



# 11 Класс

## Содержание курса

Разделы	Название раздела	№ ОК	Параграфы учебника	«Повторим теорию»
Раздел №1	Основы электродинамики (продолжение)	1 - 13	§1 - 17	Лист 1,2
Раздел №2	Колебания и волны	14 - 32	§18 - 58	Лист 3,4,5,6,7
Раздел №3	Оптика	33 - 51	§59 - 86	Лист 8,9,10
Раздел №4	Квантовая физика	52 - 67	§87 - 115	Лист 11,12,13

**Параграф учебника** – параграфы учебника « Физика – 11 класс – классический курс – Г.Я.Мякишев, Б.Б.Буховцев, Н.Н.Сотский;

**Источники** – учебник «Физика -11 класс» -Е.В.Коршак,А.И. Ляшенко,В.Ф.Савченко

**11 КЛАСС****РАЗДЕЛ - 1****РАЗДЕЛ - 1****ЭЛЕКТРОДИНАМИКА (продолжение)**

Электродинамика – это раздел физики, в котором рассматриваются свойства и закономерности электромагнитного поля, благодаря которому осуществляется взаимодействие между электрическими заряженными телами и частицами

**СОДЕРЖАНИЕ 1-го РАЗДЕЛА**

№ блока	Название блока	№ ОК	Параграфы учебника	«Повторим теорию»	Стр.
<b>Блок 1.</b>	Магнитное поле	<b>1 - 8</b>	<b>§1 - 7</b>	<b>Лист - 1</b>	<b>2 - 12</b>
<b>Блок 2.</b>	Электромагнитная индукция	<b>9 - 13</b>	<b>§8 - 17</b>	<b>Лист - 2</b>	<b>13 - 19</b>

**Сокращения и обозначения:**

**№ОК** – номера опорных конспектов в данном пособии;

**Параграф учебника** – параграфы учебника « Физика – 11 класс – классический курс – Г.Я.Мякишев, Б.Б.Буховцев, Н.Н.Сотский;

**«Повторим теорию»** - листы с вопросами для уроков «Повторим теорию»;

**Стр.** – номера страниц данного пособия

**РАЗДЕЛ-1****БЛОК -1****БЛОК-1****МАГНИТНОЕ ПОЛЕ**

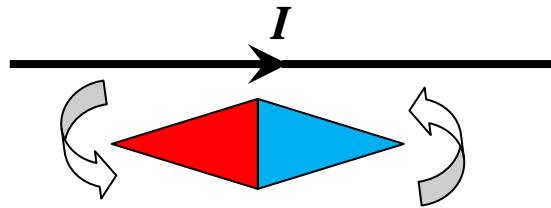
Содержание опорного конспекта	Стр. №	Параграфы учебника	Лист - 1
<b>ОК – 11.1.1</b>	4	§1	1 - 5
1.Опыт Эрстеда			
2.Опыт Ампера			
3.Магнитное поле			
<b>ОК – 11.1.2</b>	7	§2,9	6 ,8,9
1.Направление линий магнитной индукции			
2.Модуль вектора магнитной индукции			
3.Магнитный поток			
<b>ОК – 11.1.3</b>	14	§2	7
1.Линии магнитной индукции			
2.Магнитное поле Земли			
<b>ОК – 11.1.4</b>	17	§3	10,11
1.Сила Ампера			
2.Направление силы Ампера			
<b>ОК – 11.1.5</b>	21	§4,5	12
1.Действие магнитного поля на рамку с током			
2.Электроизмерительные приборы			
3.Электродвигатель постоянного тока			
<b>ОК – 11.1.6</b>	24	§6	13,14
1.Сила Лоренца			
2.Направление силы Лоренца			
<b>ОК – 11.1.7</b>	26	§6	15,16,17
1.Траектории движения частиц			
2.Применение силы Лоренца			
<b>ОК – 11.1.8</b>	29	§7	18-22
1.Магнитная проницаемость			
2.Гипотеза Ампера			
3.Магнитные свойства вещества			
<b>ОК – 11.1.9</b>	33	§7	23,24
1.Применение ферромагнетиков			
2.Запись и воспроизведение звука			
<i>Повторим теорию «Магнитное поле»</i>	37		<b>Лист - 1</b>

## МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

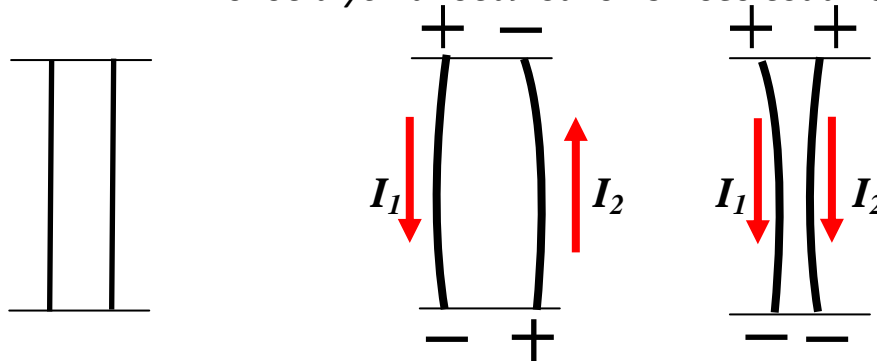
**1. 1600г. В.Гильберт** – взаимодействие, два полюса, Земля большой магнит



**2. 1820г. Х.Эрстед** – датский физик открыл магнитное действие тока



**3. 1820 г. А.Ампер** - франц.ученый открыл механическое взаимодействие токов и установил закон этого взаимодействия



### **4.Выводы:**

1. Взаимодействуют с магнитом только движущиеся заряды
2. Вокруг неподвижных электрических зарядов существует только электрическое поле
3. Вокруг проводника с током существует магнитное поле

## МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

-особая форма материи

### Свойства:

1. Существует реально, т.е. оно материально.
2. Порождается электрическим током.
3. Обнаруживается по действию на магнитную стрелку.
4. Действует на проводник с током.
5. Электрический ток и магнитное поле неотделимы друг от друга.
6. Электрический ток – источник магнитного поля

## Пояснения к ОК – 11.1.1

**Свойства магнитного поля.**

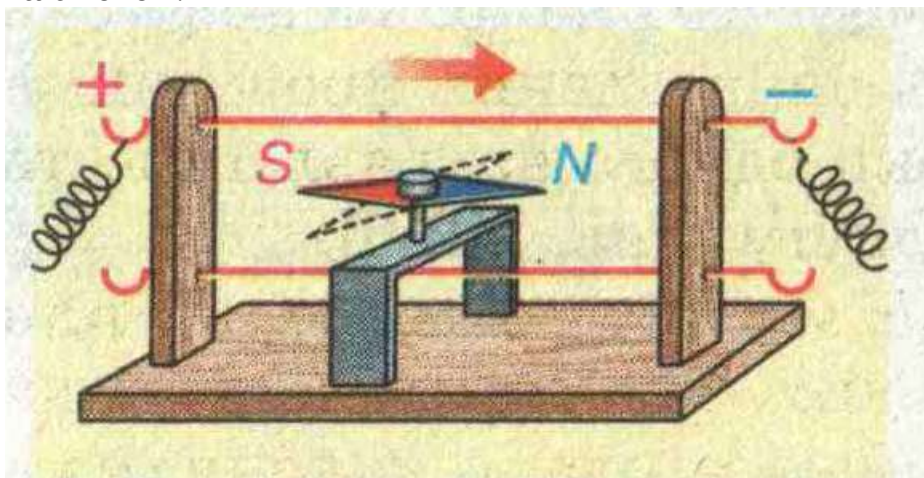
Обобщение учеными результатов теоретических и экспериментальных исследований различных взаимодействий в природе привело к выводу, что материя может существовать не только в форме вещества, но и в форме поля. Вы уже знаете о существовании электрического и магнитного полей, благодаря которым взаимодействуют наэлектризованные тела. Работы Дж. Максвелла, М. Фарадея и других ученых показали, что эти поля взаимосвязаны и фактически являются проявлениями более универсального электромагнитного поля. И только выбор системы отсчета определяет, что мы наблюдаем - электрическое или магнитное поле.

Явления, которые мы называем магнитными, известны человечеству очень давно. Необычные свойства магнетита (разновидности железной руды) использовались в Древнем Китае, а потом и в других странах для изготовления компасов. На колесницах устанавливали игрушки, которые поворачивались при движении. О магнитных свойствах вещества упоминается в легендах Древней Греции. В одной из них говорится о горе, стоящей на берегу моря. Согласно легенде магнитная гора выдёргивала из приближающихся кораблей железные гвозди, и корабли рассыпались. Магнитам приписывали магические свойства, их действием объясняли непонятные явления природы, пробовали лечить болезни.

Систематизированные исследования магнитов провел английский физик У. Гильберт в XVI в. Он не только исследовал взаимодействие постоянных магнитов, но и установил, что Земля является большим магнитом. А также указал на то, что у магнитов существуют полюса.

Учение о магнитах развивалось длительное время обособленно, как отдельная отрасль науки, пока ряд открытий и теоретических исследований в XIX в. не доказали его связь с электричеством.

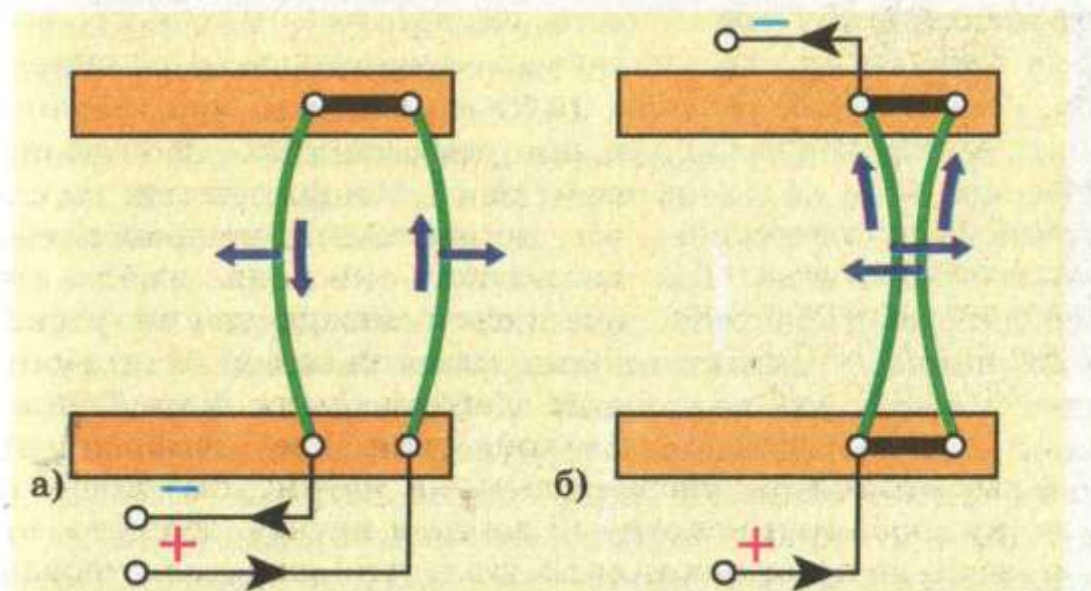
**Одним из фундаментальных доказательств** единства электрических и магнитных явлений является опыт Г.Х. Эрстеда, датского физика, который в 1820 г. заметил, что магнитная стрелка изменяет ориентацию вблизи проводника с током.



Было вполне очевидно, что причиной изменения ориентации стрелки является электрический ток — направленное движение заряженных частиц в проводнике.

