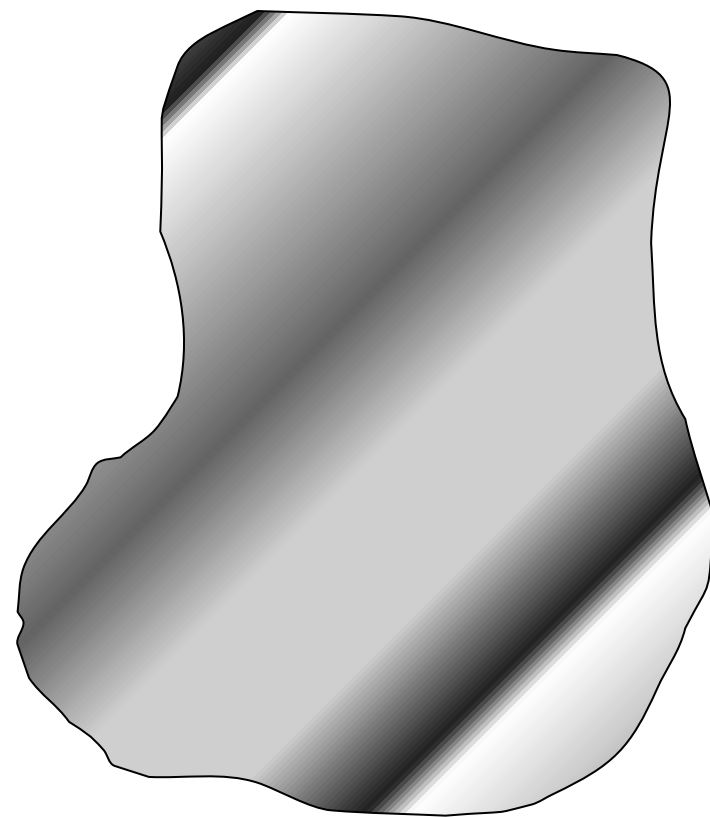


# III. Магнитное поле



Слово «магнит»  
произошло от  
названия города  
Магнессии (теперь  
это город Маниса в  
Турции).

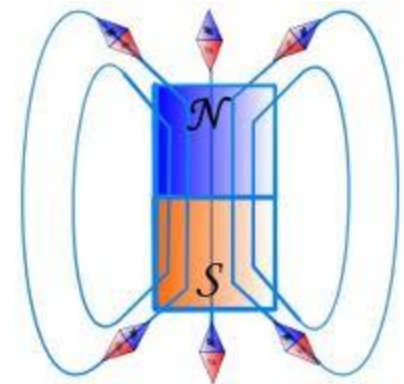


«камень Геркулеса». «любящий камень»,  
«мудрое железо», и «царственный камень»

1

# Магнитное поле

**это особый вид материи, невидимый и неосязаемый для человека, существующий независимо от нашего сознания. Еще в древности ученые-мыслители догадывались, что вокруг магнита что-то существует.**



# 1) Магнитное поле

- силовое поле в пространстве, окружающем электрические токи и постоянные магниты
- создаётся движущимися зарядами!
- действует на движущиеся заряды!

