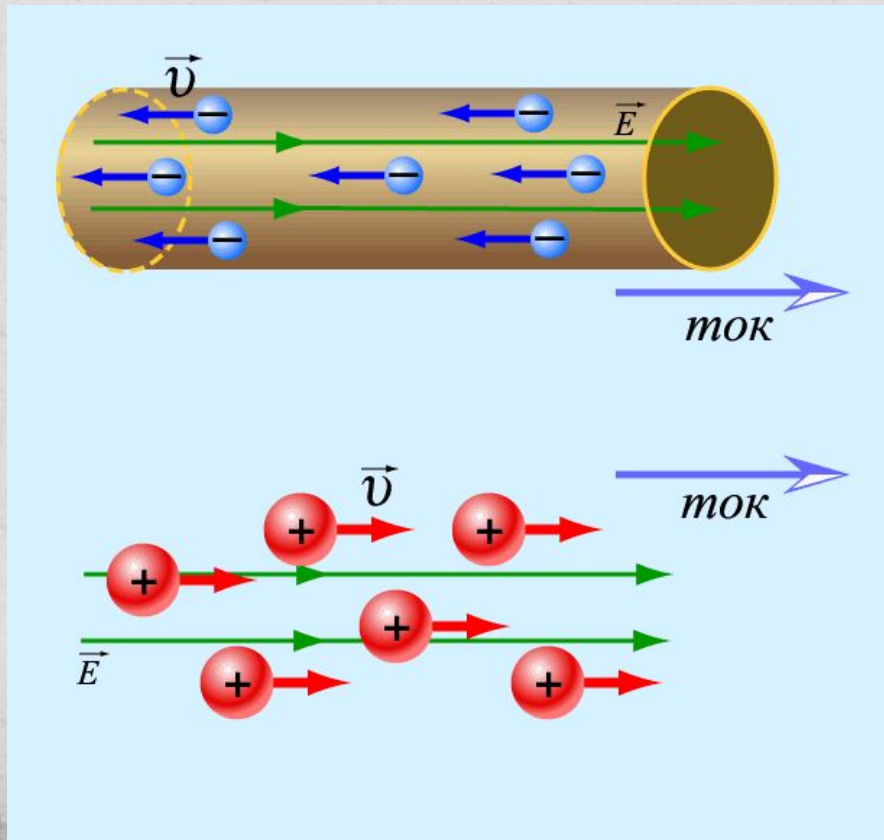
Переменное магнитное поле  $B, \Phi$

Порождает в  
замкнутом проводящем  
контуре

Индукционный ток  $I_i$

# Что называют электрическим током?

Ток – это **упорядоченное** движение заряженных частиц



Переменное магнитное поле  $B, \Phi$



?

Свободные заряды в контуре  $q_0, v, N$



приходят в движение, создавая

Индукционный ток  $I_i$



Что заставляет заряды двигаться упорядоченно?

Поле

Магнитное ?

Электрическое?

$$\cancel{F}_{\text{Л}} = q_0 \cancel{v} B \sin \alpha$$

$$F_{\text{эл}} = q_0 E \neq 0$$



Может ли электростатическое поле заставить двигаться заряды по замкнутому контуру?

Однородное?

$$\cancel{A}^0 = qE(d_1 \cancel{\neq}^0 d_2)$$

Неоднородное?

$$\cancel{A}^0 = q(\varphi_1 \cancel{\neq}^0 \varphi_2)$$

Переменное магнитное поле  $B, \Phi$



порождает

Вихревое электрическое поле  $\mathcal{E}_i, E$



действует на

Свободные заряды в контуре  $q_0, v, N$



приходят в движение, создавая

Индукционный ток  $I_i$



# ЭДС индукции

$$\mathcal{E}_i = \frac{A_{\text{вихр.}}}{q}$$

$$\mathcal{E}_i = \frac{A}{q} = 1$$

$$[\mathcal{E}_i] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В}$$

ЭДС индукции показывает, какую работу совершает вихревое электрическое поле по перемещению единичного заряда по замкнутому контуру

# Сравните

ЭДС индукции

$$\mathcal{E}_i = \frac{A_{\text{вихр.}}}{q}$$

$$\mathcal{E}_i = \frac{A_{\text{вихр.}}}{q = 1}$$

$$[\mathcal{E}_i] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В}$$

Напряжение

$$U = \frac{A}{q}$$

$$U = \frac{A}{q = 1}$$

$$[U] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В}$$



## В чем отличие вихревого электрического поля от потенциального?

Вопросы \ Вид поля	Электростатическое	Магнитное	Вихревое электрическое
Источник поля	Электрические заряды	Движущиеся заряды , ток	<b>Изменяющееся магнитное поле</b>
Что служит индикатором	Электрические заряды	Движущиеся заряды ,ток	Электрические заряды
Потенциальное или вихревое	Потенциальное, работа по замкнутому контуру равна нулю	Вихревое, работа по замкнутому контуру не равна нулю	<b>Вихревое</b> , работа по замкнутому контуру <b>не равна</b> нулю
Линии поля (замкнутые или незамкнутые)	Не замкнуты, начинаются и кончаются на зарядах	Замкнутые	<b>Замкнутые</b>

Переменное магнитное поле  $B, \Phi$



порождает

Вихревое электрическое поле  $\mathcal{E}_i, E$



действует на

Свободные заряды в контуре  $q_0, v, N$



приходят в движение, создавая

Индукционный ток  $I_i$



# Не путайте! ИНДУКЦИЯ induktio (лат.) - наведение

- ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ (явление)
- ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ (явление)
- МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ (явление)
- САМОИНДУКЦИЯ (явление)
- ВЗАИМОИНДУКЦИЯ (явление)
- МАГНИТНАЯ (величина,  $B$ )
- КОЭФФИЦИЕНТ САМОИНДУКЦИИ  
/ИНДУКТИВНОСТЬ/ (величина,  $L$ )
- ЭДС ИНДУКЦИИ (величина,  $\mathcal{E}_i$ )
- ЭДС САМОИНДУКЦИИ (величина,  $\mathcal{E}_{is}$ )

# Закономерности явления ЭМИ

Опытные факты

- $I_i \sim N$  витков в катушке

- $I_i \sim N$  вносимых (выносимых) магнитов

$$\Phi = BScos\alpha$$

- $I_i \sim$  скорости внесения (вынесения) магнитов

Анализ формулы

- $N$  витков в контуре меняет его  $S$

- $N$  вносимых (выносимых) магнитов меняет численное значение  $B$

- Скорость внесения (вынесения) магнитов в контур влияет на быстроту изменения  $\Phi$

**Сила индукционного тока зависит от быстроты изменения магнитного потока**



# Сравните

Величина, стоящая слева от знака «равно» есть **быстрота изменения** той величины, что стоит справа от знака «равно» в числителе перед дельтой.

