

# Электричество и магнетизм. Трансформаторы.

# Содержание лекции

- электрические и магнитные поля;
- опыт Эрстеда;
- закон Ампера;
- закон Фарадея;
- электромагнит;
- трансформатор;
- передача энергии на расстояния;
- магнитное поле Земли;
- компасы;
- магнитометры;
- контрольные вопросы;
- задания.

# Электрическое поле



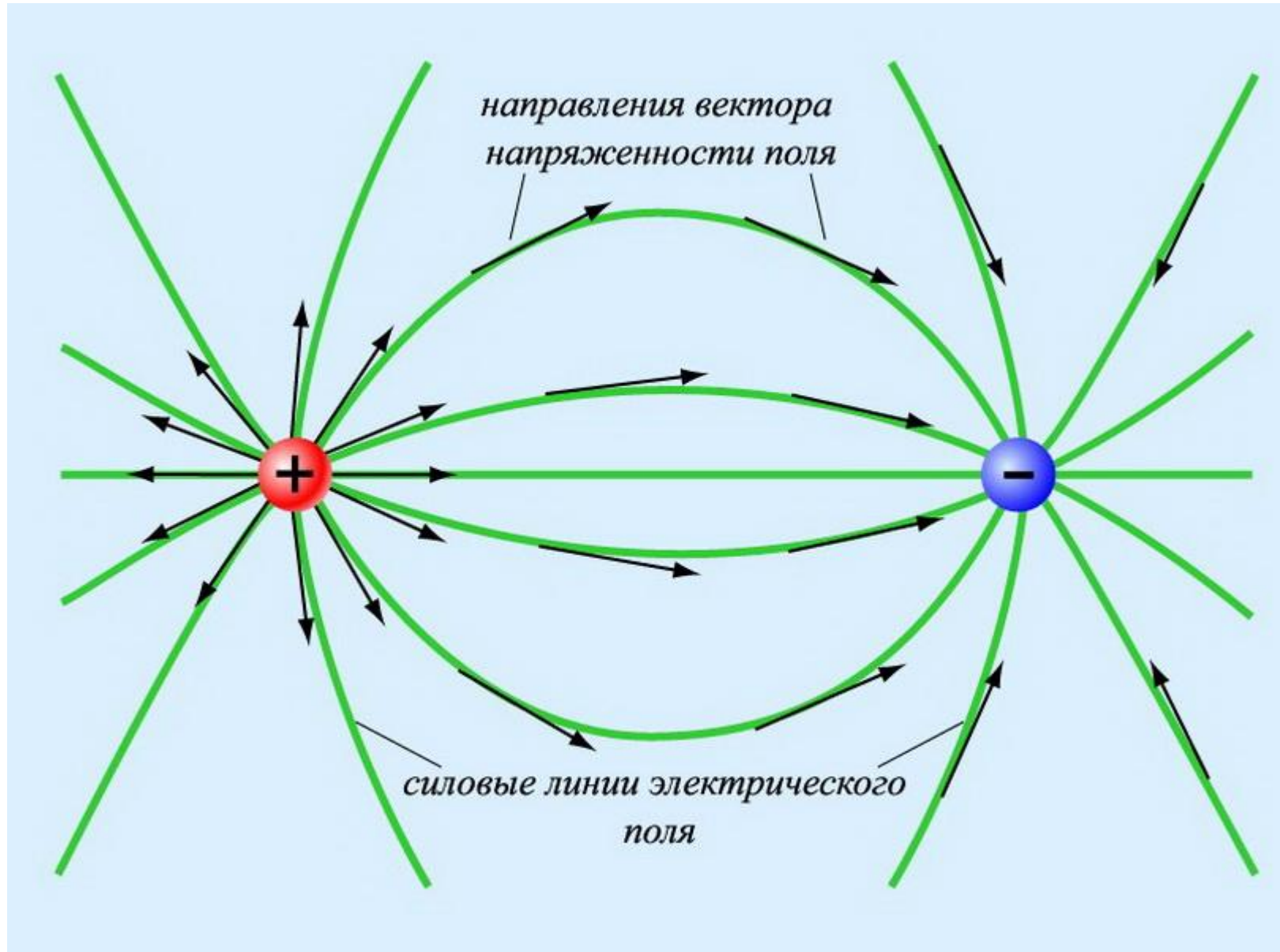
Электрическое поле образуется:

- вокруг электрических зарядов (тел или частиц);
- при изменениях магнитного поля, как, например, происходит во время перемещения электромагнитных волн.

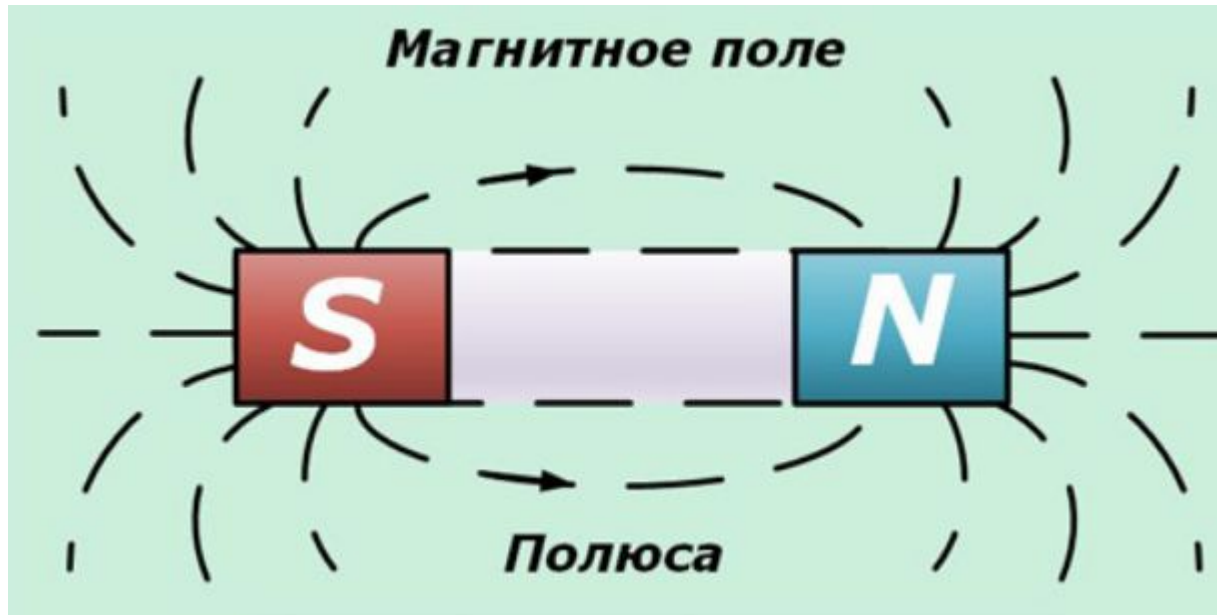
Изображают его силовыми линиями, которые принято показывать исходящими из положительных зарядов и оканчивающимися на отрицательных.