## 2) Магнитные взаимодействия

- это взаимодействия между проводниками с электрическим током



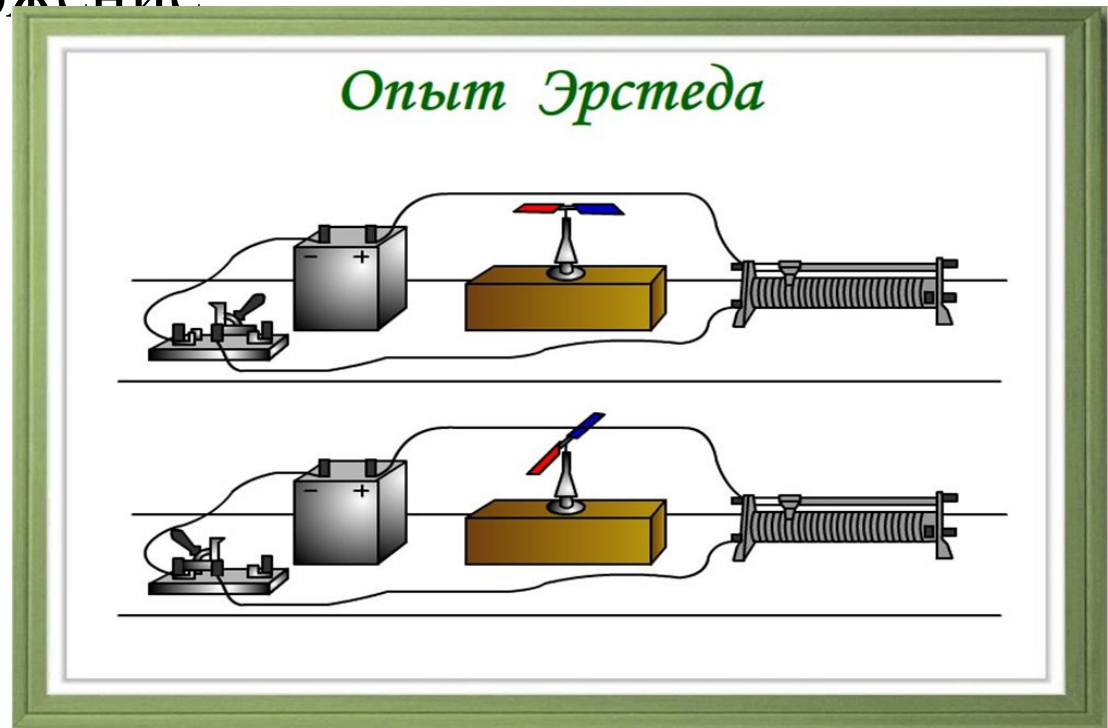
Магнитные силы- это силы, с которыми проводники действуют друг на друга

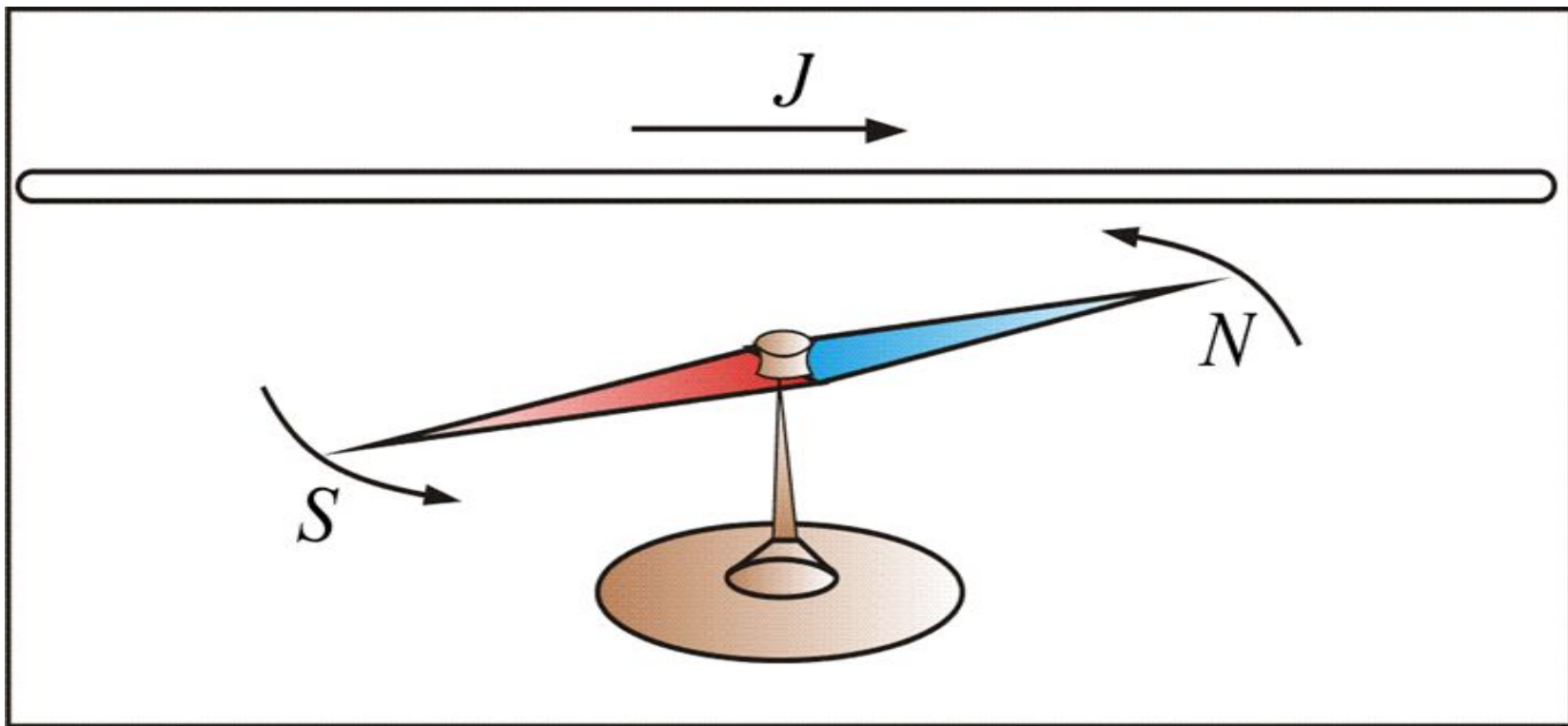
# Опыт Эрстеда (1820г.)