---

$$v = \frac{s}{t} = \frac{x - x_0}{t} = \frac{\Delta x}{t}$$

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{\Delta v}{t}$$

$$N = \frac{A}{t} = \frac{\Delta W}{t}$$

$$F = \frac{\Delta p}{t}$$

$$I = \frac{\Delta q}{t}$$

# Сравните

## Закон Ома

---

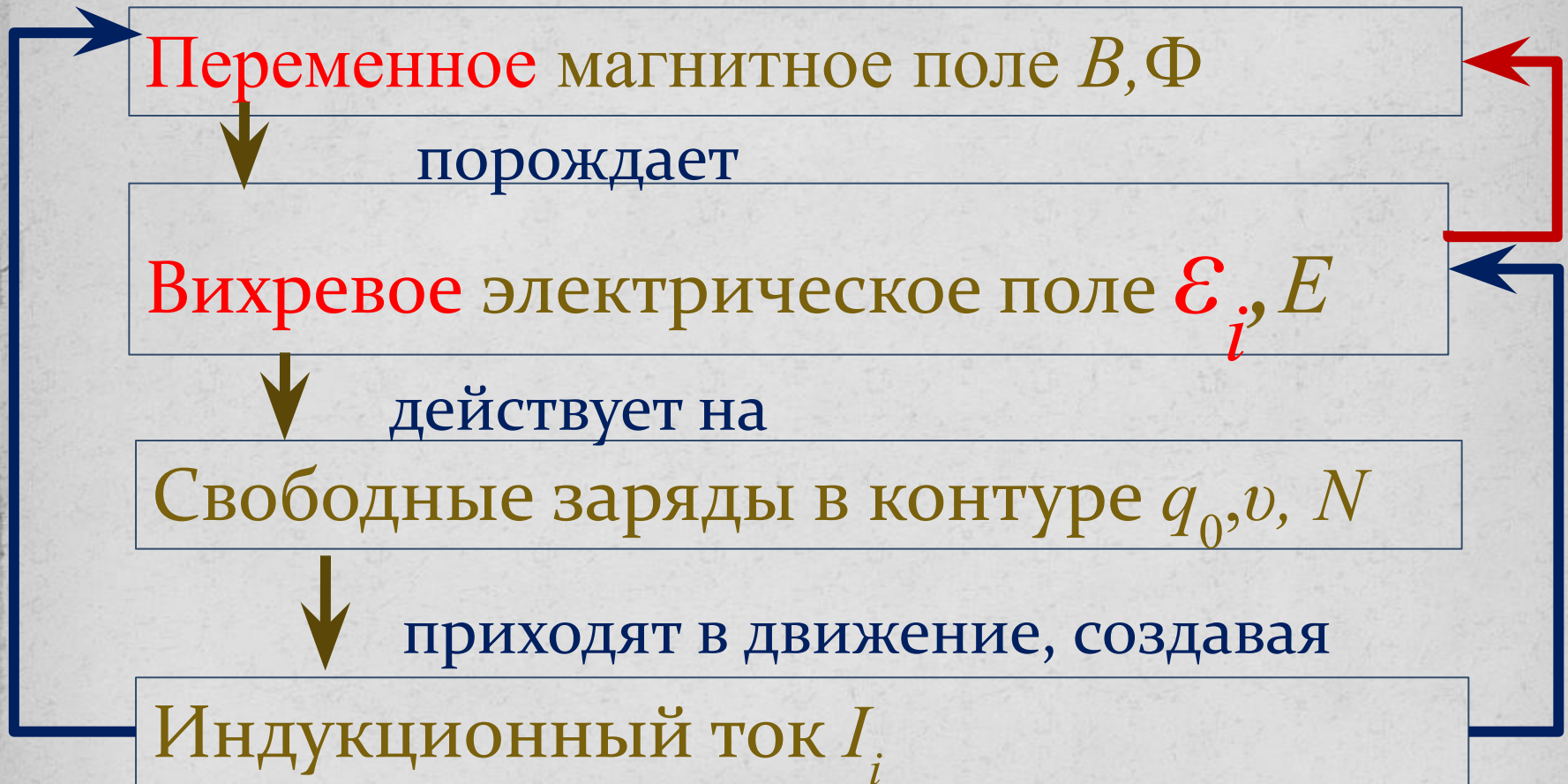
$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

$$I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$$



# Индукционный ток зависит от быстроты изменения магнитного потока



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

$$I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$$

$$\mathcal{E}_i \sim \frac{\Delta\Phi}{t}$$

$B = \frac{F_{A \max}}{l}$	$[B] = 1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$
$\Phi = BS \cos \alpha$	$[\Phi] = 1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$
$I = \frac{q}{t}$	$[I] = 1 \text{ А}$
$q = It$	$[q] = 1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}$
$A = Fs$	$[A] = 1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$
$\mathcal{E}_i = \frac{A_{\text{вихр.}}}{q}$	$[\mathcal{E}_i] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В}$

$$\left[ \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right] = \frac{\text{Вб}}{\text{с}} = \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$$

$$= \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \cdot \text{м}^2 = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}} =$$

$$= \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}} \cdot \frac{1}{\text{с}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с}} =$$

$$= \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}$$



# Закон ЭМИ

$$\mathcal{E}_i = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

**ЭДС индукции прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока**

В такой записи справедлив для случая линейного (равномерного) изменения магнитного потока.

**Электромагнитная индукция** – явление, возникновения вихревого электрического поля, создающего электрический ток в замкнутом проводящем контуре при **изменении** потока магнитной индукции через поверхность, ограниченную этим контуром.

Возникающий при этом ток называют **индукционным**.