Для практического использования выбрана силовая характеристика, называемая **напряженностью**, которая оценивается по действию на единичный заряд положительного знака.

# Электрическое поле



# Магнитное поле



Магнитное поле действует на:

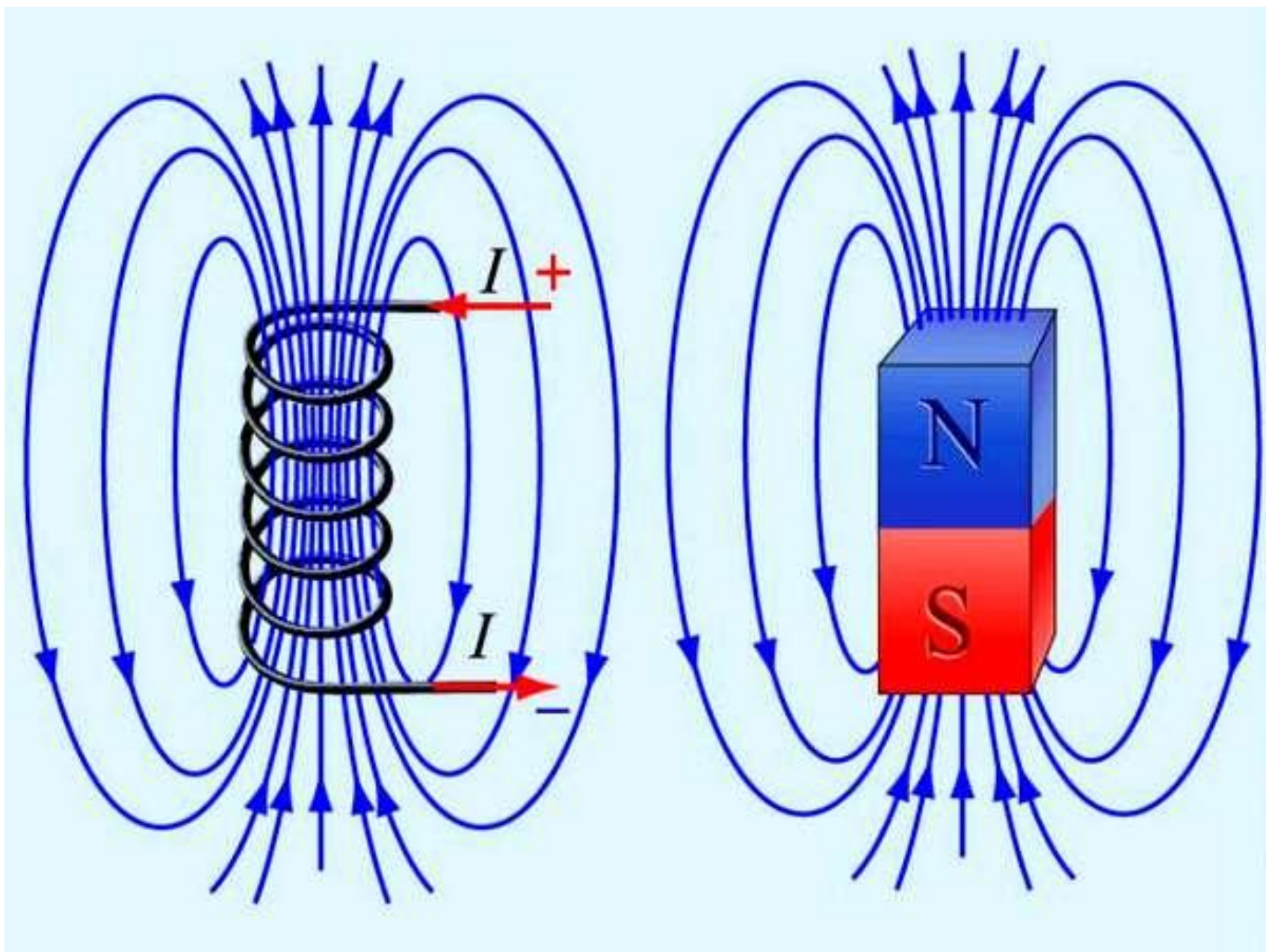
- электрические тела и заряды, находящиеся в движении с определённым усилием;

Магнитное поле создается:

- прохождением тока заряженных частиц;
- при временном изменении электрического поля.

МП тоже изображают силовыми линиями, но они замкнуты по контуру, не имеют начала и конца в противоположность электрическим.

# Магнитное поле

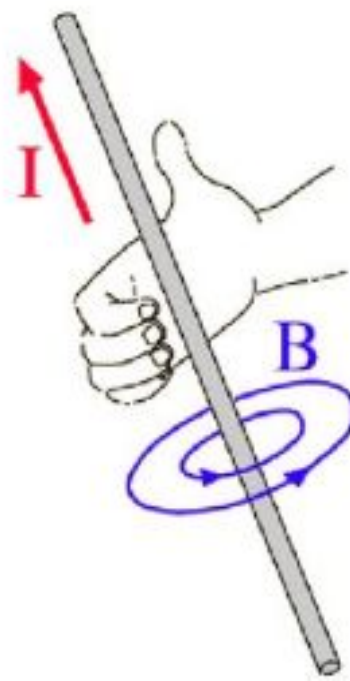
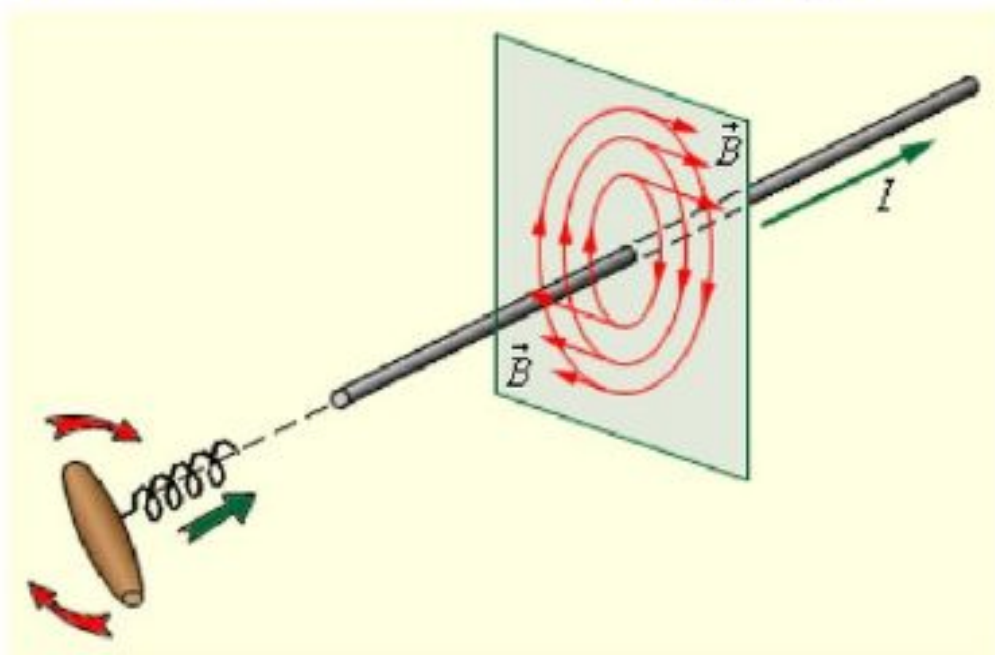


**Магнитное поле** – особый вид материи, оказывающий силовое воздействие на проводники с током, движущиеся электрические заряды и магнитные материалы.