показывает, как взаимодействует проводник с током и магнитная стрелка. При замыкании электрической цепи магнитная стрелка **отклоняется** от своего первоначального положения, при размыкании цепи магнитная стрелка возвращается в свое первоначальное положение.



Профессор Г.Х. Эрстед  
(Дания) при проведении  
опыта





Магнитная стрелка ориентируется около проводника. Вокруг проводника с током существует магнитное поле



# Магнитная стрелка

**Это устройство, необходимое при изучении магнитного действия электрического тока. Она представляет из себя маленький магнит, установленный на острие иглы, имеет два полюса: северный и южный. Магнитная стрелка может свободно вращаться на кончике иглы. Северный конец магнитной стрелки всегда показывает на "север".**



### 3) Вектор магнитной индукции

- это векторная физическая величина, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля

Обозначение -  $B$

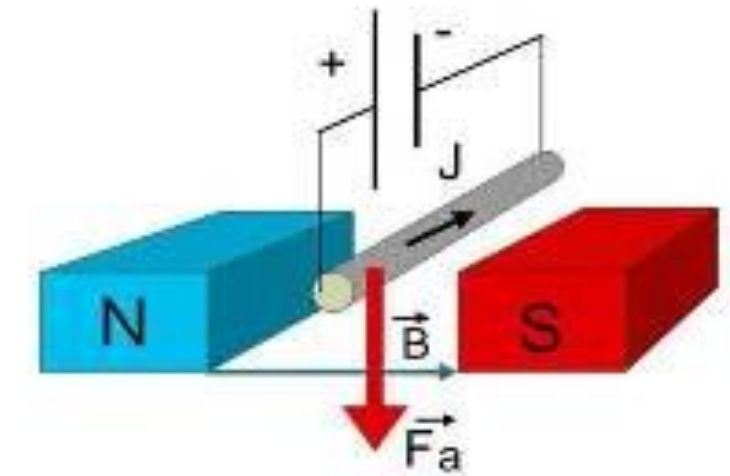
Единица измерения - 1Тл (Тесла)

$$B = \frac{M}{IS}$$

$M$ -вращающий момент

$I$ - сила тока

$S$  – площадь рамки



# Задачи

1. Максимальный вращающий момент, действующий на рамку площадью  $1 \text{ см}^2$ , находящуюся в магнитном поле, равен  $2 \text{ мкН}\cdot\text{м}$ . Сила тока в рамке  $0,5 \text{ А}$ . Найти индукцию магнитного поля.

2. Рамка площадью  $400 \text{ см}^2$  помещена в однородное магнитное поле индукцией  $0,1 \text{ Тл}$  так, что нормаль к рамке перпендикулярна линиям индукции. При какой силе тока на рамку будет действовать вращающий момент  $20 \text{ мН}\cdot\text{м}$