Магнитные явления хотя и связаны с электрическими, но не идентичны им. Это подтверждают опыты.

Если взять два длинных параллельных проводника и присоединить к источнику тока, то заметим, что они взаимодействуют между собой в зависимости от направления тока в них. При токах противоположных направлений проводники отталкиваются (на рис.слева). Если токи одного направления, то проводники притягиваются друг к другу (на рис. справа).



Действие проводника с током на магнитную стрелку или другой проводник с током происходит при отсутствии непосредственного контакта между ними, благодаря наличию вокруг проводника магнитного поля.

**Магнитное поле имеет свои особенности**, которые выделяют его среди других полей:

1. Взаимодействуют с магнитом только движущиеся заряды.
2. Вокруг неподвижных электрических зарядов существует только электрическое поле.
3. Вокруг проводника с током существует магнитное поле

**Свойства магнитного поля:**

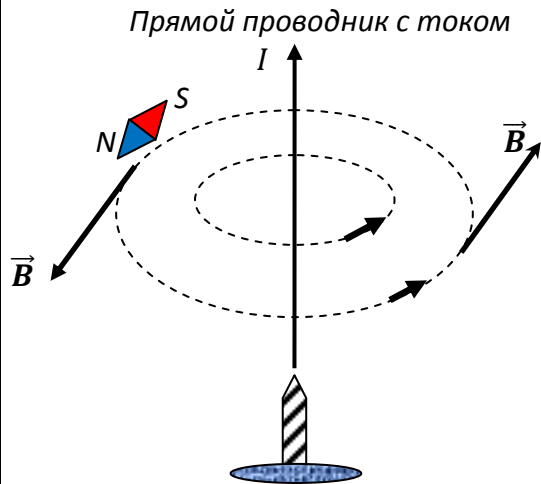
1. Существует реально, т.е. оно материально.
2. Порождается электрическим током.
3. Обнаруживается по действию на магнитную стрелку.
4. Действует на проводник с током.
5. Электрический ток и магнитное поле неотделимы друг от друга.
6. Электрический ток – источник магнитного поля.

ОК – 11.1.2

## ВЕКТОР МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

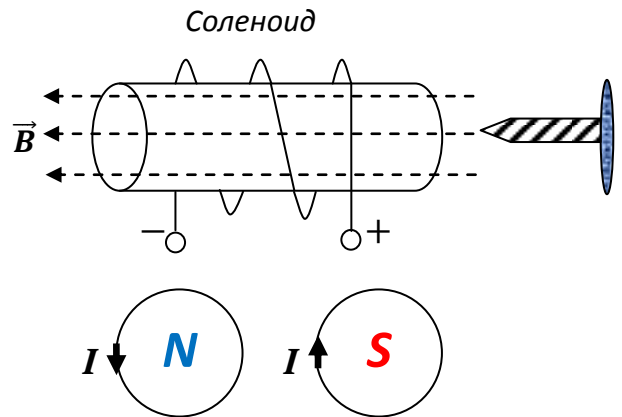
### 1. Направление тока и направление линий магнитного поля

Вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  – силовая характеристика магнитного поля



**Правило буравчика**

Если направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика совпадает с направлением линий магнитного поля тока



**Правило правой руки**

Если обхватить соленоид ладонью правой руки, направив четыре пальца по направлению тока в витках, то отставленный большой палец покажет направление линий магнитного поля внутри соленоида

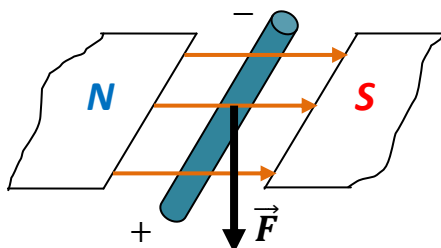
#### Правило правой руки для прямого тока

Если охватить проводник правой рукой, направив отогнутый большой палец вдоль тока, то кончики остальных пальцев в данной точке покажут направление силовых линий магнитного поля данного тока

#### Правило буравчика для витка с током

Если направление вращения буравчика, расположенного в центре витка с током, совпадает с направлением тока, то его поступательное движение показывает направление магнитной индукции.

### 2. Модуль вектора магнитной индукции



$$\frac{F}{Il} = \text{const}$$

$$B = \frac{F}{Il} = \frac{1\text{Н}}{1\text{А}1\text{м}} = 1\text{Тл}$$

Магнитное поле называется **однородным**, если во всех точках магнитная индукция одинакова

### 3. Расчет модуля магнитной индукции

а) прямой проводник с током.

$$B = k \frac{I}{r}$$

Магнитная индукция прямого проводника с током пропорциональна силе тока в нем и обратно пропорциональна расстоянию от проводника до точки наблюдения.

$$k = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \text{ - коэффициент пропорциональности в СИ}$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная, равная  $1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}$  или  $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}$   
 $\mu$  – магнитная проницаемость среды.

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r}$$

где  $r$  – расстояние от проводника до данной точки поля,  
 $I$  – сила тока в проводнике.

б) круговой виток с током в его центре

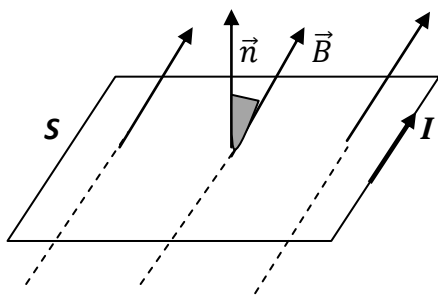
$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}$$

в) соленоид с током на его оси (внутри соленоида)

$$B = \mu_0 \mu I n \text{ (} n \text{ – число витков)}$$

Во всех случаях направление  $\vec{B}$  определяется по правилу буравчика.

4. **Магнитный поток** – характеризует магнитное поле во всех точках пространства



$$B \cos \alpha = B_n$$

$$\Phi = B_n S$$

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

$$\Phi = 1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Вб}$$



## Пояснения к ОК – 11.1.2

**Магнитная индукция.**

Наблюдения за магнитными взаимодействиями в лаборатории или в природе показывают, что действия магнитного поля на физические тела или проводники с током при равных условиях могут быть различными.

**Интенсивность магнитного взаимодействия может быть различной.**

Если для выявления магнитного поля Земли магнитную стрелку компаса приходится устанавливать на специальных опорах, которые существенно уменьшают силы трения, то действие электромагнита, в обмотках которого проходит электрический ток, будет заметным даже тогда, когда стрелка будет просто лежать на столе.

*Различным будет и взаимодействие параллельных проводников с током.* Сила взаимодействия этих проводников будет изменяться, если будет изменяться сила тока в них или расстояние между ними, - она будет увеличиваться при увеличении силы тока или при уменьшении расстояния. Для всех таких случаев говорят о «сильном» или «слабом» поле. Аналогичные случаи рассматривались при изучении свойств электрического поля, при рассмотрении действия электрического поля на заряженные тела. Для количественной характеристики электрического поля введена напряженность электрического поля. Для магнитного же поля используется также силовая характеристика и соответствующая ей физическая величина - магнитная индукция.

**Магнитная индукция является векторной величиной и обозначается буквой  $\vec{B}$ .**

Поскольку для исследования магнитного поля длительное время пользовались магнитной стрелкой на острие, то магнитная индукция как характеристика магнитного поля была связана с действием магнитного поля на магнитную стрелку. Так, направление полюсов стрелки послужило базой для установления направления вектора магнитной индукции изучаемого поля. Условились, что за направление магнитной индукции принимается направление северного полюса стрелки.

**Магнитная индукция - векторная величина, имеющая направление.**

*В отличие от напряженности электрического поля магнитная индукция как векторная величина не совпадает по направлению с направлением силы, которая действует на проводник с током.* Выясним, как направление вектора магнитной индукции зависит от направления тока в витке.

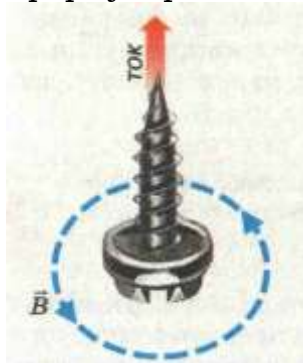
**Магнитная индукция - это силовая характеристика поля. Она определяет силу, которая действует на проводник с током или на движущуюся частицу.**

*Магнитное поле существует вокруг прямого проводника с током.* Для подтверждения этого магнитную стрелку будем обносить вокруг проводника, не изменяя расстояния. В разных точках ее ориентация будет различной, но ось стрелки всегда будет направлена по касательной к траектории движения.

Соответственно и магнитная индукция проводника с током будет иметь такое же направление.

При изменении направления тока в проводнике на противоположное стрелка развернется на  $180^\circ$  и покажет направление магнитной индукции, которое также будет противоположным к прежнему.

Таким образом, направление магнитной индукции прямого проводника зависит от направления тока в нем. Для облегчения его определения, как и в предыдущем случае, на основании анализа результатов эксперимента, сформулировано **правило правого винта или правило буравчика**:

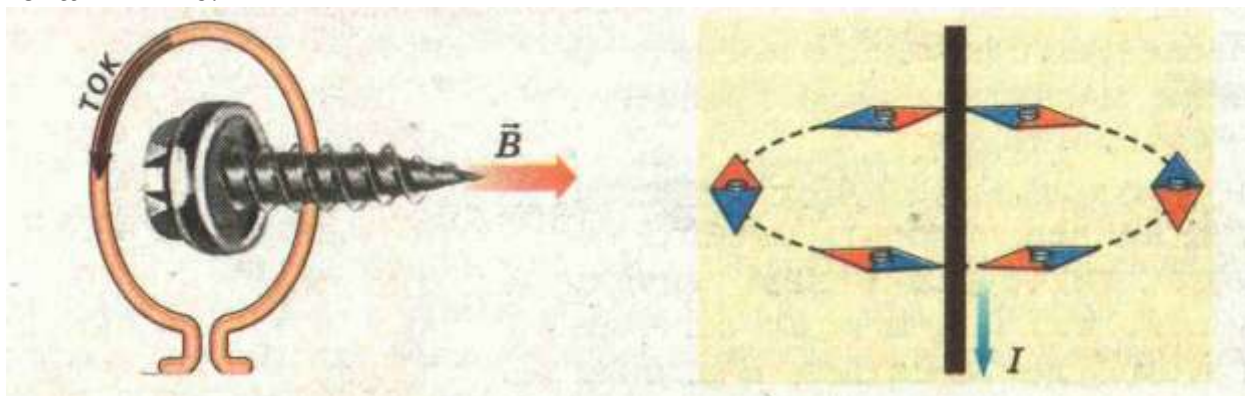


**Если направление поступательного движения правого винта совпадает с направлением тока в проводнике, то направление его вращения показывает направление магнитной индукции.**

*Магнитное поле существует и вокруг витка с током.*

Отметив направление магнитной стрелки при определенном направлении тока в витке, изменим направление последнего на противоположное. Магнитная стрелка развернется на  $180^\circ$ , показывая, что направление магнитной индукции также изменилось. Таким образом, направление магнитной индукции витка с током зависит от направления тока в нем.

Чтобы каждый раз, когда нужно знать направление магнитной индукции, не проводить опыты со стрелкой, пользуются *правилом правого винта (буравчика)*. Это правило позволяет запомнить связь направления тока в витке с направлением магнитной индукции его поля. Для этого необходимо представить, как будет двигаться правый винт, приставленный перпендикулярно к плоскости витка, при вращении его по направлению тока в витке.