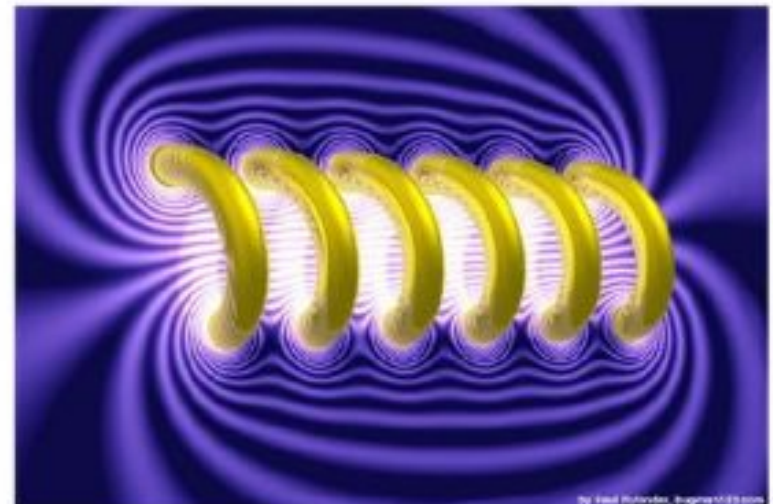
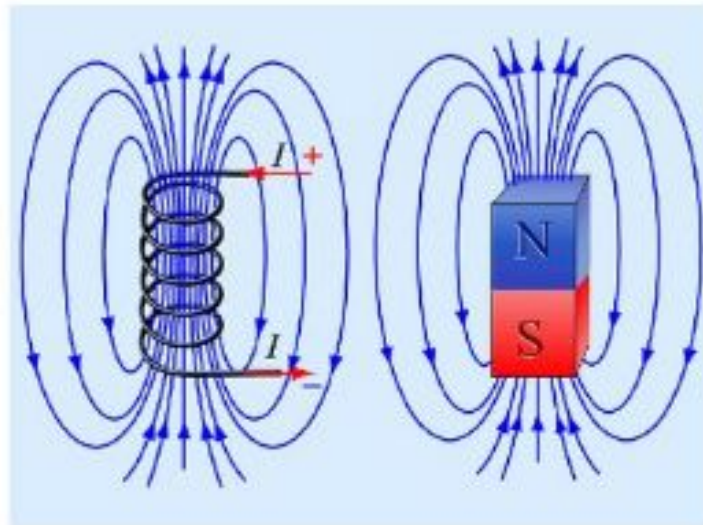
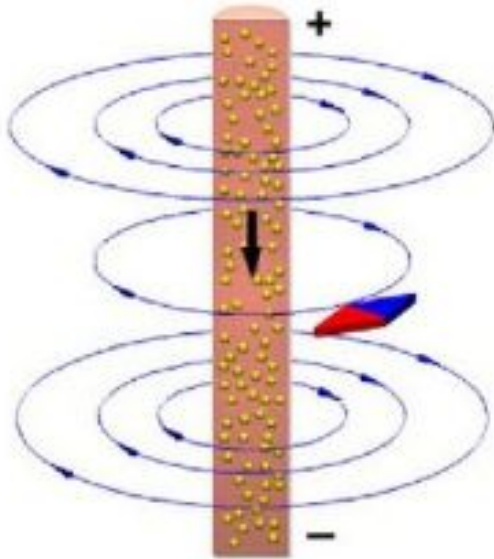
**Магнитная индукция** (индукция магнитного поля) – силовая характеристика магнитного поля;  $[B] = \text{Тл}$ .

**Линии магнитной индукции** - линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора  $\vec{B}$ .

Направление линии магнитной индукции задается *правилом правого винта* или *правилом буравчика*: головка винта (рукоятка буравчика), ввинчиваемого по направлению тока, вращается в направлении линий магнитной индукции.



Линии магнитной индукции или силовые линии магнитного поля всегда **замкнуты**:





# Опыт Эрстеда

**Опыт Эрстеда** (Г.Х.Эрстед, 1820 г.):  
Магнитная стрелка, расположенная  
вблизи проводника, при пропускании  
тока поворачивается на некоторый  
угол. При размыкании цепи стрелка  
возвращается в исходное положение.



# Закон Ампера

Электрический ток создаёт магнитную индукцию (закон Ампера)