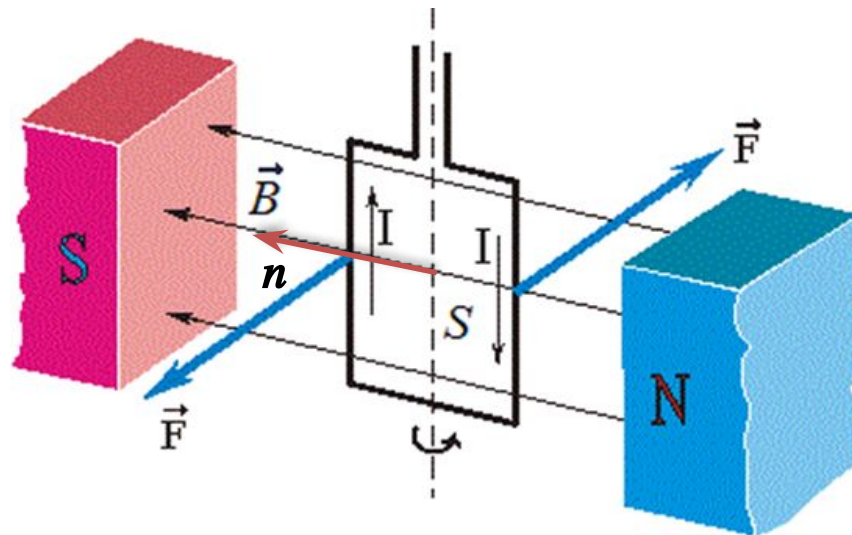
3. Плоская прямоугольная катушка из 200 витков со сторонами 10 и 5 см находится в однородном магнитном поле индукцией 0,05 Тл. Какой максимальный вращающий момент может действовать на катушку в этом поле, если сила тока в катушке 2А ?

4. Из проволоки длиной 8 см сделаны контуры: а) квадратный; б) круговой. Найти максимальный вращающий момент, действующий на каждый контур, помещённый в магнитное поле индукцией 0,2 Тл при силе тока в контуре 4 А.

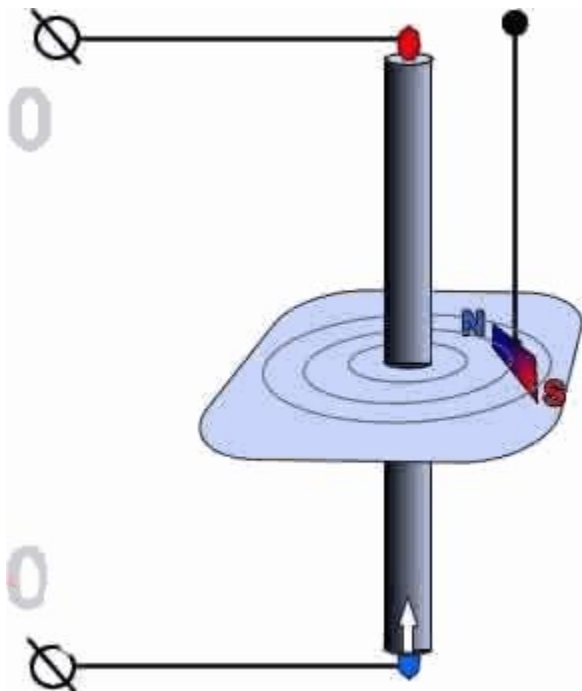
# Направление вектора магнитной индукции

Направление вектора  $\vec{B}$  совпадает:

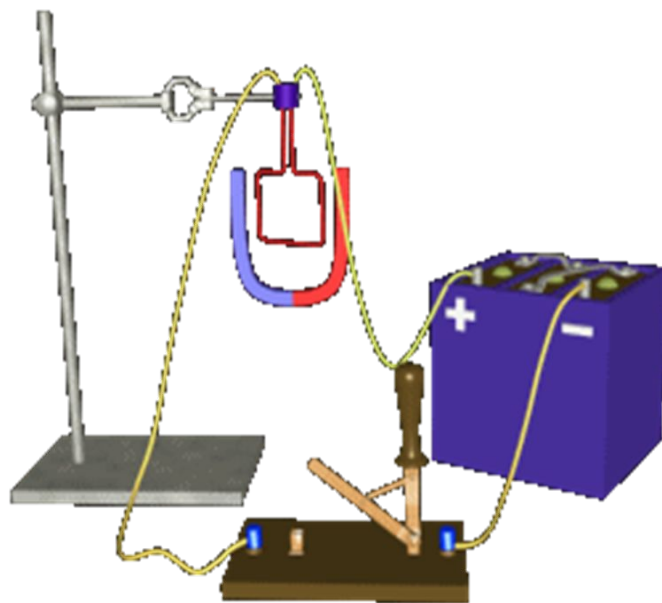
- а) с направлением северного (**N**) конца магнитной стрелки, ориентированной в магнитном поле
- б) с направлением нормали  $n$  к рамке с током в соответствии с **правилом буравчика**