**Если направление вращения правого винта, расположенного в центре витка с током, совпадает с направлением тока, то его поступательное движение показывает направление магнитной индукции.**

**Соленоид** – это обмотка, имеющая цилиндрический вид. Длина этой обмотки в десятки раз превышает ее диаметр. Само слово соленоид происходит из слияния двух терминов «solen», «eidos». Первое из них обозначает «труба», а второе слово переводится как «подобный». На практике, это объясняет форму этой радиодетали, которая имеет вид трубы, но с обмоткой.

*Для определения направления магнитного поля используют **правило правой руки**.*

**Если обхватить соленоид ладонью правой руки, направив четыре пальца по направлению тока в витках, то отставленный большой палец покажет направление линий магнитного поля внутри соленоида.**

**Соленоид, по виткам которого протекает ток, становится подобным магниту, т.е у него, как и у магнита есть магнитные полюса.**

**Для определения полюсов у соленоида можно использовать следующее правило:**

*Если ток обтекает виток против часовой стрелки, то образуется северный магнитный полюс, а если по часовой стрелки, то южный.*

Для измерения магнитной индукции применяется специальная единица тесла (**Тл**). Эта единица названа в честь сербского ученого и изобретателя Николы Теслы.

**Никола Тесла (1856-1943) - родился в Сербии, изобретатель и физик. Известен благодаря своим изобретениям в области электротехники и электроники; работал инженером на предприятиях Венгрии, Франции, США.**

На практике используются долевые величины:

**1 миллитесла = 1 мТл =  $10^{-3}$  Тл,**

**1 микротесла = 1 мкТл =  $10^{-6}$  Тл.**

Значения магнитной индукции измеряют специальными приборами, которые называются магнитометрами или индикаторами магнитной индукции .

Часто вместо прямых измерений пользуются формулами, которые позволяют рассчитать магнитную индукцию на основании параметров проводника. Таким примером может быть расчет модуля *магнитной индукции прямого проводника с током*. Экспериментально подтверждено, что магнитная индукция поля прямого проводника с током прямо пропорциональна силе тока в проводнике и обратно пропорциональна расстоянию от его оси:

$$B = k \frac{I}{r}$$

**Магнитная индукция прямого проводника с током пропорциональна силе тока в нем и обратно пропорциональна расстоянию от проводника до точки наблюдения.**

Коэффициент пропорциональности в этой формуле зависит от выбора системы единиц измерений. В Международной системе единиц (СИ) он имеет значение  $k = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi}$ ,

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная, равная  $1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}$  или  $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}$

$\mu$  – магнитная проницаемость среды.

Тогда окончательно для расчетов модуля магнитной индукции поля прямого проводника с током получаем:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r}$$

где  $r$  – расстояние от проводника до данной точки поля,

$I$  – сила тока в проводнике.

Для кругового витка с током в его центре

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}$$

Для соленоида с током на его оси (внутри соленоида)

$$B = \mu_0 \mu I n \quad (n - \text{число витков})$$

Во всех случаях направление  $\vec{B}$  определяется по правилу буравчика.

**P.S.** Среда, усиливающая магнитное поле, характеризуется магнитной проницаемостью.

Магнитная проницаемость показывает, во сколько раз магнитная индукция в веществе больше, чем в вакууме.

$$\mu = \frac{B_{\text{вещ}}}{B_{\text{вак}}} = \frac{B}{B_0}$$

**См. ОК-11.1.8**

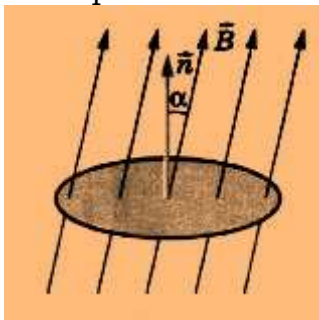
$\mu < 1$  – диамагнетики

$\mu > 1$  – парамагнетики

$\mu \gg 1$  – ферромагнетики

### Магнитный поток.

Магнитный поток – это характеристика магнитного поля, которая зависит от вектора магнитной индукции во всех точках поверхности, ограниченной плоским замкнутым контуром. Есть плоский замкнутый проводник (контур), ограничивающий поверхность площадью  $S$  и помещенный в однородное магнитное поле. Нормаль  $\vec{n}$  (вектор, модуль которого равен единице) к плоскости проводника составляет угол  $\alpha$  с направлением вектора магнитной индукции  $\vec{B}$ .



Магнитным потоком  $\Phi$  (потоком вектора магнитной индукции) через поверхность площадью  $S$  называют величину, равную произведению модуля вектора магнитной индукции на площадь  $S$  и косинус угла  $\alpha$  между векторами  $\vec{B}$  и  $\vec{n}$ .

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

где  $B \cos \alpha = B_n$  - проекция вектора магнитной индукции на нормаль к плоскости контура. Поэтому  $\Phi = B_n S$

Магнитный поток тем больше, чем больше  $B_n$  и  $S$ .

Магнитный поток зависит от ориентации поверхности, которую пронизывает магнитное поле. Магнитный поток графически можно истолковать как величину, пропорциональную числу линий магнитной индукции, пронизывающих поверхность площадью  $S$ .

Единицей магнитного потока является вебер. Магнитный поток в 1 вебер (**1 Вб**) создается однородным магнитным полем с индукцией 1 Тл через поверхность площадью 1 м<sup>2</sup>, расположенную перпендикулярно вектору магнитной индукции.

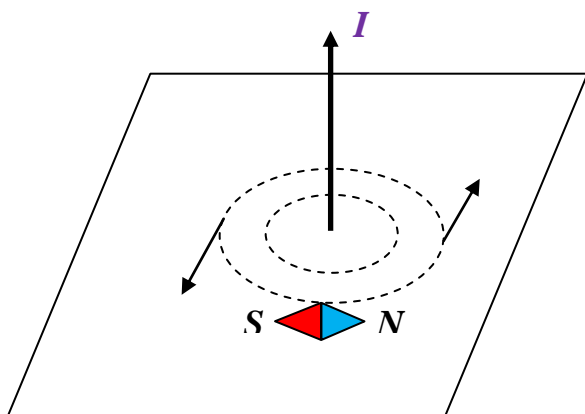
Формула остаётся справедливой, если проводник любой формы движется под любым углом к линиям вектора магнитной индукции.

ОК – 11.1.3

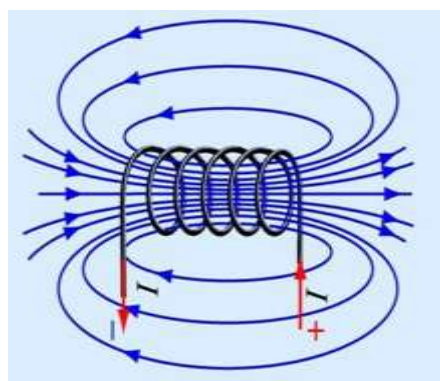
## ЛИНИИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

- 1.Замкнутые кривые линии (не имеют начала ни конца).
- 2.Направление связано с направлением тока в проводнике.
- 3.Направление указывает северный полюс магнитной стрелки.
- 4.У прямолинейного проводника – концентрические окружности.
- 5.Если длина соленоида много больше его диаметра, то М.П. внутри – **однородно** (внутри соленоида – линии параллельны)

### 1. Магнитное поле прямого тока

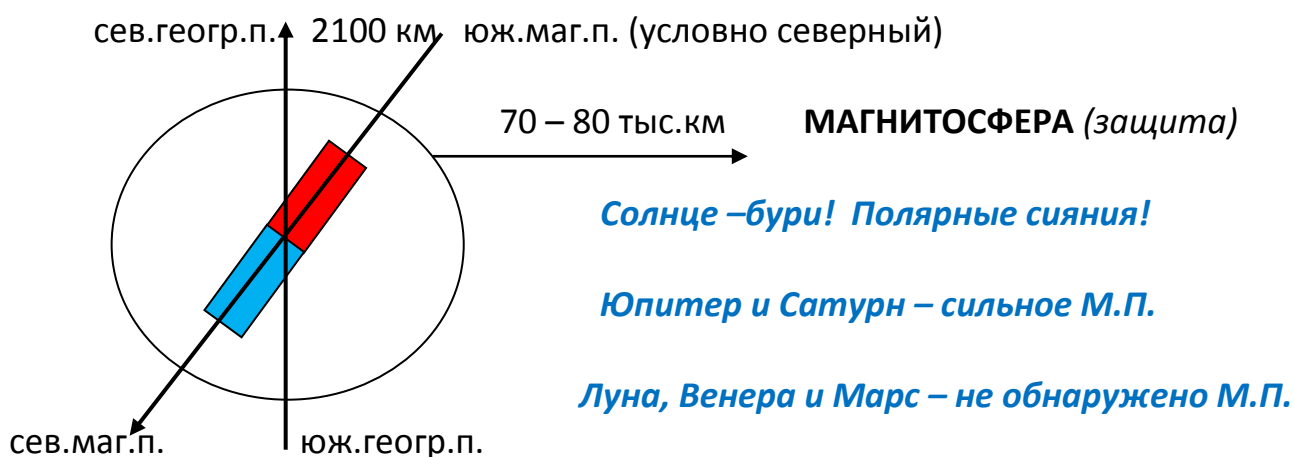


### 2. Магнитное поле кругового тока



Поля с замкнутыми векторными линиями называют вихревыми  
Магнитное поле – вихревое поле

## МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ



## Пояснения к ОК – 11.1.3

**Магнитное поле Земли**

Земля в целом представляет собой огромный шаровой магнит. Магнитное поле Земли имеет внутриземное происхождение. Ядро Земли является жидким и состоящим из железа; в нем циркулируют круговые токи, которые и порождают земное магнитное поле: вокруг токов всегда есть магнитное поле. Оно не является симметричным.

Магнитные и географические полюса Земли не совпадают друг с другом. Южный магнитный полюс находится вблизи северного географического полюса вблизи северного берега озера Виктория (Канада). Северный магнитный полюс находится вблизи южного географического полюса вблизи берегов Антарктиды. Магнитные полюса Земли перемещаются (дрейфуют).

Магнитное поле Земли не остается постоянным, оно испытывает медленные изменения во времени (так называемые *вековые вариации*). Кроме того, через достаточно большие интервалы времени могут происходить изменения расположения магнитных полюсов на противоположные (*инверсии*). За последние 30 млн. лет среднее время между инверсиями составляло 150 000 лет.

Но особенно большие изменения могут происходить в **магнитосфере Земли**. Эта область околоземного пространства, в котором сосредоточено магнитное поле Земли, простирается на расстояние 70–80 тыс. км в направлении на Солнце и на многие миллионы километров в противоположную сторону. В магнитосферу Земли вторгается множество заряженных частиц, входящих в состав солнечного ветра (потока плазмы солнечного происхождения).

Частицы солнечного ветра, главным образом протоны и электроны, захватываются магнитным полем Земли и увлекаются по винтовым траекториям вдоль силовых линий.



Во время увеличения солнечной активности интенсивность солнечного ветра возрастает. При этом частицы солнечного ветра ионизируют верхние слои атмосферы в северных широтах (где магнитные силовые линии сгущены) и вызывают там свечения — *полярные сияния*.



В магнитном поле Земли в условиях разреженного воздуха так светятся обычно атомы кислорода и молекулы азота. Магнитное поле Земли защищает ее жителей от солнечного ветра!

**Магнитные бури** — это значительные изменения магнитного поля Земли под действием усиленного солнечного ветра, в результате вспышек на Солнце и сопровождающих их выбросов потоков заряженных частиц.