Сила действующая на проводник

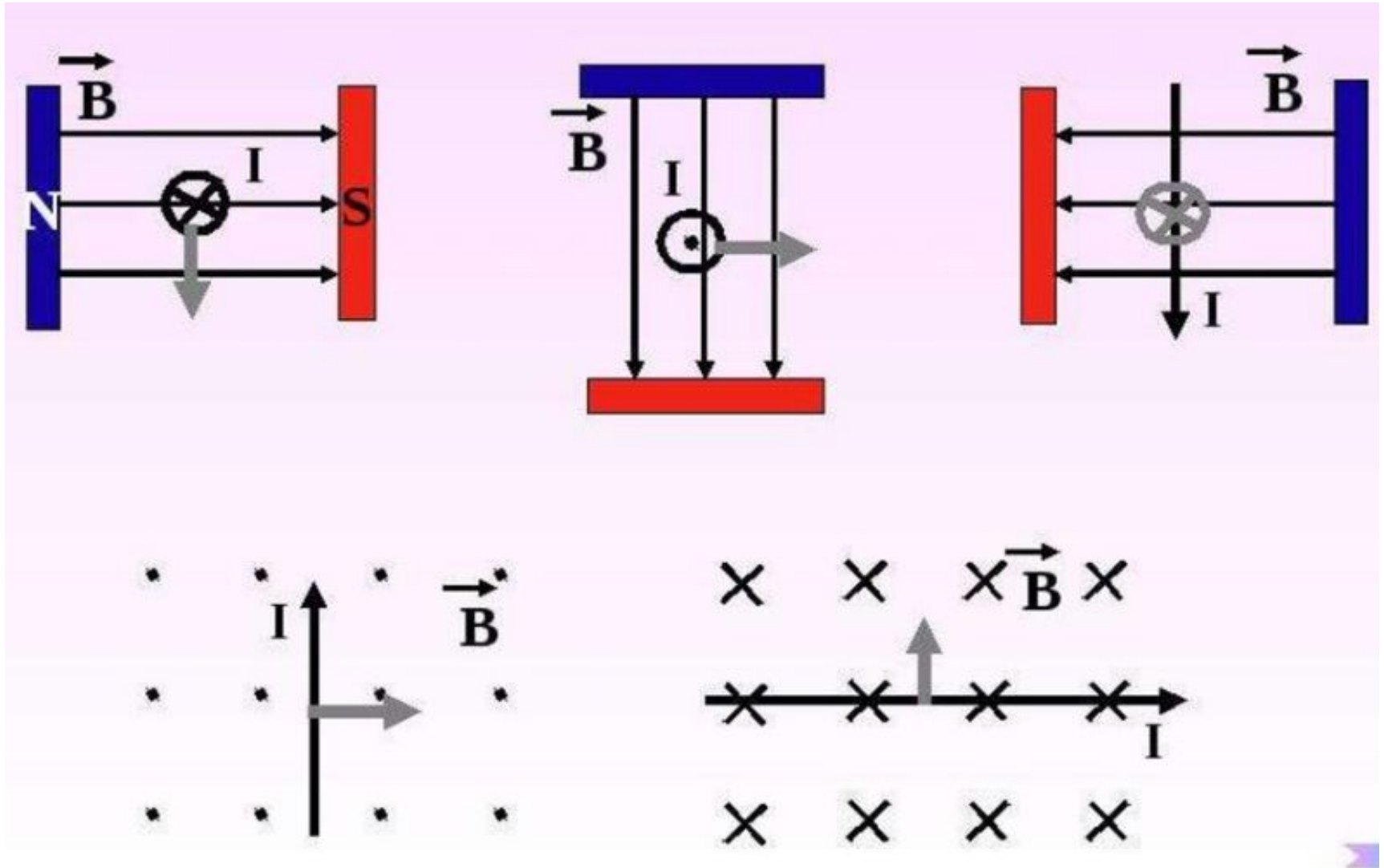


Сила Ампера:

$$F_A = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$$

где  $F_A$  - это сила Ампера (сила, с которой проводники отталкиваются или притягиваются), где  $B$  — магнитная индукция;  $I$  — сила тока;  $L$  — длина проводника;  $\alpha$  — угол между направлением тока и направлением магнитной индукции.

# Направление силы Ампера



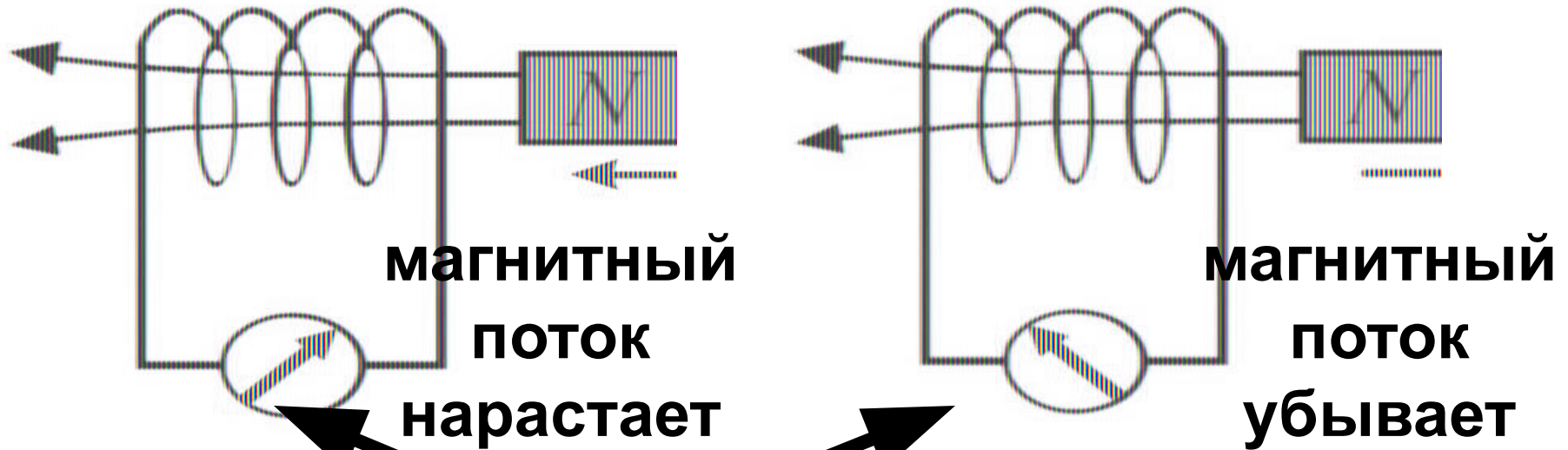
# Закон электромагнитной индукции

- Майкл Фарадей в 1832 году открыл, что переменное магнитное поле порождает электрический ток.
- Закон Фарадея (электромагнитной индукции):