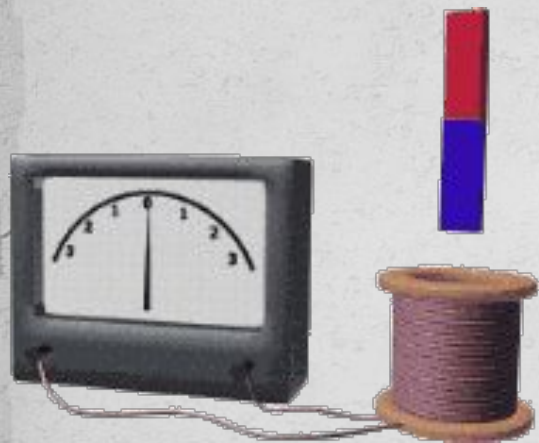
$$\Phi = BS\cos\alpha \quad \Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$$

$$\begin{aligned}\Delta\Phi &= B_2S\cos\alpha - B_1S\cos\alpha = \\ &= (B_2 - B_1)S\cos\alpha = \Delta BS\cos\alpha\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta\Phi &= BS_2\cos\alpha - BS_1\cos\alpha = \\ &= B(S_2 - S_1)\cos\alpha = B\Delta S\cos\alpha\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta\Phi &= BS\cos\alpha_2 - BS\cos\alpha_1 = \\ &= BS(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1) = BS\Delta(\cos\alpha)\end{aligned}$$

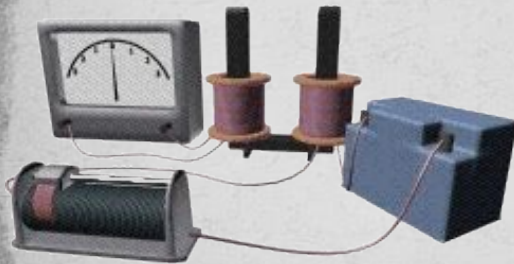
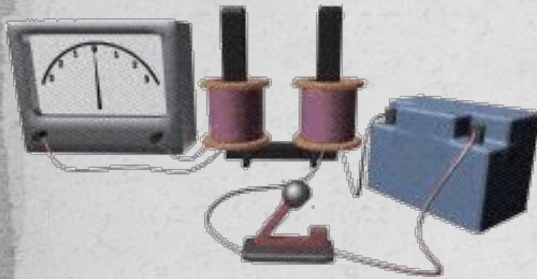
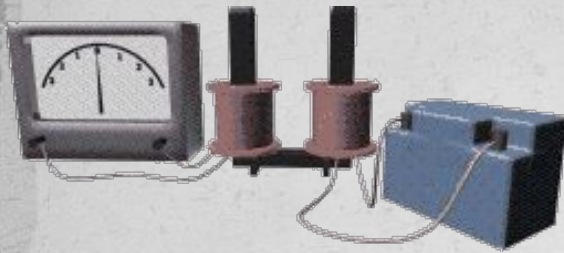
# Способы получения индукционного тока (магнитное поле создано постоянным магнитом)



$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$		$\Phi = BS\cos\alpha$
$\Delta\Phi = \Delta BS\cos\alpha$		Вносить и выносить магнит в контур
$\Delta\Phi = B\Delta S\cos\alpha$		Деформировать весь контур
$S = NS_1$	$\Delta S = \Delta NS_1$	Менять число витков в контуре
	$\Delta S = N\Delta S_1$	Деформировать один виток контура
$\Delta\Phi = BS\Delta(\cos\alpha)$		Поворачивать магнит или контур относительно оси контура



# Способы получения индукционного тока (магнитное поле создано током)



$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$		Способ
$\Delta\Phi = \Delta BS\cos\alpha$		Перемещать катушку относительно контура (и наоборот)
$\Delta\Phi = L\Delta I$		Включать (выключать) ток в катушке
		Менять силу тока в катушке
$\Delta\Phi = \Delta LI$ $L = \frac{\mu\mu_0 N^2 S}{l}$	$\Delta L = \frac{\Delta\mu\mu_0 N^2 S}{l}$	Вносить (выносить) сердечник
	$\Delta L = \frac{\mu\mu_0 N^2 \Delta S}{l}$	Деформировать контур
	$\Delta L = \frac{\mu\mu_0 \Delta(N^2) S}{l}$	Менять число витков в катушке
	$\Delta L = \Delta\left(\frac{1}{l}\right)\mu\mu_0 N^2 S$	Менять расстояние между витками катушки

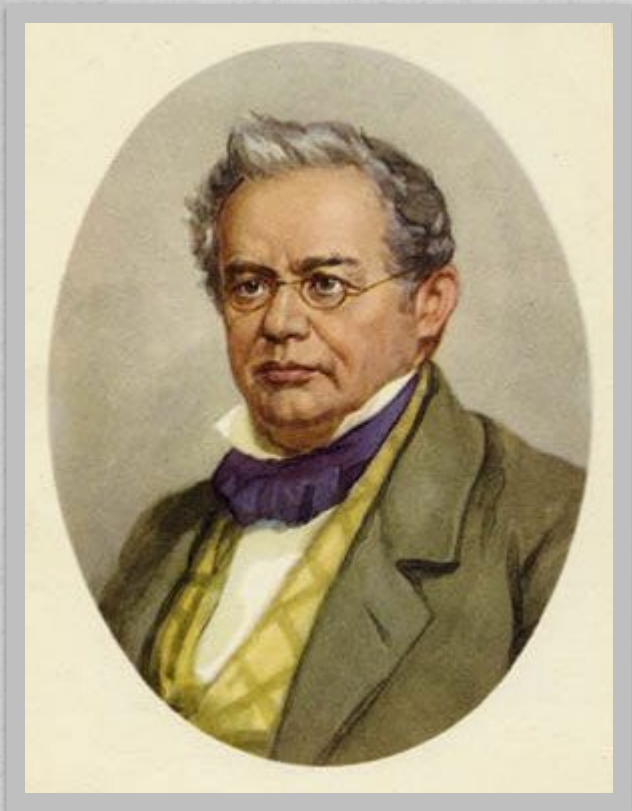
# Направление индукционного тока

Правило Ленца (1834 год):

Возникающий в замкнутом проводящем контуре индукционный ток **всегда** имеет такое направление, что **его собственное** магнитное поле **мешает изменению** того магнитного потока, которым этот ток порожден.

Или: индукционный ток всегда препятствует причине его порождающей.





ЛЕНЦ, Эмилий  
Христианович  
( 1804 – 1863 )

- Выдающийся русский физик, один из создателей учения об электричестве и теоретических основ электротехники.
- Долгие годы возглавлял кафедру физики и физической географии в Петербургском университете, а с 1863 г. был ректором университета.
- В курсе физики основные выводы Ленца известны как "Правило Ленца" и "Закон Джоуля - Ленца".