# Правило буравчика



# Ориентирующее действие рамки



## 4) Принцип суперпозиции

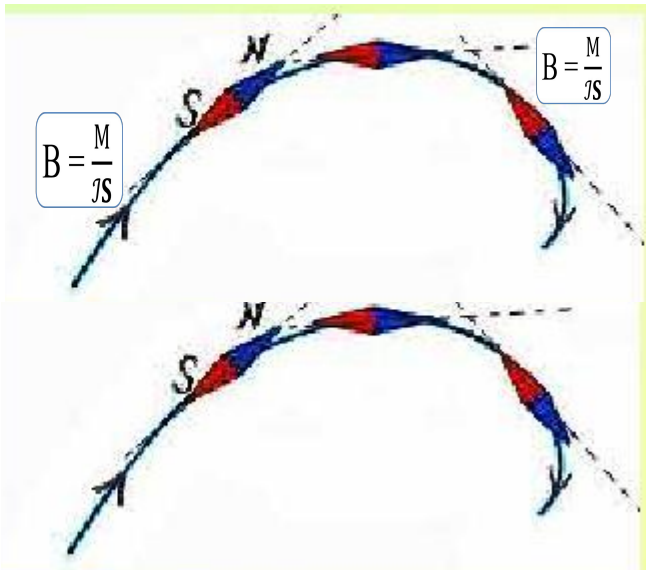
$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$$

$\vec{B}$  - вектор магнитной индукции  
резльтирующего магнитного поля

$\vec{B}_1, \vec{B}_2, \dots, \vec{B}_n$  - вектор магнитных индукций  
всех магнитных полей

2 Графическое изображение магнитных полей

$$\mathbf{B} = \frac{\mathbf{M}}{\mathcal{I}S}$$



$$\mathbf{B} = \frac{\mathbf{M}}{\mathcal{I}S}$$

# ③ Магнитный поток

- скалярная физическая величина, определяющая число линий магнитной индукции, проходящихся нормально (перпендикулярно) на данную площадь пространства

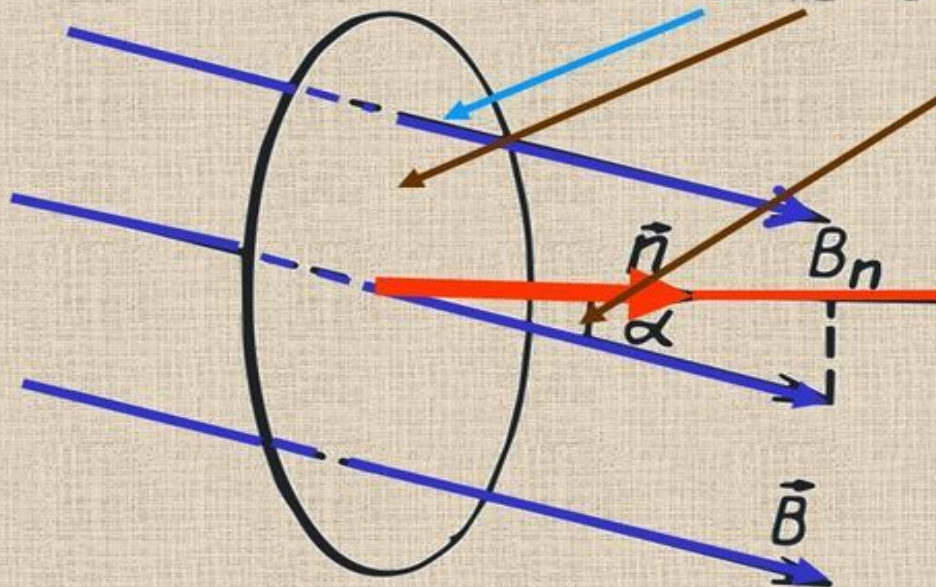
Обозначение -  $\Phi$

Единица измерения – 1 Вб (Вебер)



## Магнитный поток

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



$$\vec{B} = \frac{\vec{M}}{\mu_0 \mu S}$$

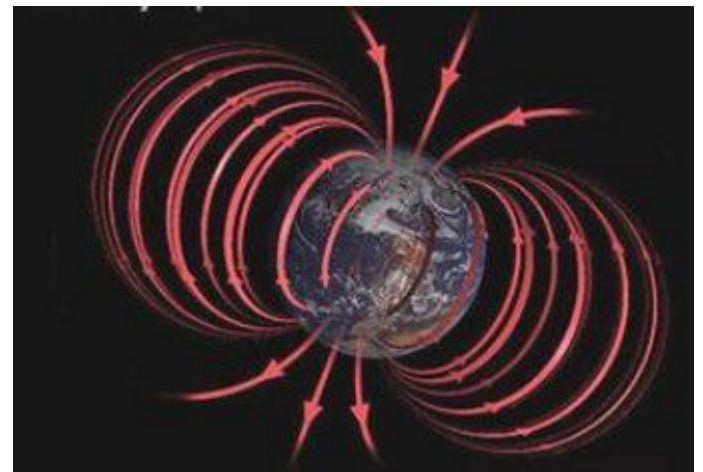
$\vec{n}$  — нормаль к поверхности (вектор, модуль которого равен единице)