Магнитные бури продолжаются обычно от 6 до 12 часов, а затем характеристики земного поля снова возвращаются к своим нормальным значениям. Но за столь короткое время магнитная буря оказывает сильное влияние на радиосвязь, линии электросвязи, человека и др.

Человечество начало использовать магнитное поле Земли давно. Уже в начале XVII–XVIII вв. получает широкое распространение в мореходстве компас (магнитная стрелка).

Магнитное поле Земли служит многим живым организмам для ориентации в пространстве. Некоторые морские бактерии располагаются в придонном иле под определенным углом к силовым линиям магнитного поля Земли, что объясняется наличием в них маленьких ферромагнитных частиц. Мухи и другие насекомые садятся предпочтительно в направлении поперек или вдоль магнитных линий магнитного поля Земли. Например, термиты располагаются на отдых так, что оказываются головами в одном направлении: в одних группах параллельно, в других перпендикулярно линиям магнитного поля.

Ориентиром для перелетных птиц также служит магнитное поле Земли. Недавно ученые узнали, что у птиц в области глаз располагается маленький магнитный «компас» — крохотное тканевое поле, в котором расположены кристаллы магнетита, обладающие способностью намагничиваться в магнитном поле. Ботаники установили восприимчивость растений к магнитным полям. Оказывается, сильное магнитное поле влияет на рост растений.

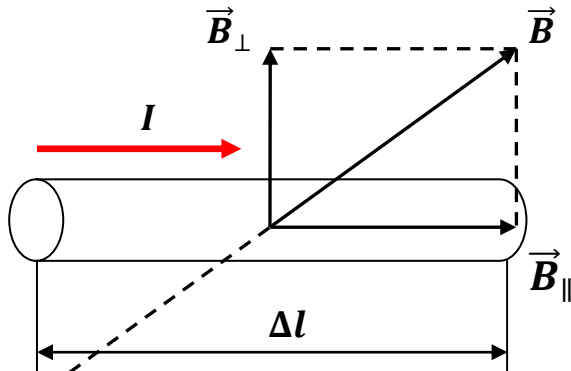
Помимо нашей планеты в нашей Солнечной системе магнитным полем обладают Юпитер, Сатурн, Марс, Меркурий.



ОК – 11.1.4

## СИЛА АМПЕРА

-действует на проводник с током в магнитное поле

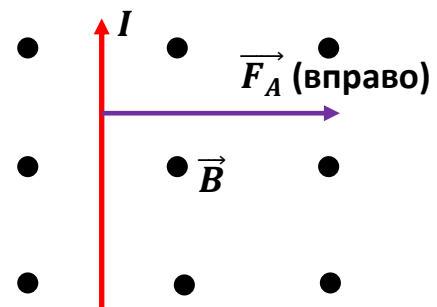
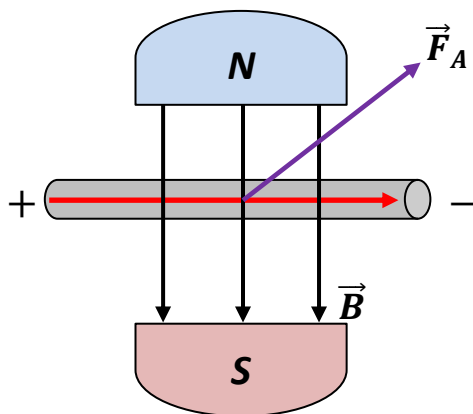


$$F_{max} \sim I\Delta l$$

$$\frac{F_{max}}{I\Delta l} = const = B$$

$$F_A = BI\Delta l \sin\alpha (\angle B, I)$$

## НАПРАВЛЕНИЕ СИЛЫ АМПЕРА



● - направление к «нам»

X - направление от «нас»

### Правило левой руки

Если левую руку расположить так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь (перпендикулярная составляющая), а четыре вытянутых пальца были направлены по току, то отогнутый на  $90^\circ$  большой палец укажет направление действующей на проводник силы

Силу взаимодействия двух параллельных проводников с током можно определить, зная только расстояние между ними и силу тока в них.

$$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 \Delta l}{2\pi r}$$

Работа по перемещению проводника с током

$$A = F\Delta x = IB\Delta l \Delta x = IB\Delta S = I\Delta\Phi$$

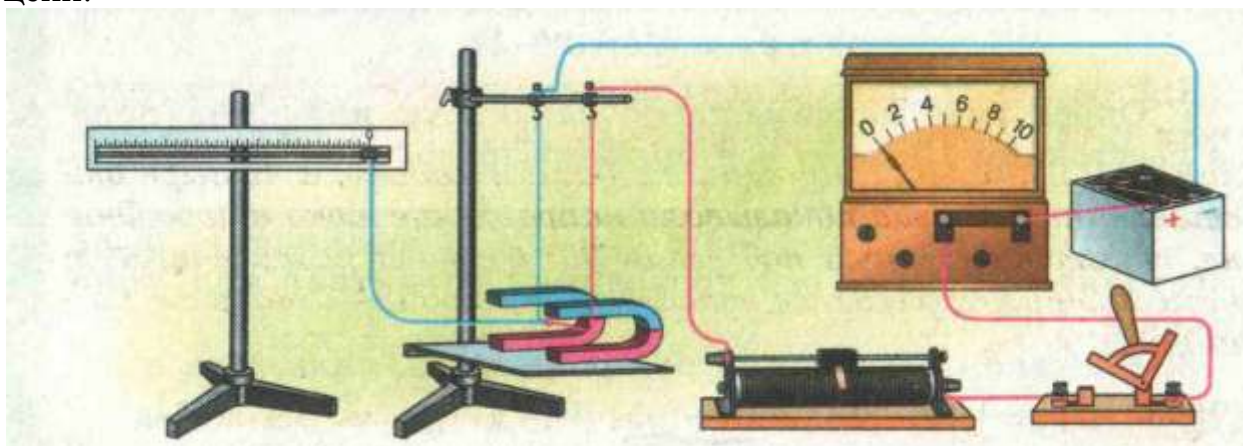
## Пояснения к ОК – 11.1.4

**Сила Ампера.**

Поскольку вокруг проводников с током возникает магнитное поле, естественно предположить, что в магнитном поле на них действует сила.

На проводник с током в магнитном поле действует сила.

Проведем исследование с целью определения, от чего зависит модуль и направление этой силы. Для этого используем установку, в которой прямой проводник подвешен в магнитном поле постоянного магнита так, что его можно включать в электрическую цепь, силу тока в которой можно изменять при помощи реостата. Амперметр будет измерять силу тока в цепи.



Замкнув электрическую цепь, заметим, что проводник отклонится от положения равновесия, а динамометр покажет некоторое значение силы. Увеличим силу тока в проводнике в 2 раза и увидим, что сила, действующая на проводник, также увеличится в 2 раза. Любые другие изменения силы тока будут вызывать соответствующие изменения силы. Сопоставление результатов всех измерений позволяет сделать вывод, что сила  $F$ , которая действует на проводник с током, пропорциональна силе тока в нем:

$$F \sim I$$

Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, называется *силой Ампера*.

**Сила Ампера пропорциональна силе тока в проводнике.**

Расположим еще один магнит рядом с первым. Длина проводника, находящегося в магнитном поле, увеличится приблизительно в 2 раза. Значение силы, действующей на проводник, в этом случае также увеличится в 2 раза. Таким образом, сила  $F_A$ , действующая на проводник с током в магнитном поле, пропорциональна длине проводника  $\Delta l$ , который расположен в магнитном поле:

$$F \sim \Delta l$$

**Сила Ампера пропорциональна длине активной части проводника.**

Сила увеличится также тогда, когда применим другой, более мощный магнит с большей магнитной индукцией поля. Это позволит сделать вывод, что сила Ампера  $F_A$  зависит от *магнитной индукции поля*:

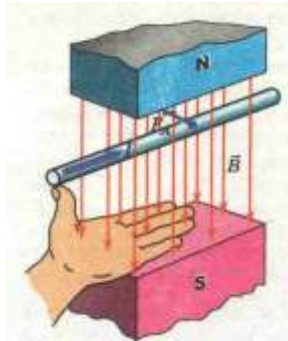
$$F \sim B.$$

Опыт позволяет убедиться и в том, что наибольшее значение силы Ампера будет тогда, когда угол между проводником и вектором магнитной индукции будет равен  $90^\circ$ . Если этот угол будет равен нулю, т. е. вектор магнитной индукции будет параллельным проводнику, то сила Ампера также будет равна нулю. Отсюда легко сделать вывод, что сила Ампера зависит от угла между вектором магнитной индукции и проводником.

Окончательно для расчетов имеем формулу

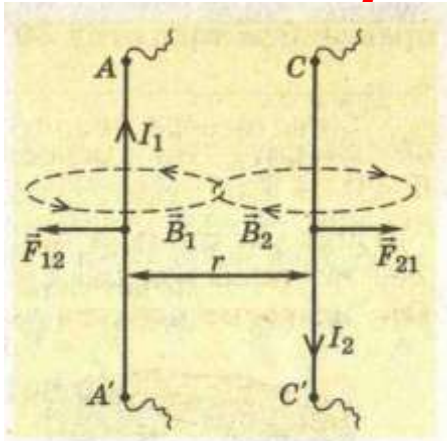
$$F_A = BI\Delta l \sin\alpha (\angle B, I)$$

Направление силы Ампера определяется по правилу левой руки:



Если левую руку разместить так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь (перпендикулярная составляющая), а четыре отставленных пальца показывали направление тока в проводнике, то отставленный под углом  $90^\circ$  большой палец покажет направление силы, действующей на проводник с током в магнитном поле.

## 2. Взаимодействие проводников с током.



Взаимодействие проводников с током объясняется действием силы Ампера.

Каждый из проводников имеет свое магнитное поле, которое действует на соседний проводник с током и способствует появлению силы Ампера. Так, **AA'**, по которому проходит ток  $I_1$ , имеет магнитное поле, модуль индукции  $B_1$  которого, как указывалось ранее, равен  $B_1 = \frac{\mu\mu_0 I_1}{2\pi r}$

где  $r$  - расстояние от проводника до точки наблюдения.

Если проводник **CC'** длиной  $\Delta l$  находится на расстоянии  $r$  от проводника **AA'** и в нем проходит ток  $I_2$ , то на него действует сила Ампера  $F_A$ , поскольку он находится в магнитном поле проводника **AA'**. Значение этой силы равно

$$F_{21} = B_1 I_2 \Delta l \sin\alpha$$

Поскольку проводники параллельны и угол между проводником **CC'** и вектором магнитной индукции  $B_1$  равен  $90^\circ$ , то  $\sin\alpha = 1$ .