Переменное магнитное поле  $B, \Phi$



порождает

Вихревое электрическое поле  $\mathcal{E}_i, E$



действует на

Свободные заряды в контуре  $q_0, v$



приходят в движение, создавая

Индукционный ток  $I_i$

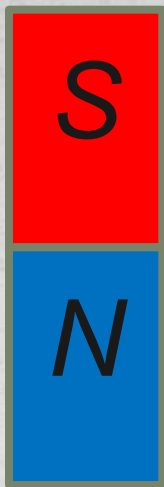


создает

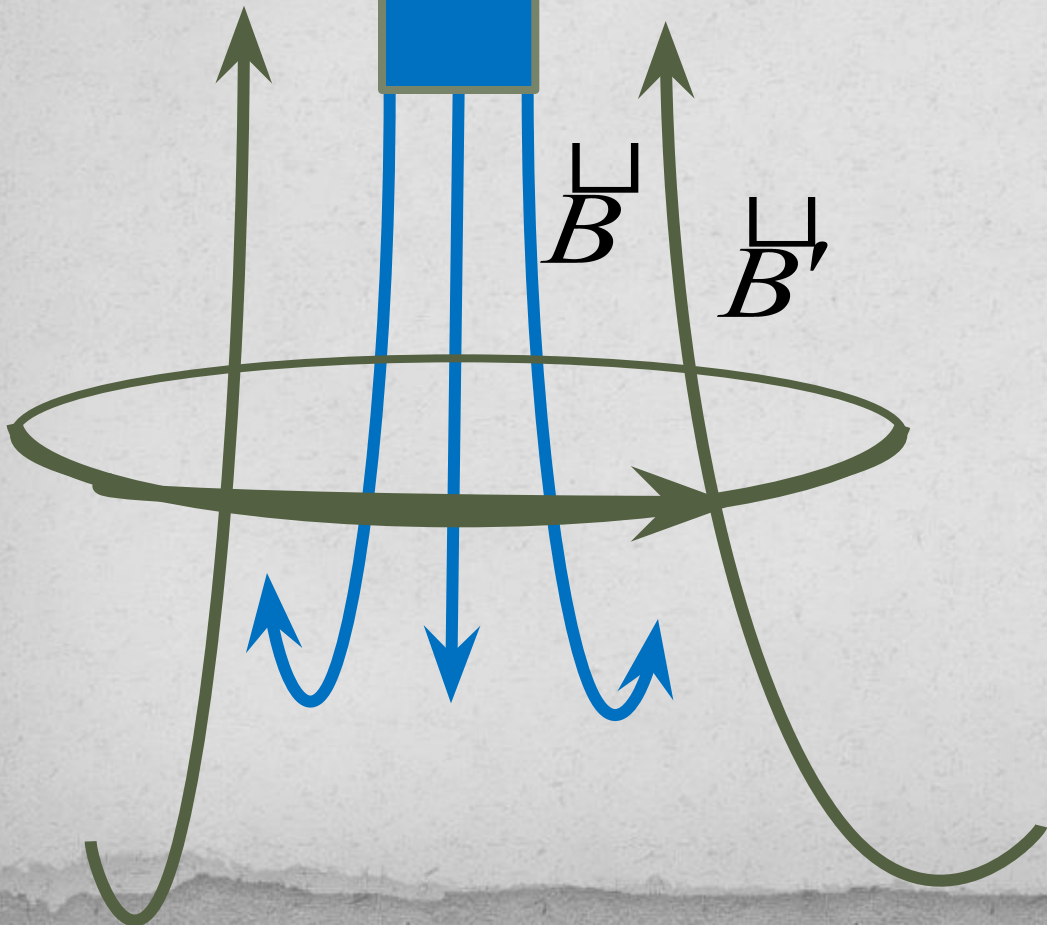
Свое магнитное поле  $B_i$

Мешает изменению

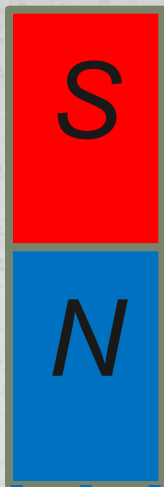




↓  $\vec{v} \cdot \Delta \vec{B} > 0$



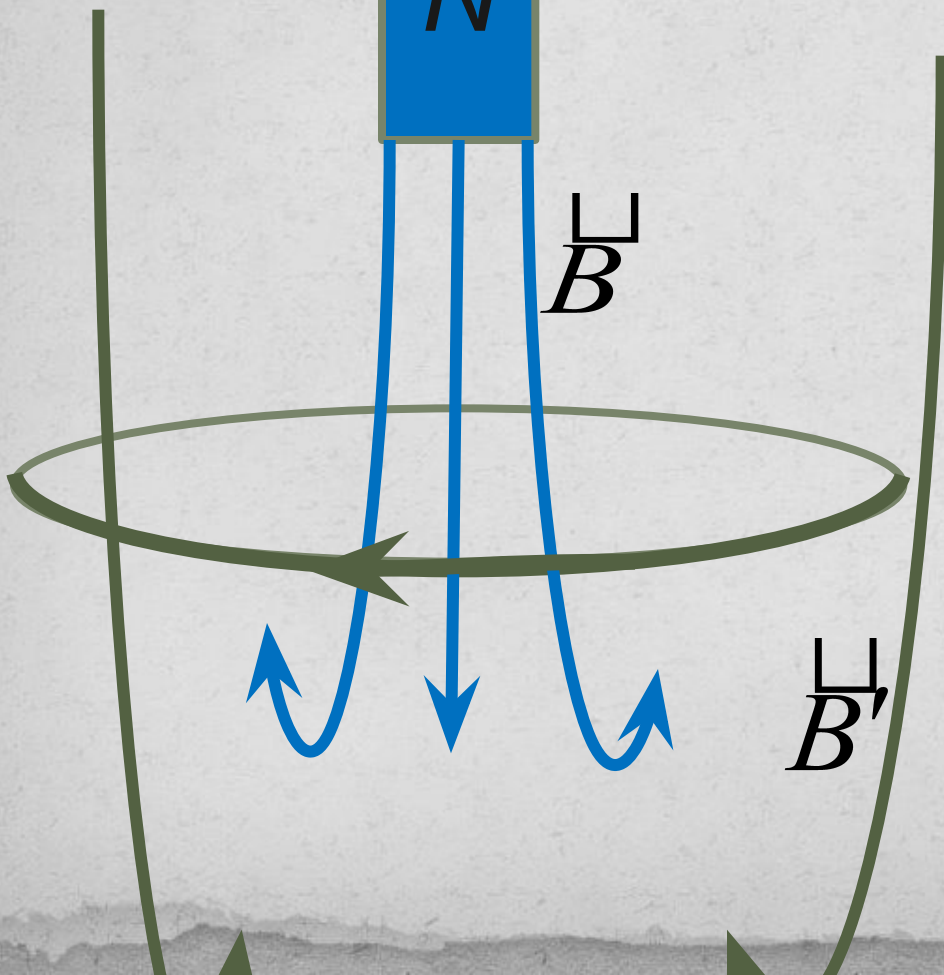


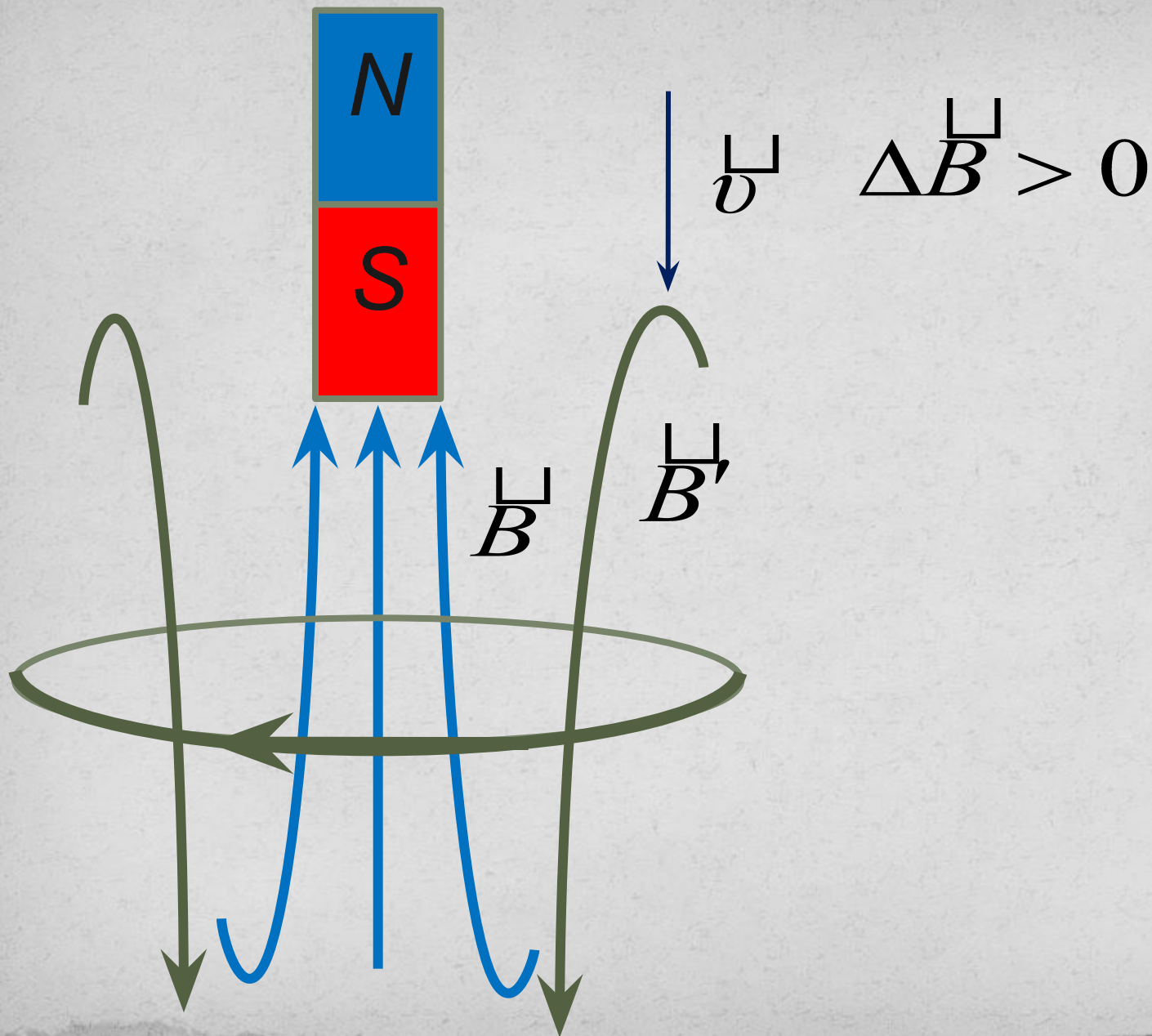


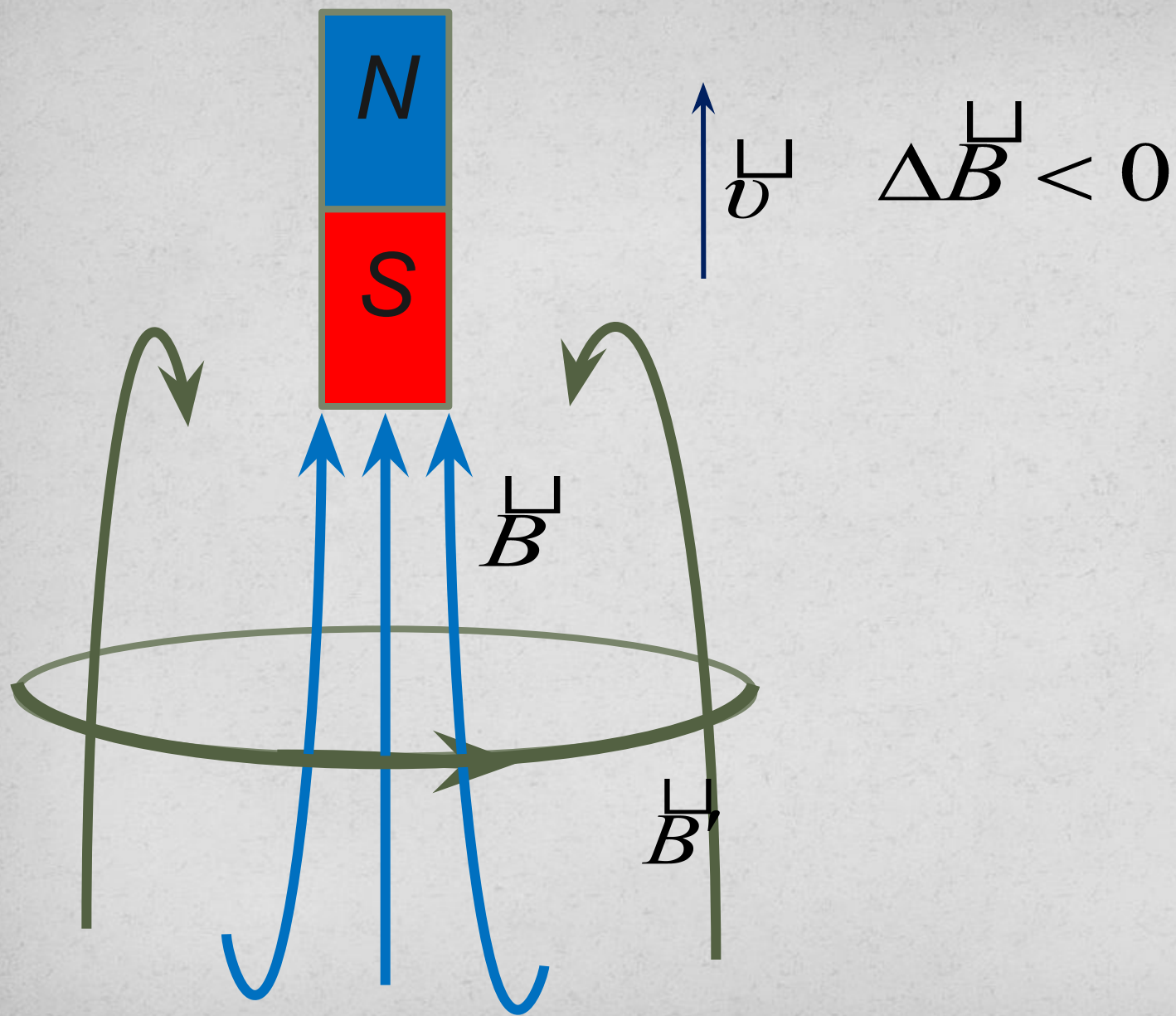
$$\Delta \vec{B} < 0$$

$\vec{B}$

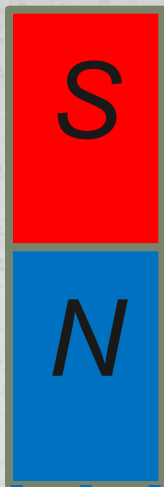
$\vec{B}'$