## Задачи.

1. Магнитный поток внутри контура, площадь поперечного сечения которого  $60 \text{ см}^2$ , равен  $0,3 \text{ мВб}$ . Найти индукцию поля внутри контура.
2. Какой магнитный поток пронизывает плоскую поверхность площадью  $50 \text{ см}^2$  при индукции поля  $0,4 \text{ Тл}$ , если эта поверхность:
  - а) перпендикулярна вектору индукции поля;
  - б) расположена под углом  $45^\circ$  к вектору индукции;
  - в) расположена под углом  $30^\circ$  к вектору индукции?

## ④ Энергетическая характеристика поля

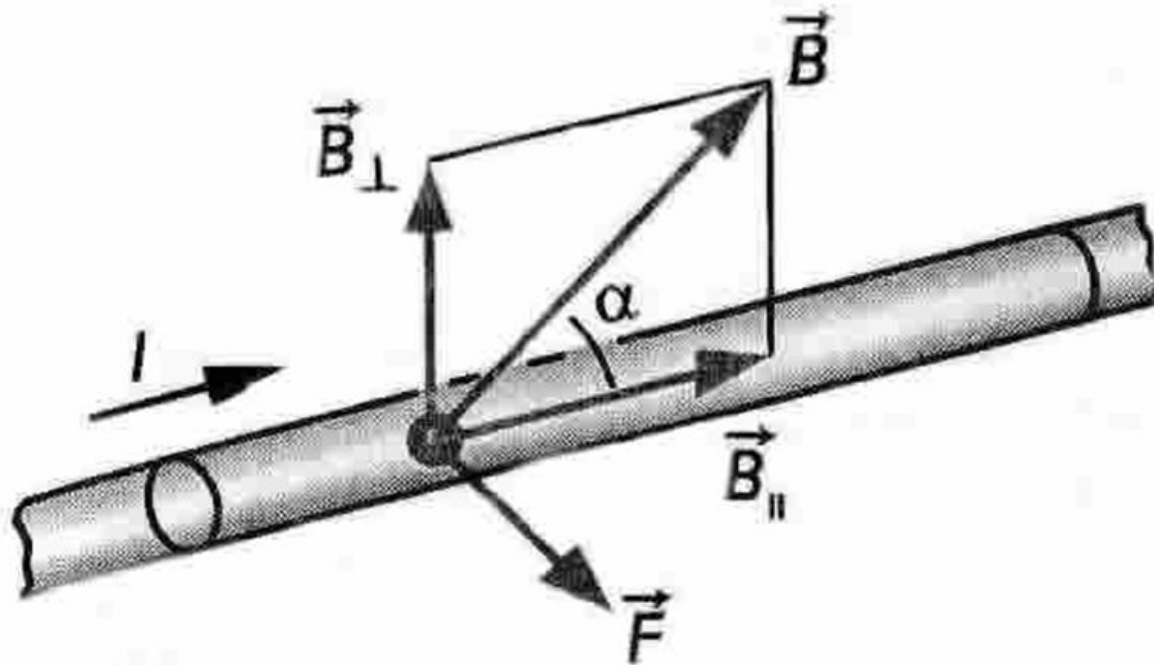
Работа по замкнутому контуру не равна нулю. Значит, магнитное поле не потенциально (не связано с частицами вещества)