Генерируемая ЭДС пропорциональна скорости изменения магнитного потока

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

# Закон электромагнитной ИНДУКЦИИ

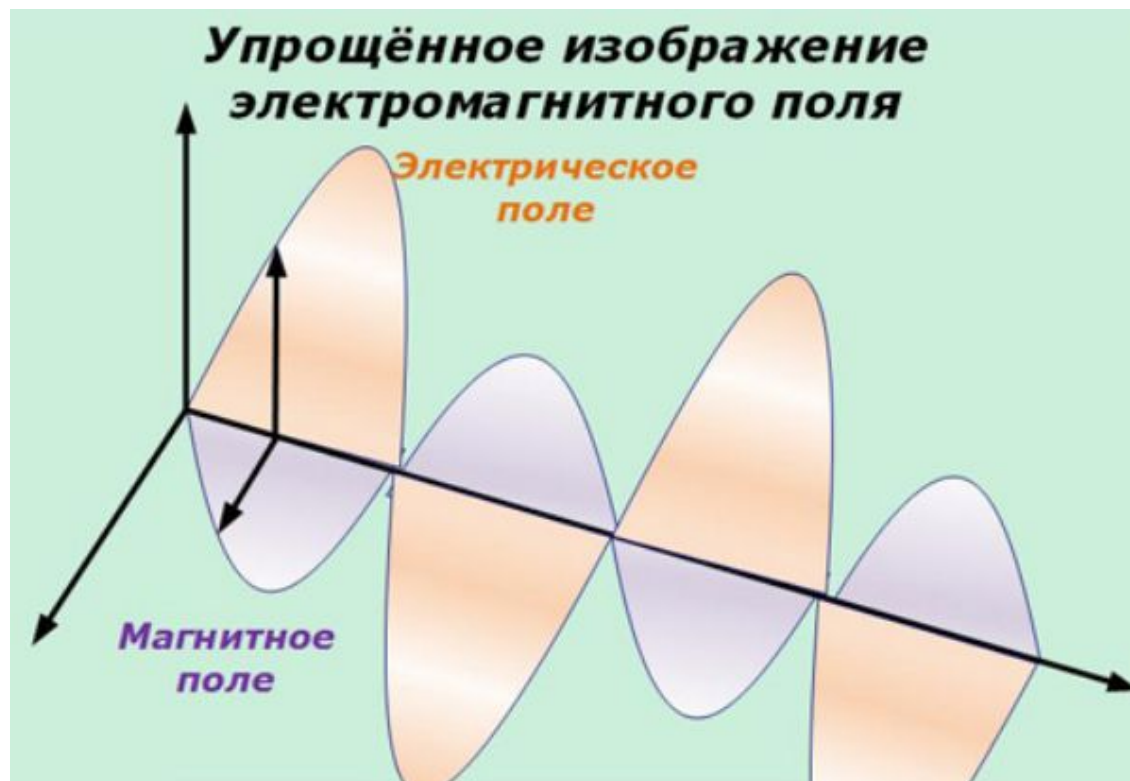


направление индукционного  
тока

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

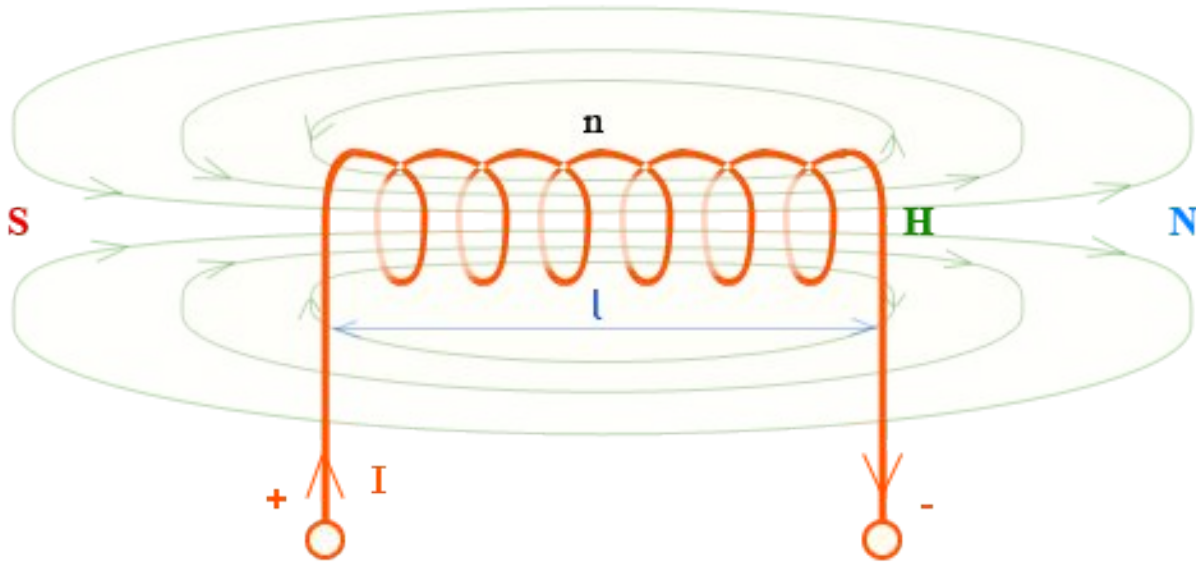
$$\varepsilon_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

# Электромагнитное поле



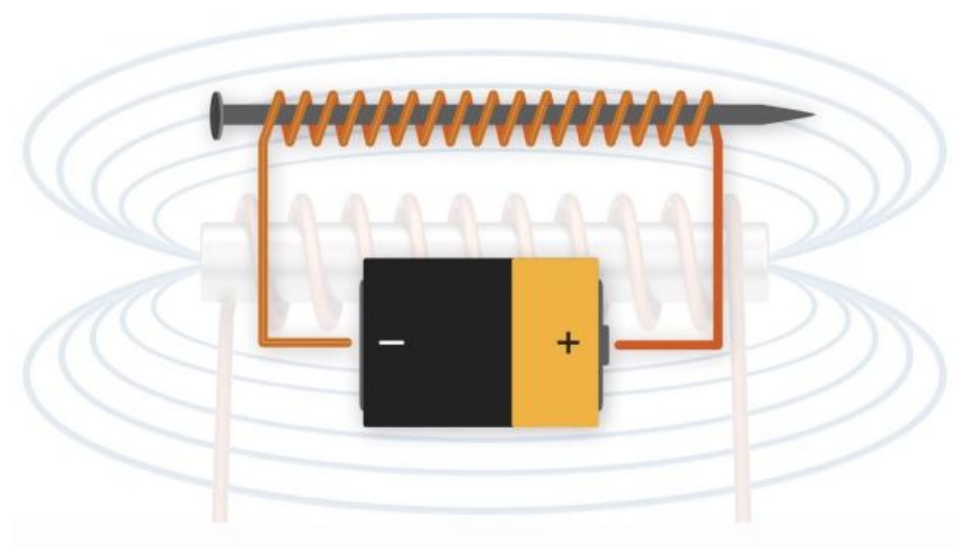
Первое теоретическое и математическое обоснование процессов, происходящих внутри электромагнитного поля, выполнил Джеймс Клерк Максвелл. Он представил систему уравнений дифференциальной и интегральной форм, в которых показал связи электромагнитного поля с электрическими зарядами и протекающими токами внутри сплошных сред либо вакуума. В своем труде он использовал законы Ампера и Фарадея

# Электромагнит



$$H = \frac{I \cdot n}{l}$$

- H – напряженность МП
- I – ток через катушку
- n – число витков
- l – длина катушки
- $I \cdot n$  – число ампер-витков



# Относительная магнитная проницаемость

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ МАГНИТНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

Материал	Относительная проницаемость	Примечание
Сверхмагнетик	$1 \cdot 10^6$	Ферромагнетик
Чистое железо	$2 \cdot 10^5$	То же
Железо с кремнием	$7 \cdot 10^3$	— // —
Мюметалл	$1 \cdot 10^5$	— // —
Пермаллой	$1 \cdot 10^5$	— // —
Железо (0,2% примесей)	$5 \cdot 10^3$	— // —
Ферросмесь 3 (ферропорошок)	$1,5 \cdot 10^3$	— // —
Малоуглеродистая сталь	$2 \cdot 10^3$	— // —
Никель	600	— // —
Кобальт	250	— // —
	100	..