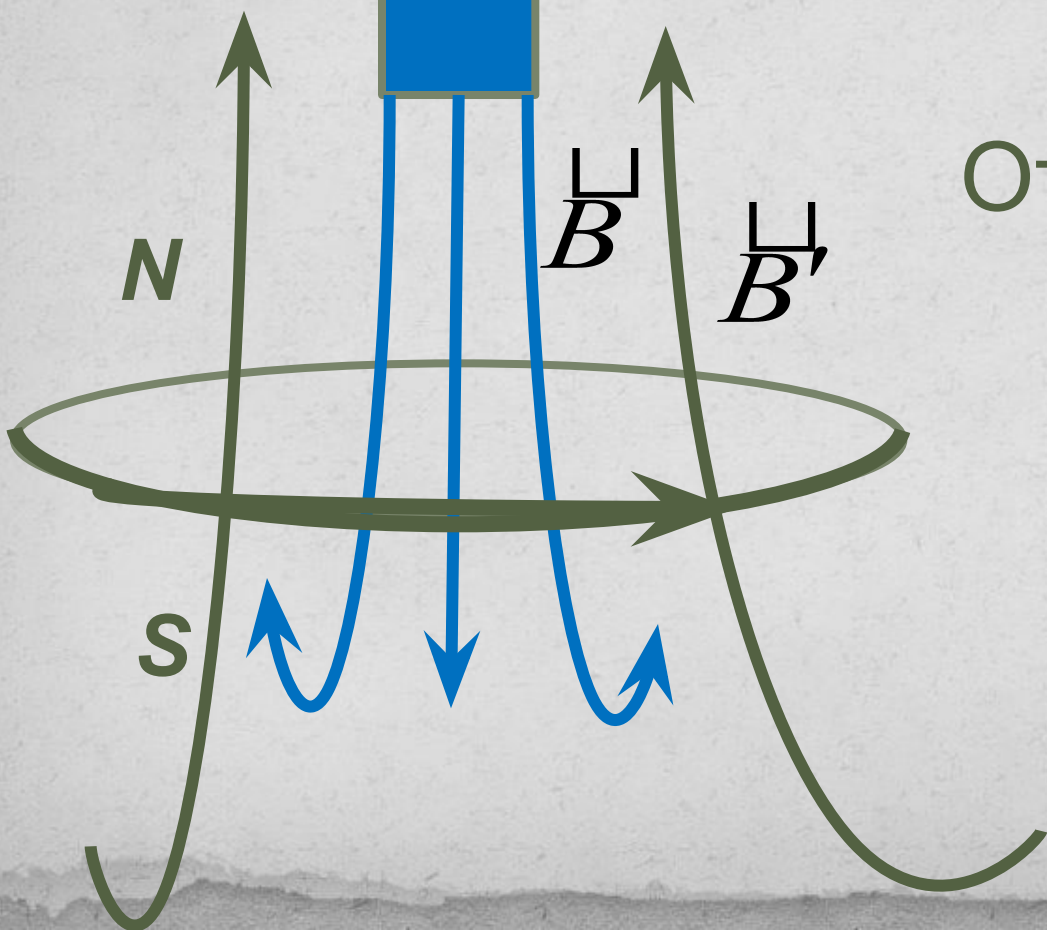


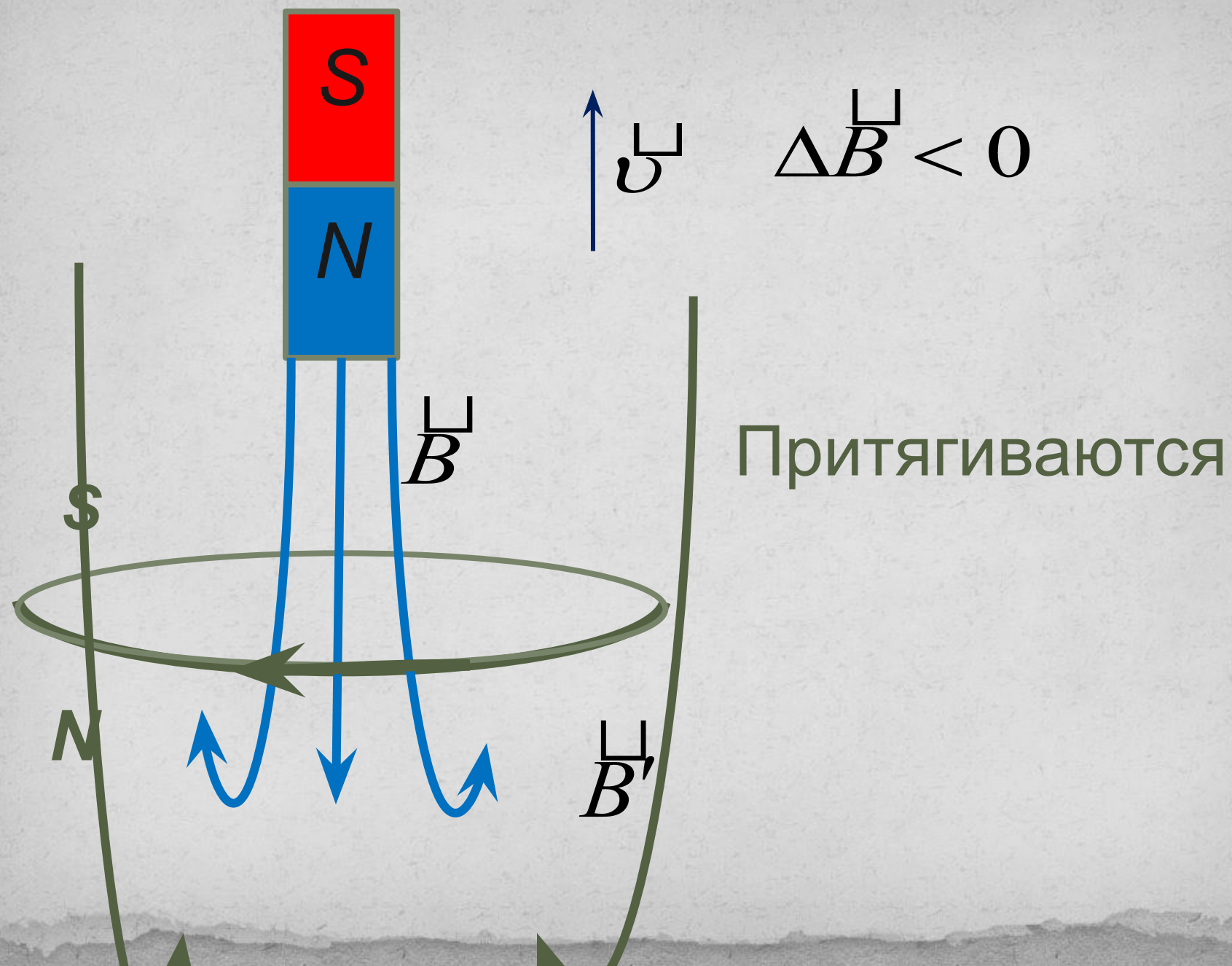


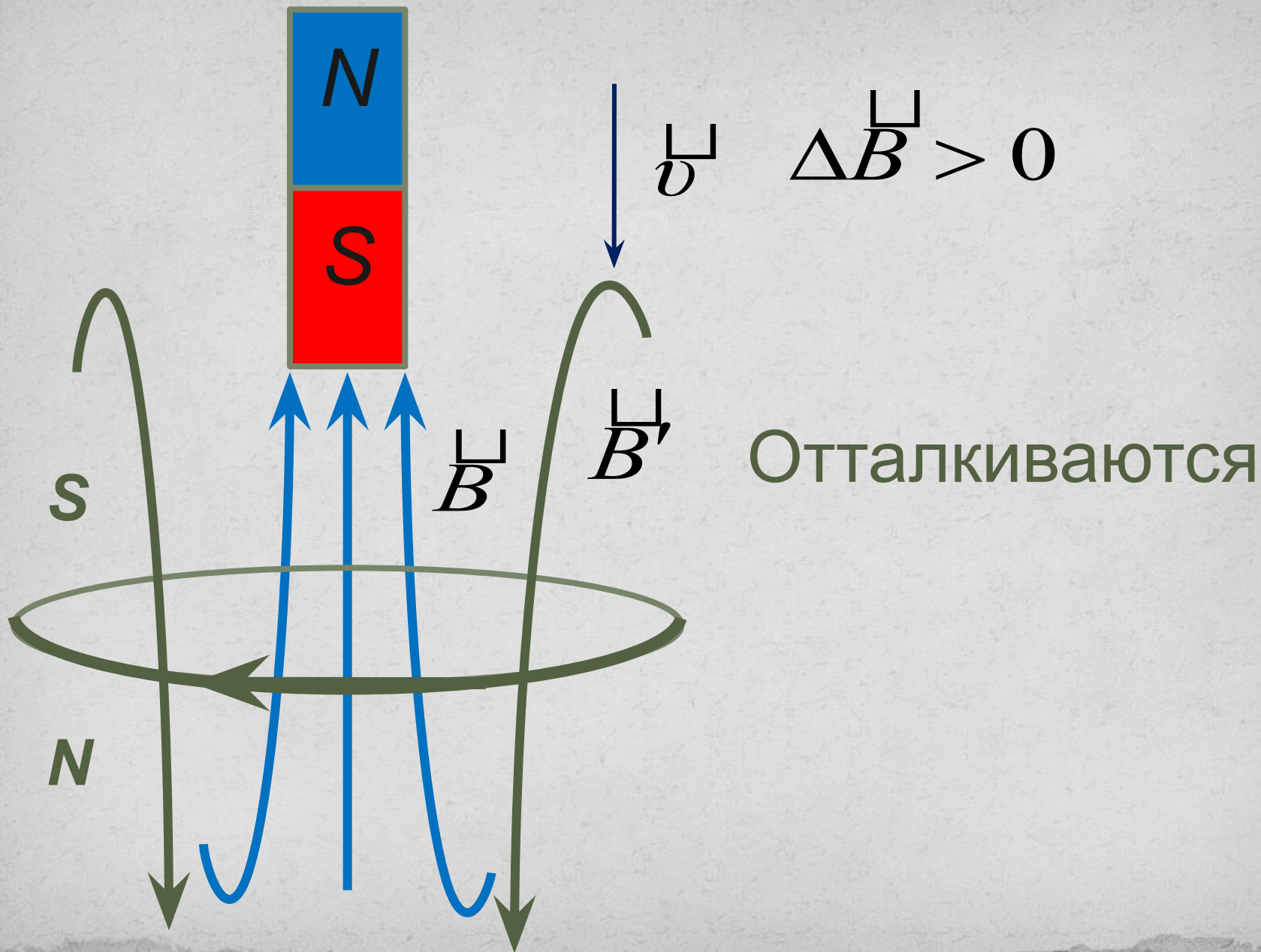


$\downarrow \mu \Delta B > 0$

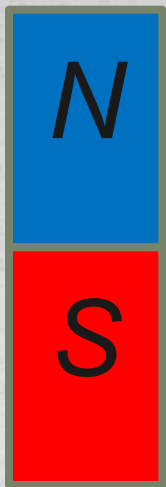
Отталкиваются



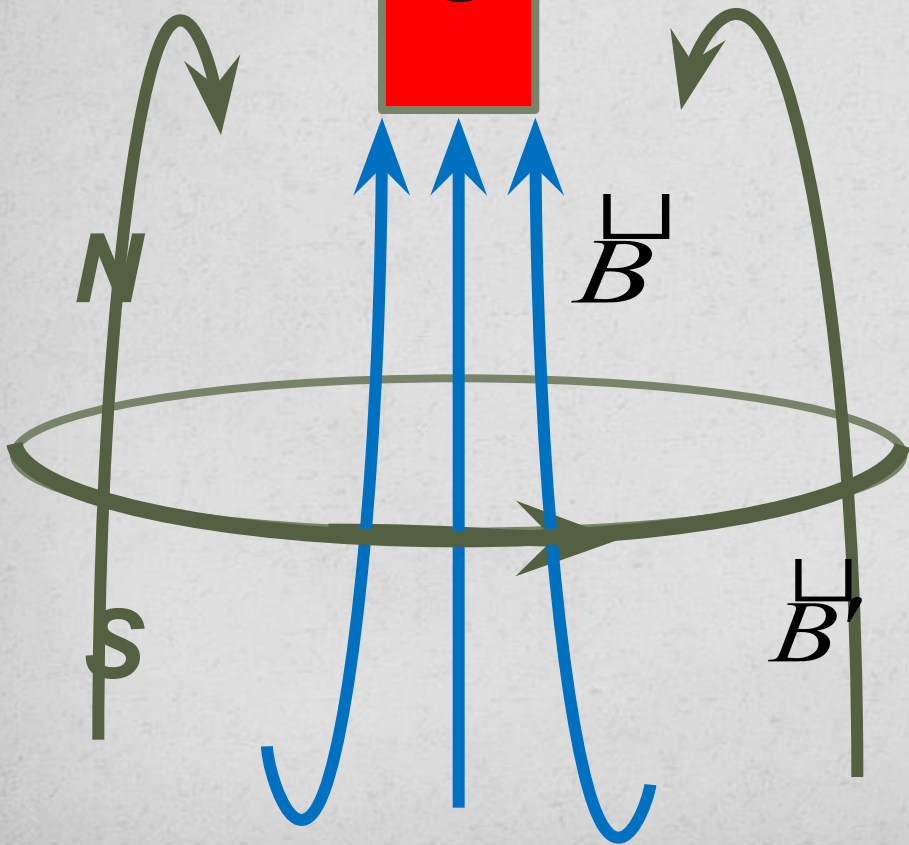








$$\vec{v} \quad \Delta B^{\perp} < 0$$



Притягиваются

# Учет правила Ленца в формуле закона электромагнитной индукции

Ток в контуре имеет отрицательное направление ( $\mathcal{E}_i < 0$ ), если  $\vec{B} \downarrow \uparrow \vec{B}'$ , (т.е.  $\Delta\Phi > 0$ ).

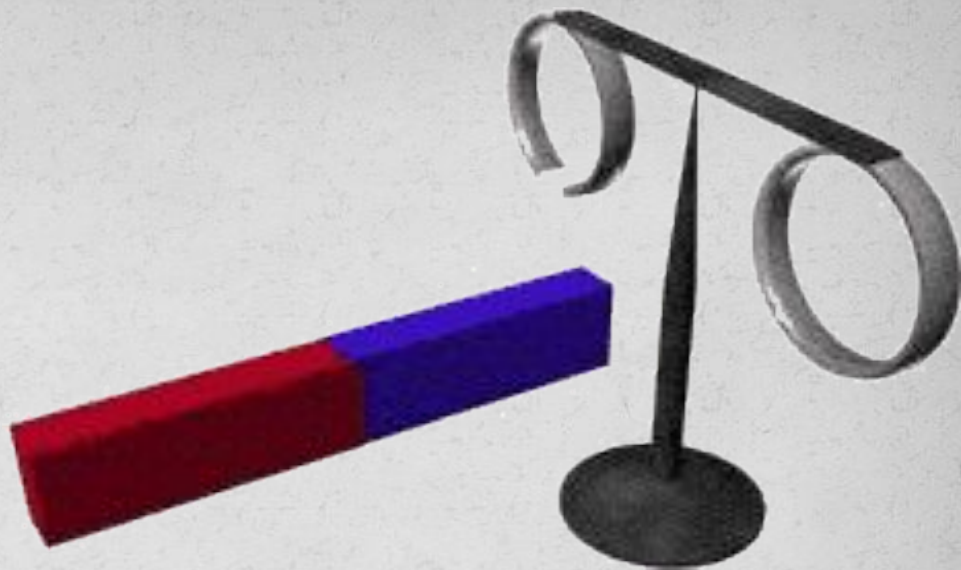
Ток в контуре имеет положительное направление ( $\mathcal{E}_i > 0$ ), если  $\vec{B} \uparrow \uparrow \vec{B}'$ , (т.е.  $\Delta\Phi < 0$ ).