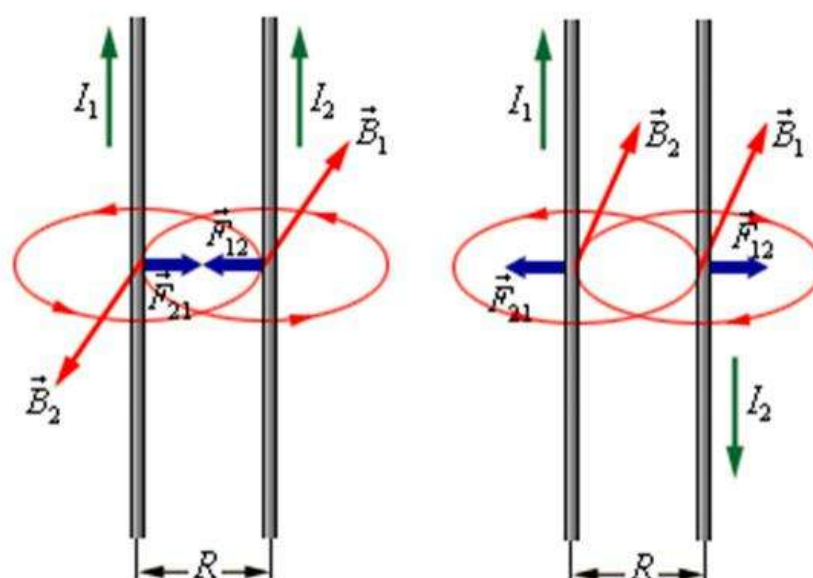
Подставим в последнюю формулу значение магнитной индукции поля проводника **AA'**:

$$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 \Delta l}{2\pi r}$$

**Силу взаимодействия двух параллельных проводников с током можно определить, зная только расстояние между ними и силу тока в них.**

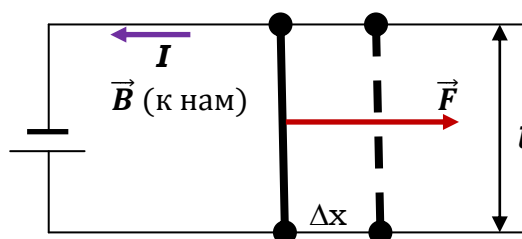
Как и при любом взаимодействии, такая сила, согласно третьему закону Ньютона, действует на каждый из проводников. Только направления их противоположны. Таким образом, два параллельных проводника взаимодействуют между собой благодаря магнитным полям, которые образуются вокруг проводников, по которым проходит электрический ток.

Взаимодействие токов вызывается их магнитными полями: магнитное поле одного тока действует силой Ампера на другой ток, и наоборот.



### Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле.

**На проводник с током** в магнитном поле действуют силы, которые определяются с помощью закона Ампера. Если проводник не закреплен (например, одна из сторон контура сделана в виде подвижной перемычки), то под действием силы Ампера он в магнитном поле будет перемещаться. Значит, магнитное поле совершает работу по перемещению проводника с током.

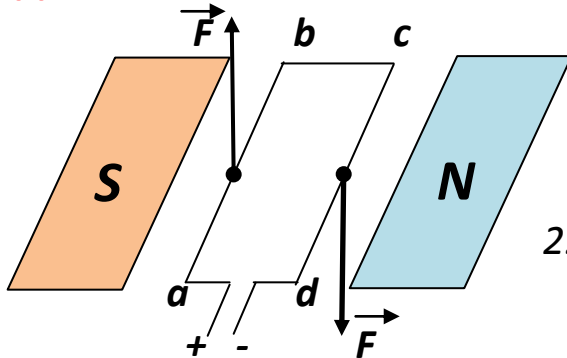


$$A = F\Delta x = IBl\Delta x = IB\Delta S = I\Delta\Phi$$

**Работа**, совершаемая проводником с током при перемещении, численно равна произведению тока на магнитный поток, пересечённый этим проводником.

## ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАМКУ С ТОКОМ

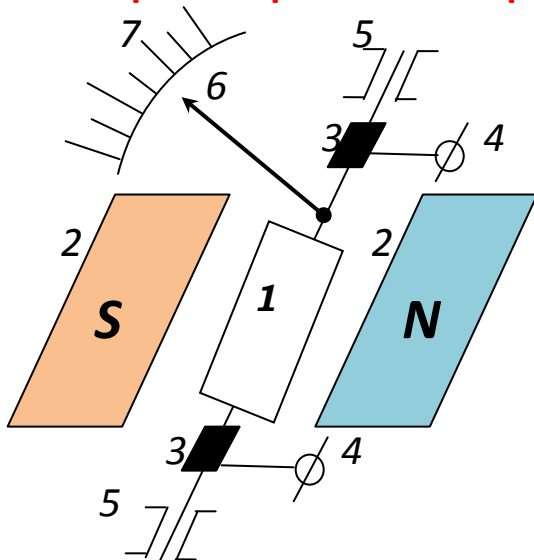
### 1. Действие магнитного поля на рамку с током



1. Магнитное поле действует на стороны **ab** и **cd** с одинаковыми по модулю силами

2. Угол вращения зависит от силы тока

### 2. Электроизмерительные приборы магнитоэлектрической системы



1. Рамка

2. Постоянный магнит

3. Спиральные пружины

4. Клеммы

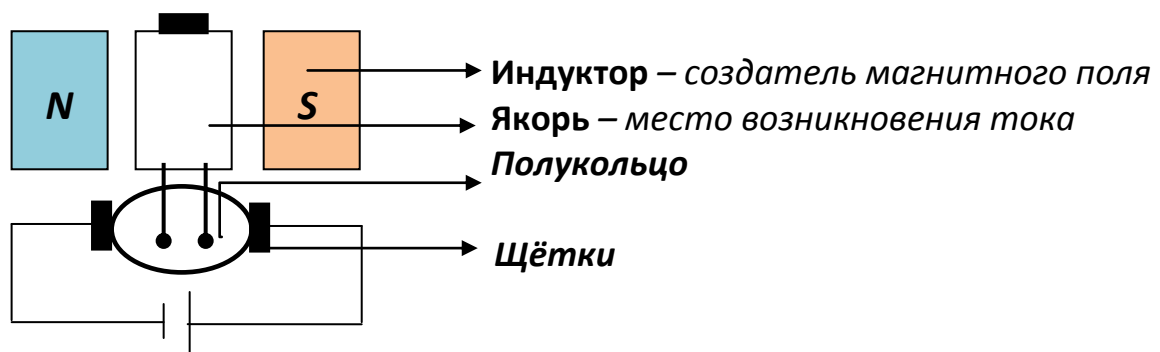
5. Подшипники и ось

6. Стрелка

7. Шкала

**Амперметры. Вольтметры**

### 3. Электродвигатель постоянного тока – 1834г. Б.С.Якоби



#### Преимущества

1. Малые размеры
2. Удобное место
3. Любая мощность
4. Запас топлива?
5. Охрана природы
6. КПД = 98%

#### Применение

1. Электровозы
2. Трамваи
3. Троллейбусы
4. Автомобили

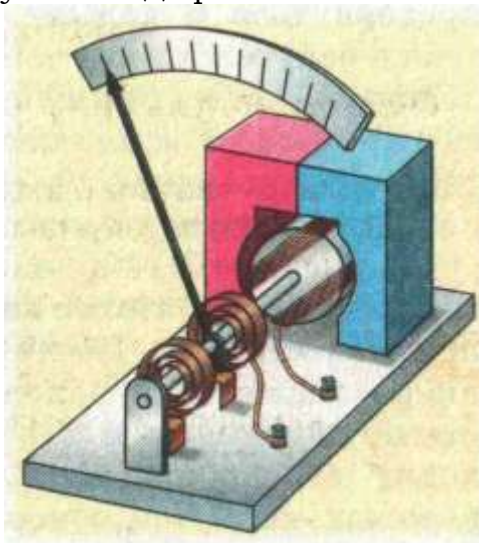
## Пояснения к ОК – 11.1.5

**Применение действия силы Ампера на проводник с током**

Силу Ампера применяют для преобразования энергии электрического тока в механическую энергию проводника. Такое превращение происходит во многих электротехнических устройствах. Рассмотрим некоторые из них.

**Электроизмерительные приборы магнитоэлектрической системы.**

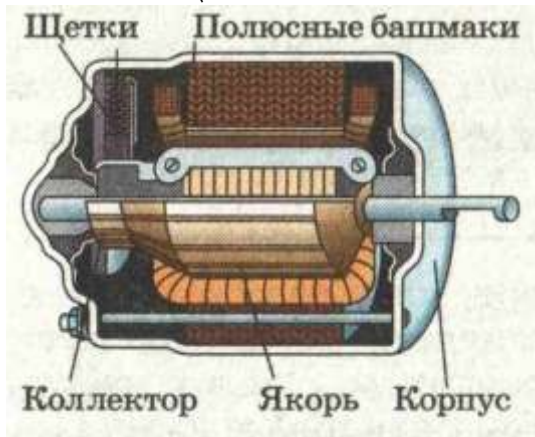
Электроизмерительный прибор магнитоэлектрической системы состоит из постоянного магнита и проволочной рамки, расположенной между его полюсами. Полюса магнита имеют специальные насадки, создающие однородное магнитное поле, в котором вращение рамки не приводит к изменению угла между магнитной индукцией и проводниками рамки. Этот угол всегда равен  $90^\circ$ .



С рамкой соединены две спиральные пружины, которые подводят к рамке электрический ток. Во время прохождения электрического тока по **виткам рамки возникает сила** Ампера, пропорциональная силе тока в рамке. Чем больше сила действует на витки рамки, тем больше закручиваются спиральные пружины, в которых возникает сила упругости. Когда сила Ампера и сила упругости станут равными, вращение рамки прекратится. Стрелка, прикрепленная к рамке, показывает угол поворота рамки. Этот угол пропорционален силе тока в рамке.

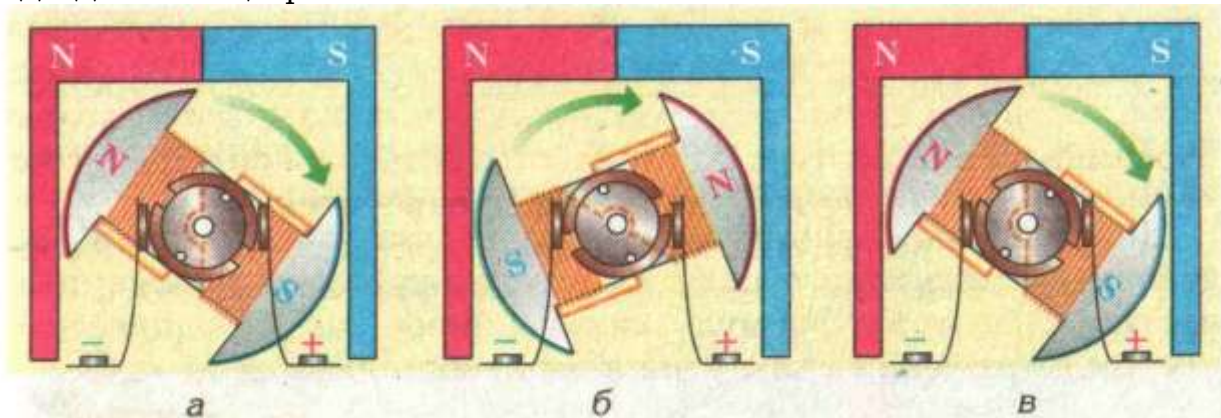
**Электрический двигатель постоянного тока.**

Электрический двигатель применяют для преобразования энергии электрического тока в механическую энергию вращения вала двигателя. Принцип его действия подобен принципу действия электроизмерительного прибора магнитоэлектрической системы, описанного выше. Только в его конструкции отсутствует пружина, поэтому рамка может поворачиваться на любой угол. Электрический ток к рамке, размещенной на валу и имеющей стальной сердечник, подается через специальные скользящие контакты-щетки.



При замыкании цепи питания двигателя ток проходит по рамке, и она взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита или электромагнита и поворачивается до тех пор, пока ее плоскость не станет параллельной вектору магнитной индукции. Чтобы она могла повернуться и дальше, нужно сменить направление силы тока в ней, вследствие чего поменяет направление сила Ампера, действующая на рамку с током в магнитном поле.