# Трансформаторы



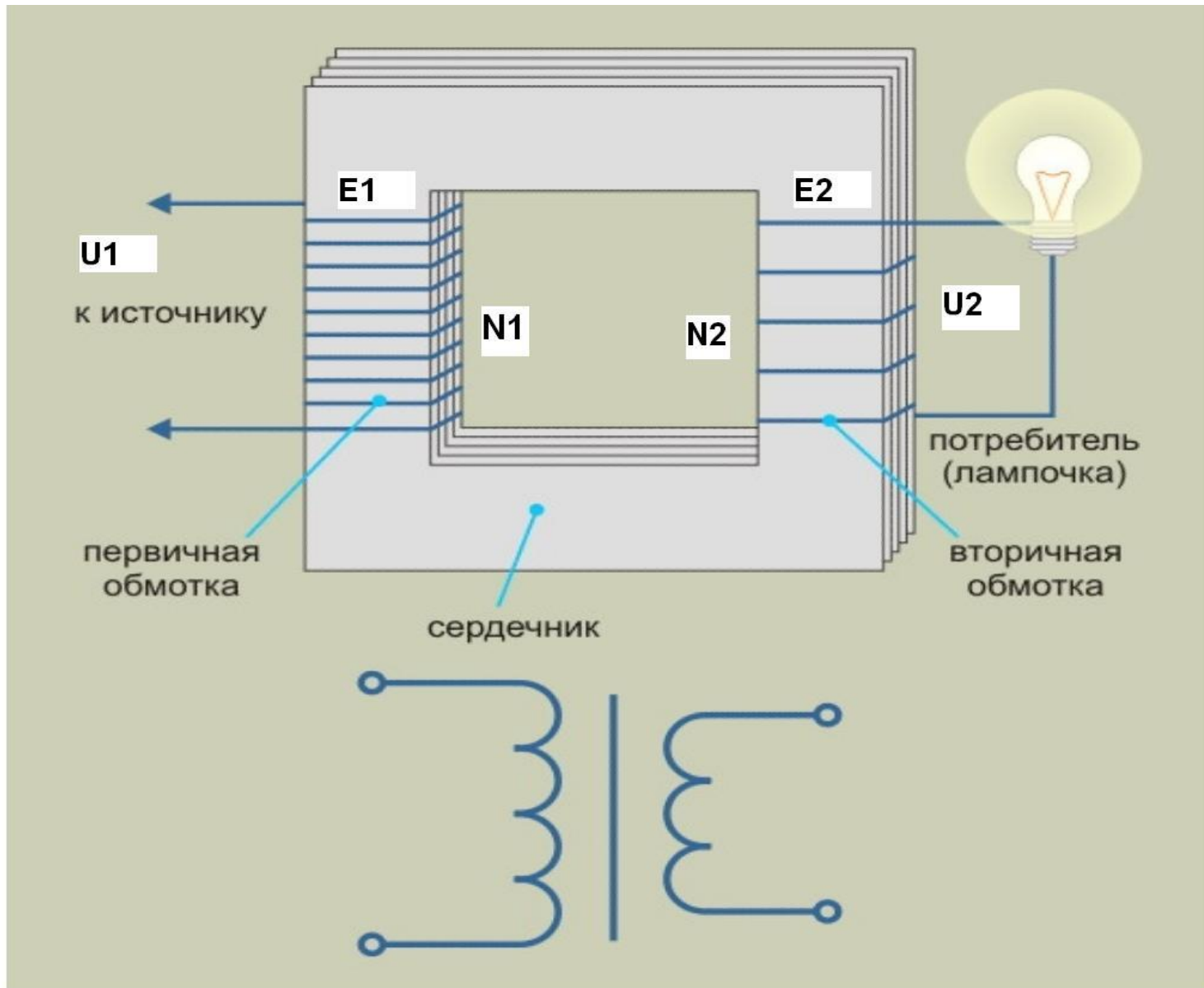
# Назначение трансформатора

1. Масштабирует напряжение и обеспечивает заданный уровень напряжения на выходе.
2. Обеспечивает гальваническую развязку выход-вход. Исключает попадание высокого напряжения сети на схему выпрямителя.



30 ноября 1876 года, дата получения патента Яблочковым Павлом Николаевичем, считается датой рождения первого трансформатора. Это был трансформатор с разомкнутым сердечником, представлявшим собой стержень, на который наматывались обмотки.

Первые трансформаторы с замкнутыми сердечниками были созданы в Англии в 1884 году братьями Джоном и Эдуардом Гопкинсон<sup>1</sup>. В 1885 г. венгерские инженеры фирмы «Ганц и К<sup>о</sup>» Отто Блати, Карой Циперновский и Микша Дери изобрели трансформатор с замкнутым магнитопроводом, который сыграл важную роль в дальнейшем развитии конструкций трансформаторов.



Условное обозначение на схемах

Работа трансформатора основана на двух базовых принципах:

1. Изменяющийся во времени электрический ток создаёт изменяющееся во времени магнитное поле (электромагнетизм)

2. Изменение магнитного потока, проходящего через обмотку, создаёт ЭДС в этой обмотке (электромагнитная индукция)

На одну из обмоток, называемую *первичной обмоткой*, подаётся напряжение от внешнего источника. Протекающий по первичной обмотке переменный ток создаёт переменный магнитный поток в магнитопроводе. В результате электромагнитной индукции, переменный магнитный поток в магнитопроводе создаёт во всех обмотках, в том числе и в первичной, ЭДС индукции, пропорциональную первой производной магнитного потока, при синусоидальном токе сдвинутой на  $90^\circ$  в обратную сторону по отношению к магнитному потоку.

В некоторых трансформаторах, работающих на высоких или сверхвысоких частотах, магнитопровод может отсутствовать.

# Коэффициент

## трансформации

Коэффициент трансформации – величина, равная отношению напряжений в первичной и вторичной обмотках трансформатора

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

Вывод: если  $K < 1$  (если  $N_2 > N_1$  или  $U_2 > U_1$ ), то трансформатор повышающий;  
если  $K > 1$  ( $N_2 < N_1$  или  $U_2 < U_1$ ) трансформатор понижающий.

Для трансформатора выполняется условие:

$$I_1 U_1 \approx I_2 U_2$$

Во сколько раз трансформатор увеличивает напряжение во, столько же раз и уменьшает силу тока.