С учетом правила Ленца (знака) выражение для закона электромагнитной индукции записывается:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

# Закон ЭМИ

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$



**ЭДС индукции равна взятой с обратным знаком скорости изменения магнитного потока**

В такой записи справедлив для случая линейного (равномерного) изменения магнитного потока



# Некоторые применения явления электромагнитной индукции

- Индукционный генератор
- Индукционная плавильная печь
- Трансформатор
- Индукционная варочная панель
- Индукционный нагреватель
- Индукционный насос
- Индукционный датчик перемещений
- Индукционный дефектоскоп
- Счетчик электроэнергии
- Электродинамический микрофон
- Спидометр
- Демпфер

## В чем отличие вихревого электрического поля от потенциального?

Вид поля	Электростатическое	Магнитное	Вихревое электрическое
Вопросы			
Источник поля	Электрические заряды	Движущиеся заряды , ток	Изменяющееся магнитное поле
Индикатор поля	Электрические заряды	Движущиеся заряды ,ток	Электрические заряды
Потенциальное или вихревое	Потенциальное	Вихревое	Вихревое
Работа поля по замкнутому контуру	Равна нулю	Не равна нулю	Не равна нулю
Линии поля (замкнутые или незамкнутые)	Не замкнуты, начинаются и кончаются на зарядах	Замкнутые	Замкнутые



<b>Фамилия, имя, годы жизни</b>	<b>Портрет</b>	<b>Страны, в которых работал</b>	<b>Основной вклад в развитие физики</b>	<b>Символ открытия или рисунок установки, на которой работал учёный</b>
<b>Вклад в другие науки</b>				
<b>Что более всего поразило в биографии</b>				



## Источники:

1. Г.Н.Степанова Физика, 9 класс – СПб.: ООО «СТП Школа», 2003
2. <http://tek.mhost.ru/opengrom.html>
3. <http://www.edu.delfa.net/CONSP/mag2.html>
4. <http://phizmatcolledge.ru/stati/eksperiment.html>
5. <http://fizika-solodova-em.narod.ru/uroke.html>
6. Анимированные рисунки предоставлены учителями физики 569 школы Невского района г. С-Петербурга

Адрес автора презентации:  
r1t1v@yandex.ru