5

# Магнитные силы

$$B = \frac{M}{\tau S}$$



$$\mathbf{B} = \frac{\mathbf{M}}{\mathcal{I}S}$$

$$\mathbf{B} = \frac{\mathbf{M}}{\mathcal{I}S}$$

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

- $B$  – модуль вектора магнитной индукции поля
- $F_{max}$  – максимальная сила, действующая  
на отрезок проводника со стороны поля
- $I$  – сила тока в проводнике
- $\Delta l$  – длина прямолинейного отрезка

$$B = \frac{M}{IS}$$

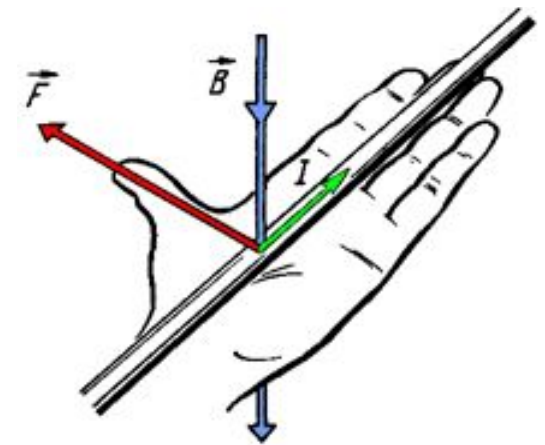
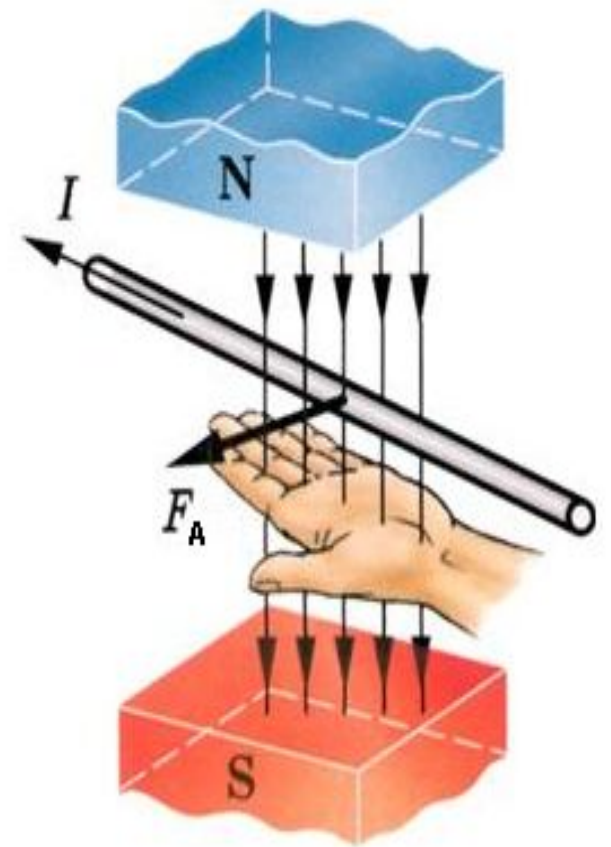
3. Какова индукция магнитного поля, в котором на проводник с длиной активной части 5 см действует сила 50 мН? Сила тока в проводнике 25 А. Проводник расположен перпендикулярно вектору индукции магнитного поля.

4. С какой силой действует магнитное поле индукцией 10 мТл на проводник, в котором сила тока 50 А, если длина активной части проводника 0,1 м? Линии индукции поля и ток взаимно перпендикулярны.