# Применение в электросетях

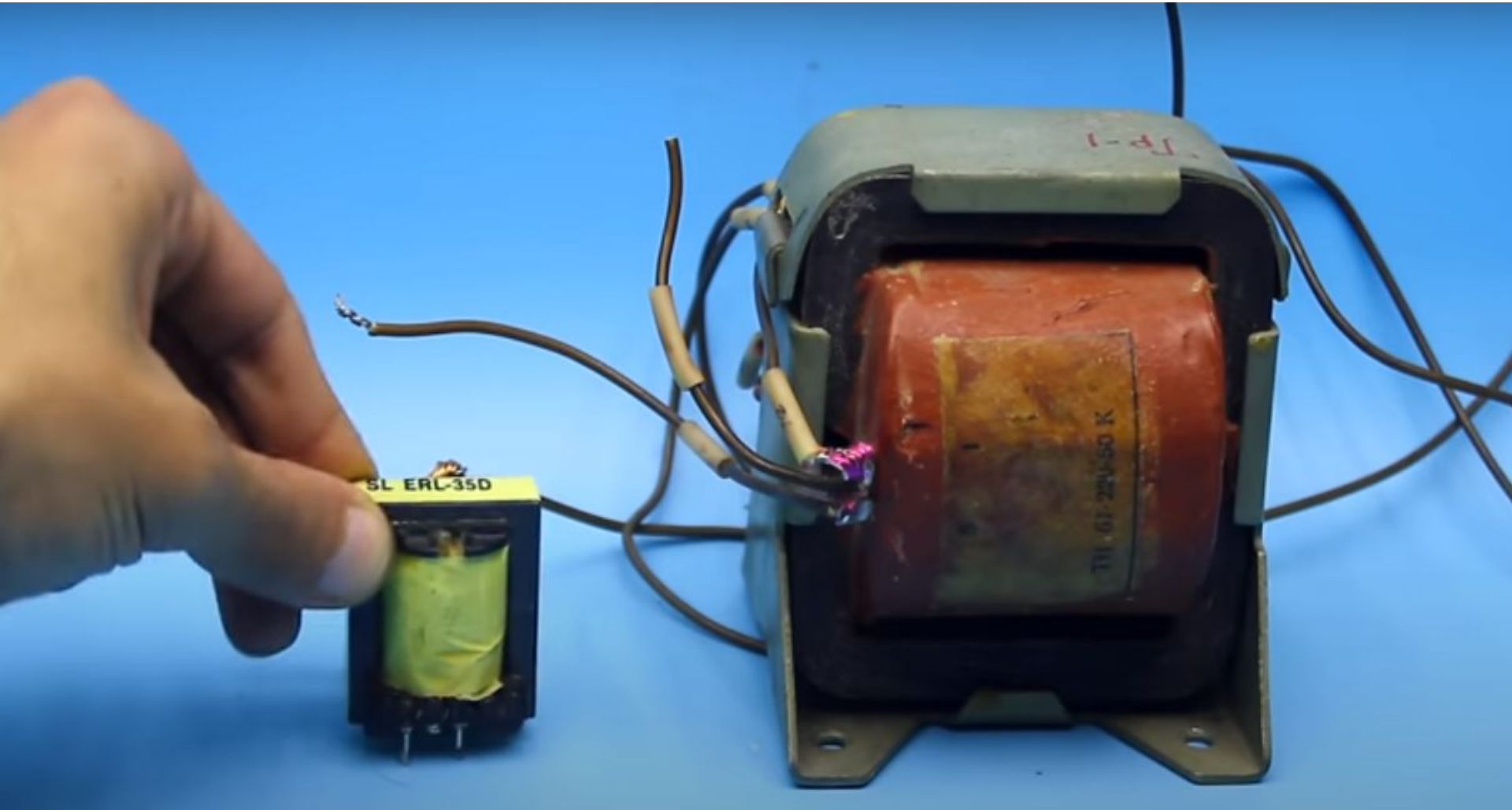
Поскольку потери на нагревание провода пропорциональны квадрату тока через провод, при передаче электроэнергии на большое расстояние выгодно использовать очень большие напряжения и небольшие токи. Из соображений безопасности и для уменьшения массы изоляции в быту желательно использовать не столь большие напряжения.

Поэтому для наиболее выгодной транспортировки электроэнергии в электросети многократно применяют трансформаторы: сначала для повышения напряжения генераторов на электростанциях перед транспортировкой электроэнергии, а затем для понижения напряжения линии электропередач до приемлемого для потребителей уровня.





# Сравнение трансформаторов 300 Вт



ИМПУЛЬСНЫЙ

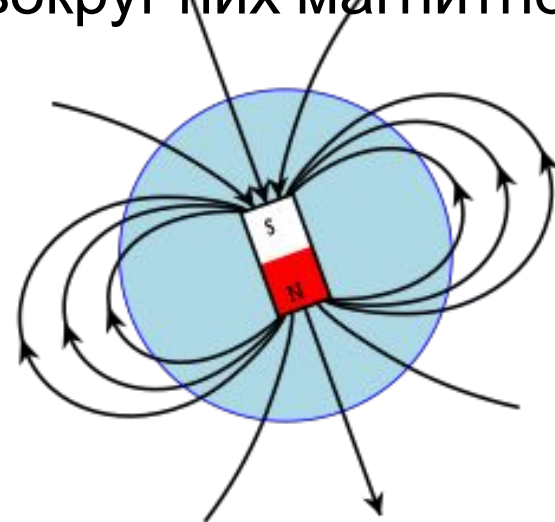
ЛИНЕЙНЫЙ

# Магнитное поле Земли

Магнитное поле Земли – это область вокруг нашей планеты, где действуют магнитные силы. Вопрос о происхождении магнитного поля до сих пор окончательно не решен.

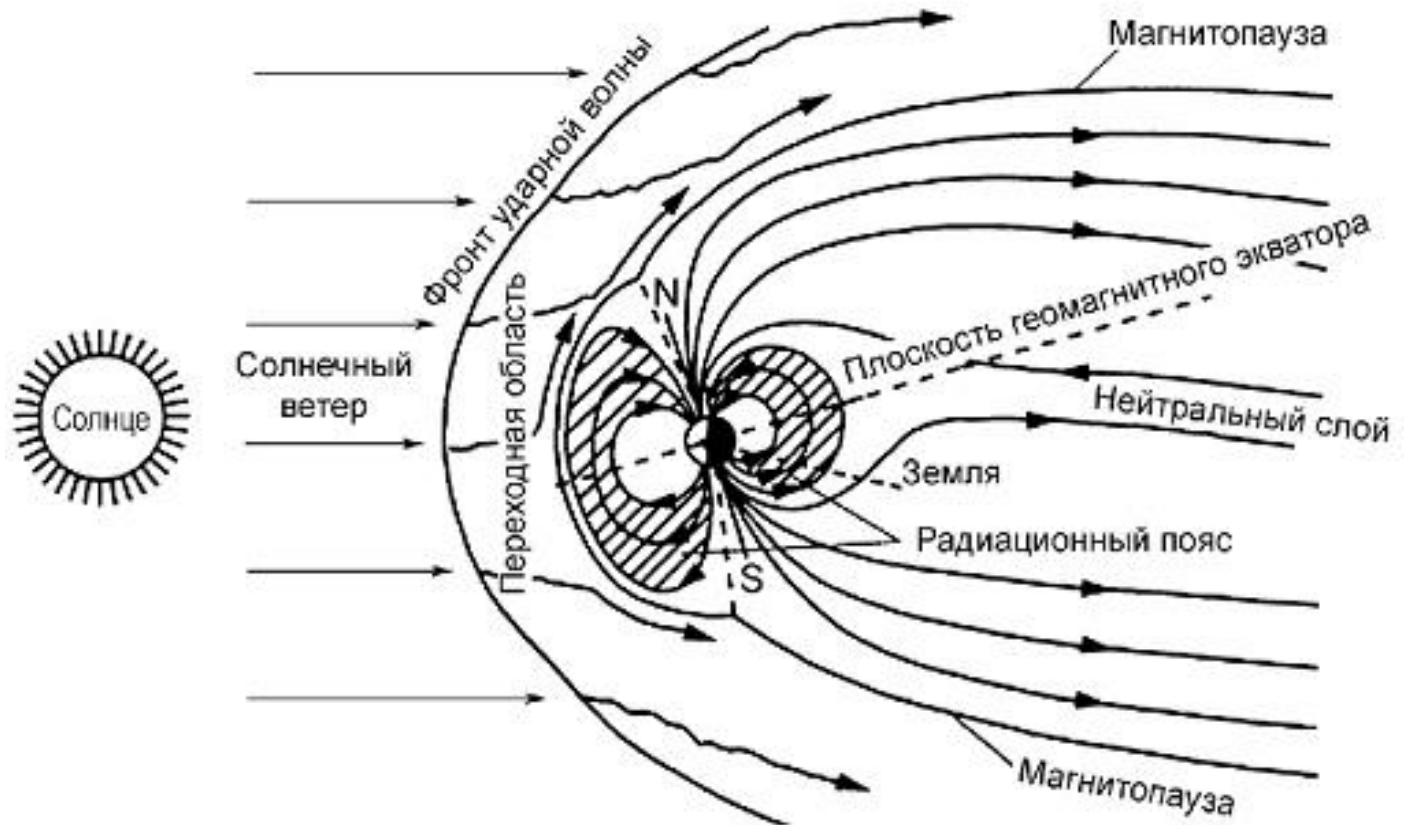
Однако большинство исследователей сходятся в том, что наличием магнитного поля Земля обязана своему ядру.