В двигателе этот процесс осуществляется с помощью двух неподвижных графитометаллических щеток и двух полуколец на валу, к которым подведены концы рамки.



На **рис. а** показан момент, когда ток в якоре такого направления, что его полюса отталкиваются от одноименных полюсов статора. После поворачивания на некоторый угол якорь окажется в положении, когда разноименные полюса притягиваются (**рис.б**). Вследствие инерции якорь проходит это положение равновесия, а благодаря кольцам, которых касаются токоподводящие щетки (**рис.в**), направление тока в якоре изменяется на противоположное и вращение якоря продолжается (**см. рис.а**).

В промышленных образцах электродвигателей постоянного тока ротор имеет несколько рамок-обмоток. Поэтому и количество пар скользящих контактов в них больше: оно согласуется с количеством обмоток. В целом такое устройство называют коллектором. В новейших моделях двигателей постоянного тока роль коллектора выполняет специальное устройство с электронными приборами.

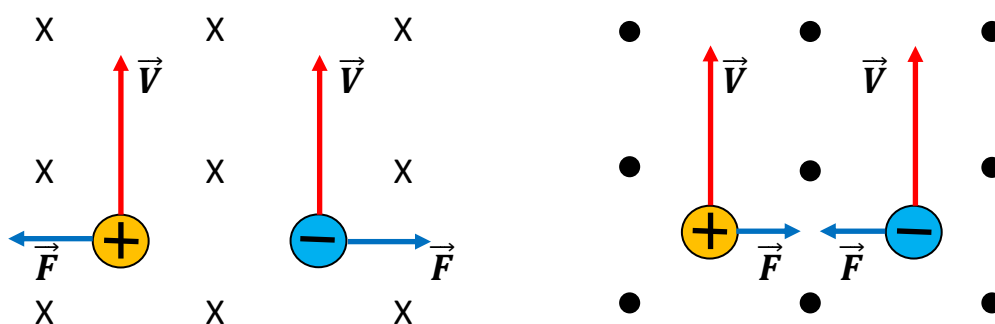
ОК – 11.1.6

**СИЛА ЛОРЕНЦА**

- действует на движущуюся заряженную частицу

$$F_{\text{Л}} = \frac{F_A}{N} = \frac{I\Delta l B \sin\alpha}{nV} = \frac{qnvS\Delta l B \sin\alpha}{n\Delta l S}$$

$$F_{\text{Л}} = qvB \sin\alpha (\angle B \text{ и } v)$$

**НАПРАВЛЕНИЕ СИЛЫ ЛОРЕНЦА****Правило левой руки**

Если левую руку расположить так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по движению положительно заряженной частицы, то отогнутый на  $90^\circ$  большой палец укажет направление действующей на проводник силы



## Пояснения к ОК – 11.1.6

**Сила Лоренца**

**Силой** Лоренца  $\mathbf{F}_L$  называют силу, действующую на электрически заряженную частицу, двигающуюся в электромагнитном поле, определяя действия на нее электрического и магнитного полей одновременно. Это выражается формулой:  $\vec{F}_L = \vec{F}_{эл} + \vec{F}_M$

где  $\vec{F}_{эл}$  - электрическая составляющая силы Лоренца, описывающая взаимодействие движущейся частицы и равная  $\vec{F}_{эл} = e\vec{E}$ ;

$\vec{F}_M$  - магнитная составляющая силы Лоренца, определяющая взаимодействие заряженной частицы с магнитным полем.

**Сила Лоренца действует на движущуюся электрически заряженную частицу в электромагнитном поле.**

Для упрощения рассмотрим случай, когда  $\vec{F}_{эл} = \mathbf{0}$ , а сила Лоренца равна магнитной составляющей.

Выясним, как можно рассчитать силу, действующую на движущуюся заряженную частицу в магнитном поле.

Как известно, электрический ток в проводнике - это упорядоченное движение заряженных частиц. Согласно электронной теории сила тока рассчитывается по формуле:

$$I = envS,$$

где  $I$  - сила тока;  $e$  - заряд частицы;

$n = \frac{N}{V}$  концентрация частиц в проводнике;

$V$  - объем;  $v$  - скорость движения частиц;

$S$  - площадь поперечного сечения проводника.

Действие магнитного поля на проводник с током является действием магнитного поля на все движущиеся заряженные частицы. Поэтому формулу силы Ампера можно записать с учетом выражения силы тока в электронной теории:

$$F_A = B e n v S \Delta l \sin\alpha,$$

или

$$F_A = B e \frac{N}{V} S v \Delta l \sin\alpha.$$

Если учесть, что

$$S \Delta l = V, \text{ то } F_A = B e N v \sin\alpha.$$

Если сила Ампера является равнодействующей всех сил, действующих на  $N$  частиц, то на одну частицу будет действовать сила в  $N$  раз меньше:

$$F = \frac{F_A}{N} = B e v \sin\alpha.$$

Это и есть формула для расчета магнитной составляющей силы Лоренца:

$$F_L = B e v \sin\alpha.$$

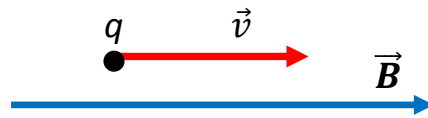
Анализ этой формулы позволяет сделать выводы, что:

1) магнитная составляющая силы Лоренца действует только на движущуюся частицу ( $v \neq 0$ );

2) магнитная составляющая не действует на движущуюся частицу, которая движется вдоль линии магнитной индукции ( $\alpha = 0$ ).

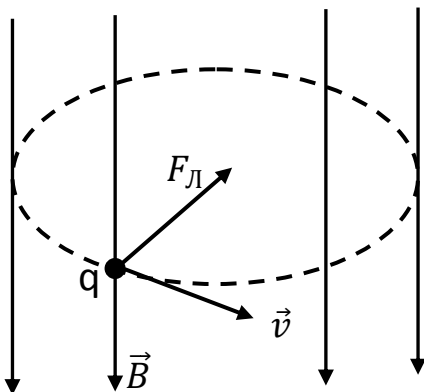
## ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ

1. Если  $\vec{v} \parallel \vec{B}$



$$F_L = 0$$

2. Если  $\vec{v} \perp \vec{B}$ , то частица описывает траекторию в виде окружности



$$F_L = ma_{\text{ц}}$$

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$v = \frac{qRB}{m}$$

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

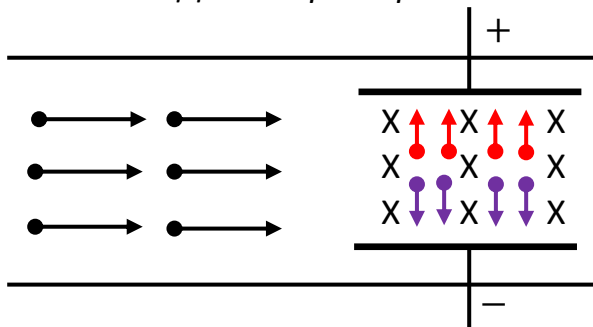
$$T = \frac{2\pi R}{v}$$

$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

3. Если  $\vec{v}$  не  $\perp \vec{B}$ , то частица описывает траекторию в виде винтовой линии

## ПРИМЕНЕНИЕ СИЛЫ ЛОРЕНЦА

-МГД – генераторы



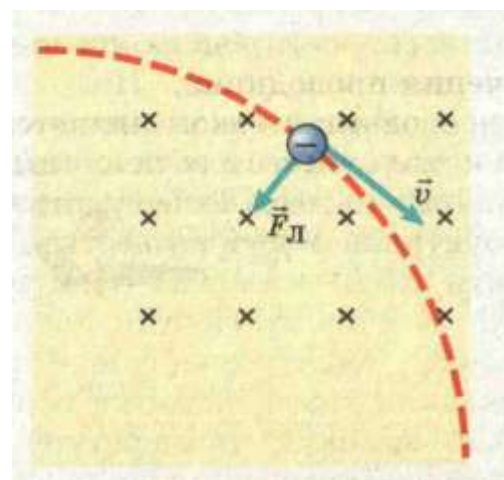
- кинескопы
- ускорители
- масс - спектрографы
- полярные сияния

**Вывод:** на заряженную частицу со стороны магнитного поля действует сила Лоренца. Эта сила перпендикулярна скорости и не совершает работы

## Пояснения к ОК – 11.1.7

**Траектории движения частиц.**

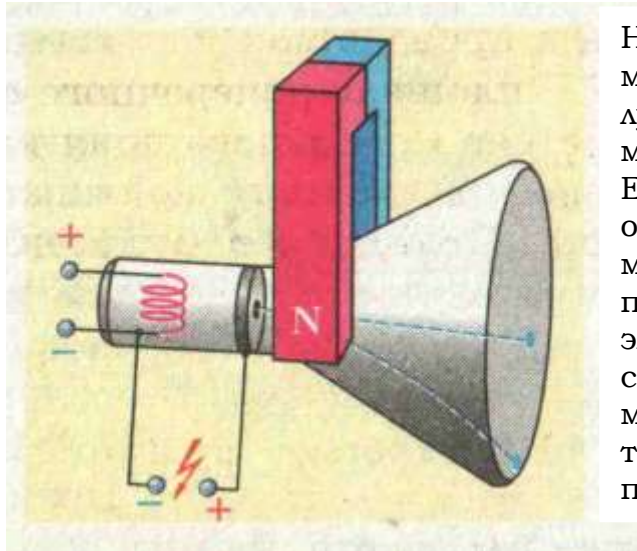
Направление магнитной составляющей силы Лоренца, как и силы Ампера, определяется по правилу левой руки. При этом необходимо учитывать, что это справедливо для положительно заряженных частиц. Если определять направление силы Лоренца, действующей на электрон или другую отрицательно заряженную частицу, то, применяя правило левой руки, нужно мысленно изменять направление движения на противоположное.



Сила Лоренца направлена всегда под некоторым углом к скорости частицы, поэтому она придает ей центростремительное ускорение (см.рис.).

Для случая, если  $\alpha = 90^\circ$ ,  $evB = \frac{mV^2}{R}$ , откуда следует, что  $R = \frac{mV}{eB}$

Таким образом, заряженная частица, попадая в магнитное поле, начинает двигаться по дуге окружности. При иных значениях  $\alpha \neq 0$  траектория движения частицы в магнитном поле приобретает форму спирали.



Наблюдать действие силы Лоренца можно с помощью электронно-лучевой трубки, которая есть во многих осциллографах (см.рис.). Если включить питание осциллографа, то на его экране можно увидеть светлое пятно, появившееся в месте падения электронов на экран. Если теперь сбоку поднести к трубке постоянный магнит, то пятно сместится, что подтверждает действие магнитного поля на движущиеся электроны.

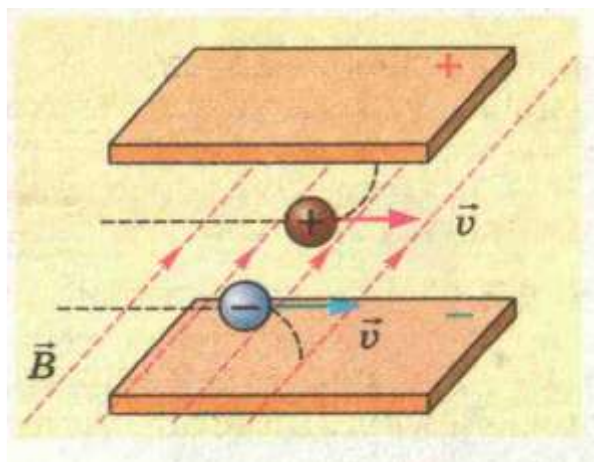
**Применение силы Лоренца.**

Действие силы Лоренца применяется во многих приборах и технических установках. Так, смещение электронного луча, который «рисует» изображение на экране вакуумного кинескопа телевизора или дисплея компьютера, совершается магнитным полем специальных катушек, в которых проходит электрический ток, изменяющийся во времени по определенному закону.