Земное ядро состоит из твердой внутренней и жидкой наружной частей. Вращение Земли создает в жидком ядре постоянные течения. Движение электрических зарядов приводит к появлению вокруг них магнитного поля.



# Магнитное поле Земли

Магнитное поле защищает жителей Земли и искусственные спутники от губительного воздействия космических частиц. К таким частицам относятся, ионизированные (заряженные) частицы солнечного ветра. Магнитное поле изменяет траекторию их движения, направляя частицы вдоль лин



# Компасы

**Компас** - устройство, облегчающее ориентирование на местности путём указания на магнитные полюса Земли и стороны света.

**Принцип действия** основан на взаимодействии поля постоянных магнитов компаса с горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. Свободно вращающаяся магнитная стрелка поворачивается вокруг оси, располагаясь вдоль силовых линий магнитного поля. Таким образом, стрелка всегда параллельна направлению линии магнитного поля.



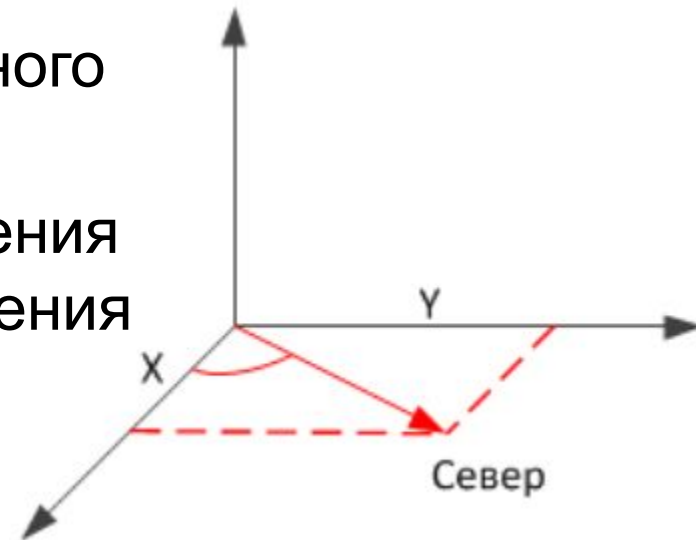
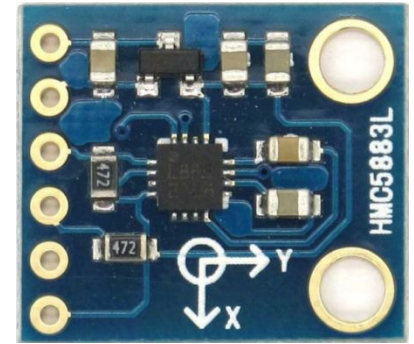
# Магнитометры

Магнитометр — это прибор, который измеряет напряженность магнитного поля. Все современные электронные магнитометры изготавливаются по технологии МЭМС и позволяют проводить измерения сразу по трем перпендикулярным осям.

Магнитометр выдает проекции магнитного поля на три оси: X, Y и Z.

Для того чтобы получить угол направления необходимо взять арктангенс отношения катетов:

$$H = \text{atan}(X/Y)$$



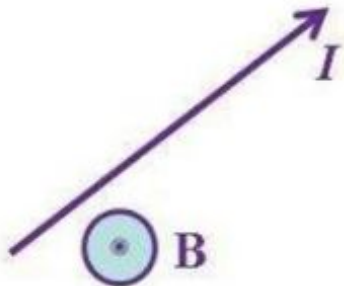
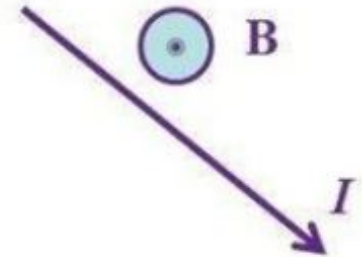
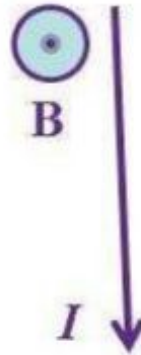
# Контрольные вопросы

1. Чем магнитное поле отличается от электрического?
2. Что показал опыт Эрстеда?
3. Что показал опыт Фарадея?
4. От чего зависит сила магнитного поля катушки?
5. Какова роль сердечника в электромагните?
6. Назначение трансформатора.
7. Правило трансформатора.
8. Почему магнитопровод трансформатора набирают из пластин?
9. Почему для передачи электроэнергии на расстояния повышают напряжение?
10. Почему импульсные трансформаторы меньше линейных?
11. Природа магнитного поля Земли.
12. Принцип работы компаса.
13. Как измерить магнитное поле?

# Задания

1. Во сколько раз уменьшатся потери энергии в проводах ЛЭП, если повысить напряжение в 100 раз?

2. С



# Ссылки

1. Краткая история Электричества.  
<https://www.youtube.com/watch?v=-NXeYTQWKHw>.
2. КАКОЙ ТОК ЛУЧШЕ? ПОСТОЯННЫЙ ИЛИ ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК?  
<https://www.youtube.com/watch?v=3hka5SarSwc>
3. Магнитная левитация.  
<https://www.youtube.com/watch?v=ly6Dvjj6B2s&t=79s>
4. Опыт-загадка с магнитом и катушкой.  
<https://www.youtube.com/watch?v=jqUrrBeg7pE>
5. Эта лекция в ютубе.  
<https://www.youtube.com/watch?v=zVOizqWZyu0>