В научных исследованиях применяют так называемые циклические ускорители заряженных частиц, в них магнитное поле мощных электромагнитов удерживает заряженные частицы на круговых орбитах. Весьма перспективными для развития электроэнергетики являются магнитогидродинамические генераторы (МГД-генераторы) (см.рис.).

Поток высокотемпературного газа (плазмы), который образуется при сгорании органического топлива и имеет высокую концентрацию ионов обоих знаков, пропускается через магнитное поле.

Вследствие действия силы Лоренца ионы отклоняются от прежнего направления движения и оседают на специальных электродах, при этом разность потенциалов между электродами можно использовать для получения электрического тока.



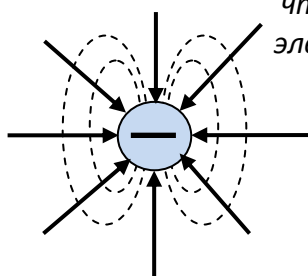
Такие установки в будущем могут существенно повысить КПД тепловых электростанций за счет выработки дополнительной электроэнергии при прохождении газов, которые после выхода из топки имеют довольно высокую температуру и высокую ионизацию, через МГД-генераторы.

## МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

**1. Магнитная проницаемость среды** – физическая величина, показывающая, во сколько раз индукция МП однородной среды  $B$  отличается от индукции МП в вакууме  $B_0$

$$\mu = \frac{B}{B_0}$$

**2. Гипотеза Ампера** – тела обладают магнитными свойствами вследствие того, что внутри молекул и атомов циркулируют элементарные электрические токи

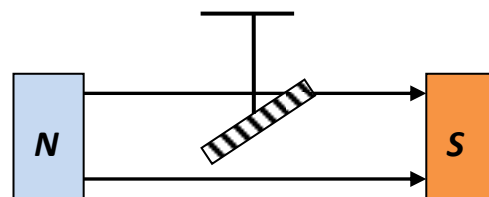


Электрон создаёт МП за счёт орбитального движения вокруг атомного ядра, а также вследствие «собственного вращения»

**3. Магнитные свойства вещества**

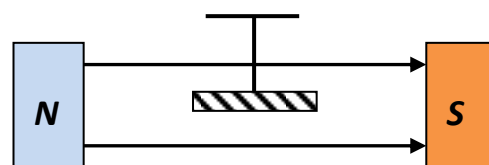
**1. Диамагнетики** –  $\mu < 1$  (свинец, цинк, азот и др.)

$$\mu_{\text{висмута}} = 0,9998$$



**2. Парамагнетики** –  $\mu > 1$  (кислород, никель и др.)

$$\mu_{\text{алюминия}} = 1,000023$$



**3. Ферромагнетики** –  $\mu \gg 1$  (железо, никель, кобальт, гадолиний)

$$\mu_{\text{железо}} = 8000$$

**Свойства ферромагнетиков ( А.Г.Столетов – первый исследовал)**

- а.  $\mu$  – зависит от индукции внешнего МП
- б. делятся – магнитомягкие (теряют намагниченность)  
- магнитожёсткие ( сохраняют намагниченность)
- в. температура, при которой исчезают магнитные свойства, наз. **точкой Кюри** ( $t_{\text{стали}} = 753^\circ\text{C}$ )

***Диамагнетики ослабляют поле,  
а парамагнетики и ферромагнетики - усиливают***

## Пояснения к ОК – 11.1.8

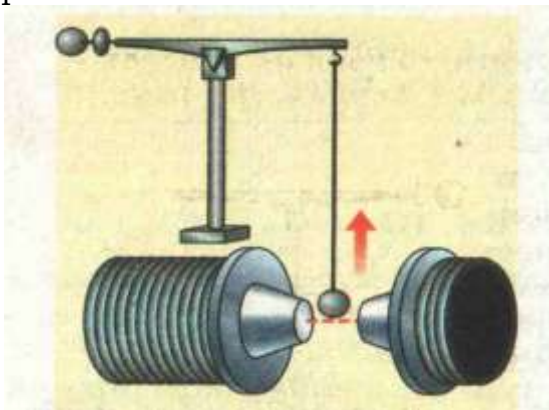
**Магнитные свойства вещества.**

Влияние вещества на магнитное поле описывает физическая величина, которая называется *магнитной проницаемостью*. Она определяется как отношение магнитной индукции в веществе  $\mathbf{B}$  к магнитной индукции вне вещества  $\mathbf{B}_0$ :

$$\mu = \frac{B}{B_0}$$

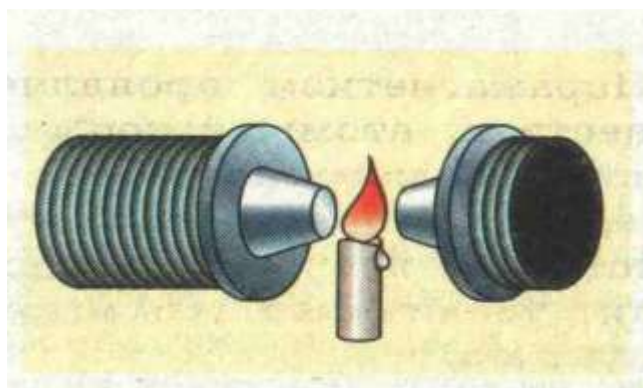
Магнитная проницаемость - величина безразмерная.

Многочисленные опыты показывают, что магнитное поле взаимодействует со всеми без исключения веществами, изменяя их физические и химические свойства. Проявления этого взаимодействия могут быть различными.



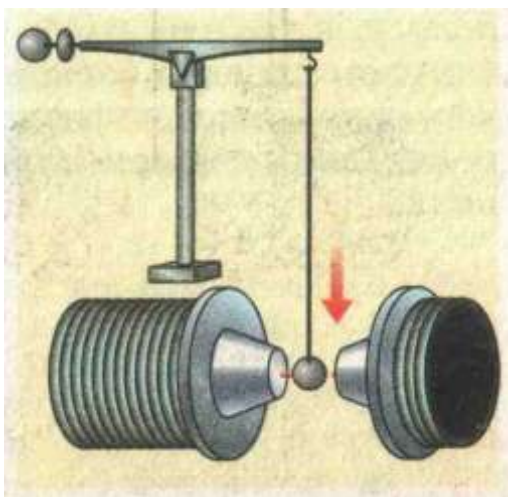
Возьмем мощный электромагнит с коническими полюсными наконечниками, расположим между полюсами висмутовый шарик, уравновешенный на небольших весах (см.рис.). При замыкании цепи питания электромагнита равновесие нарушится: шарик выйдет из магнитного поля.

Расположим горящую свечу так, чтобы ее пламя было между полюсами магнита. Замкнув цепь питания магнита, увидим, что пламя выталкивается из магнитного поля (см.рис.).



Описанные выше явления наблюдал еще в XIX в. М. Фарадей, который назвал их диамагнитными, а вещества, с которыми происходили такие явления, - *диамагнетиками*.

У диамагнетиков в отсутствии магнитного поля их атомы не имеют собственного магнитного момента. При помещении их в магнитное поле у атомов возникают магнитные моменты, ориентированные против внешнего поля. Поэтому диамагнетики ослабляют внешнее поле.  $\mu < 1$   
Вещества, у которых наблюдается диамагнитный эффект, называются *диамагнетиками*.



Если над полюсными наконечниками уравновесить на весах алюминиевый шарик, то при замыкании цепи питания он будет втягиваться в пространство между наконечниками, где индукция поля больше (см.рис.). Такие явления называют парамагнитными, а сами вещества - парамагнетиками. Для парамагнетиков  $B_{\text{п}} > B_0$ .

Для диамагнетика магнитная проницаемость несколько больше единицы.

Парамагнетизм проявляется в веществах, атомы которых, имея собственное поле, словно магнитные стрелочки, поворачиваются под действием внешнего магнитного поля, увеличивая его магнитную индукцию.

У парамагнетиков в отсутствие магнитного поля их атомы имеют собственные магнитные моменты, ориентированные хаотически. Поэтому суммарный магнитный момент в отсутствие внешнего поля равен нулю. При помещении их в магнитное поле магнитные моменты атомов ориентируются вдоль внешнего поля, усиливая его.  $\mu > 1$

Большинство веществ, принадлежат к диамагнетикам или парамагнетикам, являясь слабомагнитными веществами. Анализируя значения их магнитных проницаемостей, можно заметить, что она как у парамагнетиков, так и у диамагнетиков мало отличается от единицы. Поэтому диамагнетизм и парамагнетизм в большинстве случаев не влияют существенно на магнитные свойства среды.

Однако есть вещества, которые весьма заметно взаимодействуют с магнитным полем. Их называют ферромагнетиками.

Типичным признаком ферромагнетика является аномально большое значение магнитной проницаемости. Так, чистое железо после длительного отжига в атмосфере водорода имеет магнитную проницаемость до 340000. Это значит, что этот ферромагнетик усиливает магнитное поле в 340000 раз.

**Ферромагнетики после воздействия сохраняют свою намагниченность.**

Большая магнитная проницаемость ферромагнетиков объясняется особенностями их кристаллической структуры. Имея некоторые особенности в застройке электронных орбит, атомы ферромагнетика объединяются так, что все вещество делится на отдельные участки - домены.

**Домены** - это участки ферромагнетика, в которых атомы расположены упорядоченно. Такая область-домен напоминает маленький магнит. Он



имеет свое собственное поле как результат сложения магнитных полей всех атомов, которые входят в домен, он взаимодействует с внешним магнитным полем.

Магнитные поля всех доменов в не намагниченном ферромагнетике компенсируют друг друга. Если же ферромагнетик внести в магнитное поле внешнего источника, то произойдет перестройка доменов. При этом не только смещаются границы доменов, но и скачкообразно происходит изменение направления магнитной индукции каждого домена отдельно. Одни домены увеличиваются, другие - уменьшаются. Уменьшаются домены, магнитная индукция полей которых образует тупой угол с магнитной индукцией внешнего поля, а увеличиваются те, у которых этот угол острый или равен нулю. При определенном значении магнитной индукции внешнего магнитного поля в ферромагнетике появляется насыщение: все домены сливаются в один большой домен, магнитная индукция которого совпадает с направлением магнитной индукции внешнего поля. Таким образом, происходит большое усиление магнитного поля.

## ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

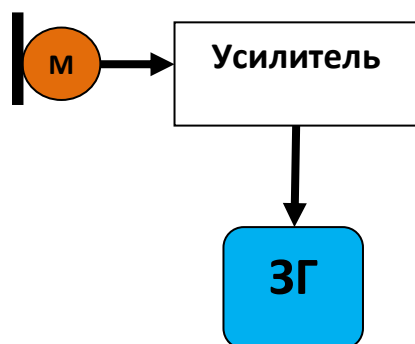
- роторы генераторов и электродвигателей,
- сердечник трансформаторов,
- микрофоны и громкоговорители,
- магнитные ленты и диски

### **Магнитная запись и воспроизведение звука**

Магнитная лента – на гибкую основу ( полихлорвинила) наносится магнитный лак

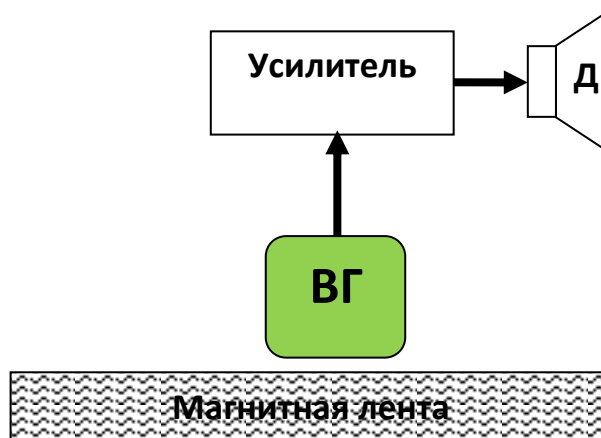
#### ЗАПИСЬ ЗВУКА

Магнитное поле электромагнита (записывающая головка) изменяется в такт со звуковыми колебаниями, происходит намагничивание плёнки



#### ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЗВУКА

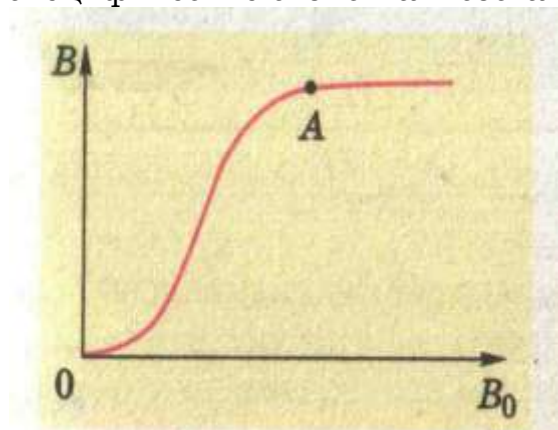
Намагниченная плёнка возбуждает в магнитной головке (воспроизводящая головка) электрические сигналы, которые после усиления поступают в динамик



## Пояснения к ОК – 11.1.9

**Применение ферромагнетиков.**

Многие специфические свойства ферромагнетиков являются производными от их кристаллической структуры. При внесении ферромагнетика в магнитное поле физические изменения в них происходят на уровне кристаллической решетки. Поэтому они имеют специфические свойства и составляют отдельный класс.

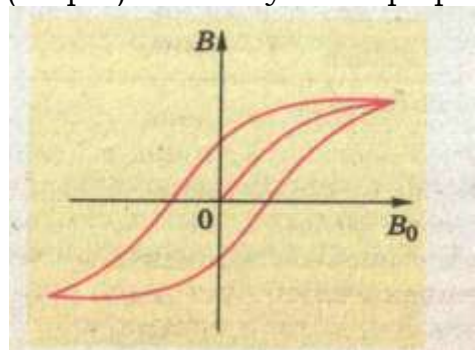


Типичным свойством ферромагнетиков является нелинейность процесса их намагничивания. Если ферромагнетик внести в магнитное поле и начать постепенно увеличивать магнитную индукцию этого поля, то магнитная индукция в ферромагнетике не будет увеличиваться пропорционально (см.рис.).

При постепенном увеличении магнитной индукции внешнего поля магнитная индукция в ферромагнетике сначала увеличивается медленно, потом - быстрее, а потом- снова возрастание уменьшается. При достижении состояния насыщения (точка **A**) магнитная индукция в ферромагнетике возрастает линейно.

Из такого сложного характера намагничивания можно сделать вывод, что *магнитная проницаемость ферромагнетиков не является постоянной величиной.*

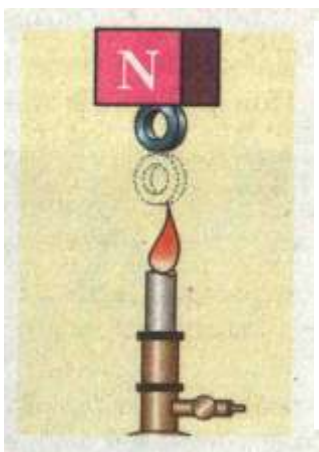
Для ферромагнетиков характерно свойство, называемое гистерезисом. Сущность его в том, что процессы намагничивания и размагничивания проходят не одинаково. Ферромагнетик, находившийся в магнитном поле, сохраняет определенную намагниченность даже тогда, когда это поле исчезло. При перемагничивании ферромагнетика в магнитном поле переменного тока график перемагничивания имеет сложный характер (см.ри.). Поэтому этот график называют **петлей гистерезиса.**



Форма петли гистерезиса для различных сортов стали бывает разной. Для многих сталей высота петли намного больше ширины. Такие материалы называют **магнитно мягкими.** Они быстро намагничиваются и размагничиваются. Поэтому применяются в электротехнических устройствах, работающих на переменном токе.

Если ширина петли гистерезиса соразмерна с высотой, то ферромагнетик называют *жестким.*

**Кристаллическая структура ферромагнетика зависит от температуры. Поэтому при изменении температуры изменяются и магнитные свойства ферромагнетика.**



В подтверждение этого поднесем к полюсу постоянного магнита никелевое кольцо. Поскольку никель ферромагнетик, то кольцо притянется к магниту и будет находиться некоторое время в этом состоянии (см.рис.). Если кольцо нагреть (например, от газовой горелки), то через некоторое время кольцо отпадет вследствие потери ферромагнитных свойств. Температуру, при которой исчезают ферромагнитные свойства, называют *точкой Кюри*. Значения точки Кюри у различных ферромагнетиков разные.

<b>Вещество</b>	<b>Точка Кюри, °С</b>
Железо	768
Никель	358
Кобальт	1120
Гадолиний	17

### **Применение магнитных свойств вещества.**

Во время взаимодействия вещества с магнитным полем изменяются не только магнитные, но и другие его свойства.

Одним из интересных примеров использования действия магнитного поля на вещество является «омагничивание» воды.

Под действием магнитного поля она приобретает новые свойства. Такая вода не оставляет накипи в нагревательных водяных котлах, что позволяет использовать её без дополнительной химической обработки. Бетон, замешанный на «омагниченной» воде, крепче, чем па обычной воде.

Явление усиления магнитного поля ферромагнетиками используется в различных электротехнических приборах: в электромагнитных кранах, в реле, в электродвигателях, в трансформаторах. Для этого используются специальные сорта стали.

Невозможно представить себе современную радиоэлектронику без элементов из искусственных материалов - ферритов. Изготавливают их из материалов, имеющих высокое удельное сопротивление, что важно для высокочастотной техники. Из них изготавливают сердечники катушек колебательных контуров, магнитных антенн и трансформаторов. Широкое распространение приобрели постоянные ферритовые магниты.

*Все результаты взаимодействия магнитного поля и вещества нашли применение в практике.*

**При взаимодействии с магнитным полем меняются не только магнитные, но и другие свойства вещества - механические, тепловые, оптические и даже химические. Все эти явления используются человеком.**

Магнитное поле лечит злокачественные опухоли, позволяет исследовать внутренние органы человека, проникать в тайны многих болезней человека.

С магнитным полем связана жизнь всех живых организмов на Земле. Ученые выяснили, что перелетные птицы ориентируются в полете и поиске своих постоянных мест гнездования по магнитному полю Земли.

**Магнитное поле охраняет жизнь на Земле от космических опасностей.**

На Землю из космоса поступает мощный поток быстрых частиц, которые в случае попадания в живой организм могут отрицательно воздействовать на него. Но в магнитном поле Земли на них действует сила Лоренца, защищающая жителей Земли от вредного влияния.

### **Магнитная запись и воспроизведение звука**

Магнитной записью называется способ записи информации путем изменения магнитного состояния носителя и создания в нем распределения намагниченности, соответствующего записываемому сигналу.

Магнитный способ записи и воспроизведения звука основан на свойстве некоторых материалов намагничиваться при помещении их в магнитное поле. Такие материалы получили название ферромагнитных (ферромагнетиков). Все ферромагнетики подразделяют на магнитомягкие и магнитожесткие. Магнитомягкие обладают свойством сохранять намагниченность длительное время после вынесения их из магнитного поля (гамма-окись железа, диоксид хрома и др.), поэтому их применяют при изготовлении звуконосителя магнитной ленты. Магнитомягкие ферромагнетики после воздействия внешнего магнитного поля намагниченность не сохраняют (пермаллой, феррит и др.), поэтому их используют для изготовления магнитных головок.

*Явление намагничивания и используется в магнитофонах.* Микрофон преобразует звуковой сигнал в электрический. Этот сигнал при помощи магнитной головки записывают на движущийся звукозаписывающий (магнитную ленту), рабочий слой которого состоит из частиц магнитомягкого ферромагнетика, в результате на ленте остается магнитный след. Полученную на звуконосителе запись называют фонограммой.

*Для воспроизведения записи* звукозаписывающий с фонограммой приводят в движение относительно воспроизводящей магнитной головки с такой же скоростью, как и при записи. Внешний магнитный поток ленты проходит через магнитную головку, индуцируя в ней ЭДС, представляющую собой записанный сигнал в электрической форме. Этот сигнал усиливают и направляют в громкоговоритель.

*Характерной особенностью* магнитного способа записи и воспроизведения является то, что магнитная запись не нуждается в обработке. Звук может быть воспроизведен сразу же или спустя любое время после записи.

*Прослушивание записанной информации* может быть осуществлено многократно без заметного ухудшения качества записи. Один и тот же звукозаписывающий при необходимости используют для новых записей, так как фонограмма легко "стирается" путем размагничивания звукозаписывающего при помощи стирающей магнитной головки, на которую подают переменный ток определенной силы, формы и частоты.

**Повторим теорию!****МАГНИТНОЕ ПОЛЕ**

- 1.Расскажите об опытах Эрстеда и Ампера.
- 2.Что называют магнитным полем? Каковы основные свойства магнитного поля?
- 3.Что называют вектором магнитной индукции?
- 4.Сформулируйте правило буравчика для прямого проводника.
- 5.Сформулируйте правило буравчика для соленоида.
- 6.Что такое вектор магнитной индукции?
- 7.Что такое линии магнитной индукции магнитного поля? Каковы их свойства?
- 8.Как определяют модуль вектора магнитной индукции? В каких единицах измеряется вектор магнитной индукции?
- 9.Что характеризует магнитный поток. По какой формуле можно вычислить? В каких единицах измеряется?
- 10.На что действует сила Ампера? Как вычислить силу Ампера?
- 11.Как определить направление силы Ампера?
- 12.На каком принципе основана работа электроизмерительных приборов? Используя рисунок, расскажите об устройстве этих приборов?
- 13.На что действует сила Лоренца? По какой формуле вычисляется сила Лоренца?
- 14.Как определить направление силы Лоренца?
- 15.Как движется заряженная частица, если её скорость перпендикулярна магнитной индукции? Как рассчитать радиус окружности и период обращения?
16. Как движется заряженная частица, если её скорость не перпендикулярна магнитной индукции?
- 17.Приведите примеры практического использования силы Лоренца.
- 18.Что называют магнитной проницаемостью среды?
- 19.В чём сущность гипотезы Ампера?
- 20.Какие вещества называют диамагнетиками? Приведите примеры.
21. Какие вещества называют парамагнетиками? Приведите примеры.
22. Какие вещества называют ферромагнетиками? Приведите примеры. Какими свойствами они обладают?
- 23.Приведите примеры использования ферромагнетиков.
24. Как осуществляется запись и воспроизведение звука на магнитной ленте?