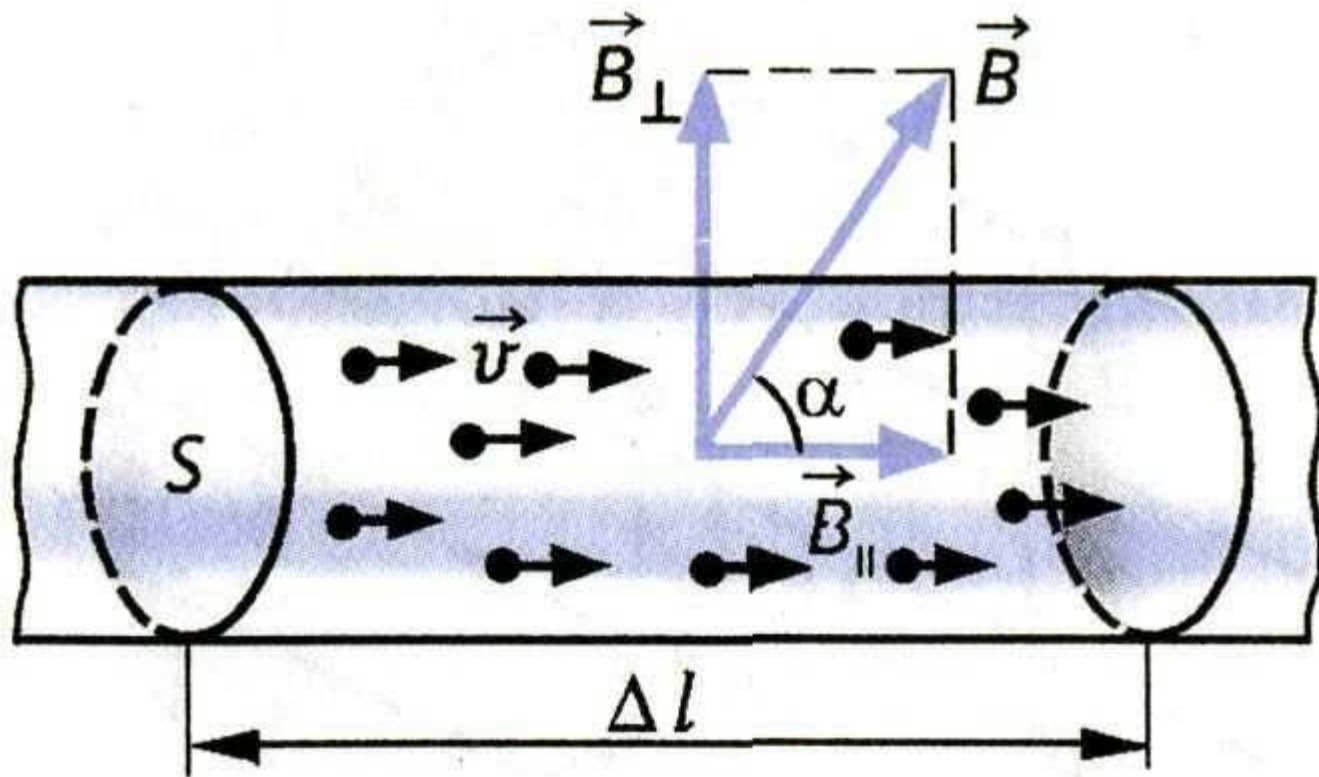


## Направление силы Ампера

определяется по **правилу левой руки**: если левую руку расположить так, чтобы перпендикулярная составляющая вектора магнитной индукции  **$B$**  входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по направлению тока, то отогнутый на 90 градусов большой палец покажет направление силы, действующей на отрезок проводника с током, то есть силы Ампера.



$$\mathbf{B} = \frac{\mathbf{M}}{\mathcal{J}S}$$



**Сила Лоренца** определяется соотношением:

$$\mathbf{F}_л = q \cdot \mathbf{V} \cdot \mathbf{B} \cdot \sin\alpha$$

**q** - величина движущегося заряда (Кл);

**V** - скорость заряда (м/с);

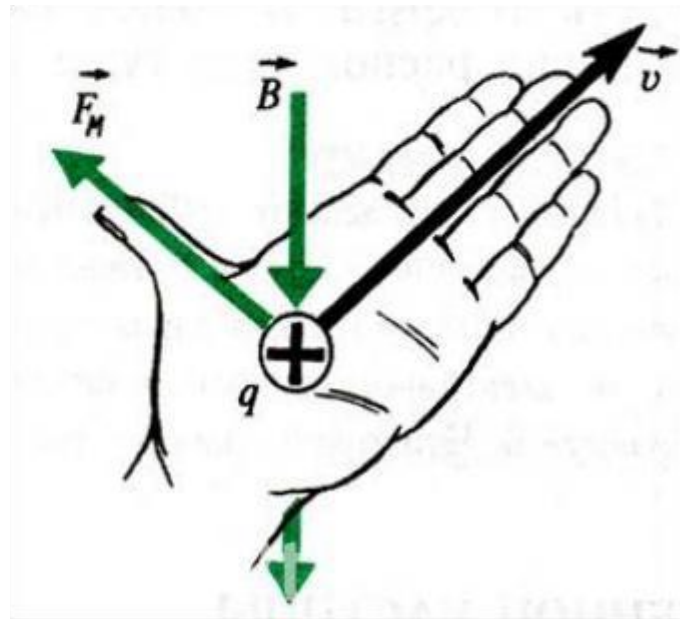
**B** - модуль вектора индукции магнитного поля (Тл);

**α** - угол между вектором скорости заряда и вектором магнитной индукции.

$$\left[ \mathbf{B} = \frac{\mathbf{M}}{r\epsilon} \right]$$

1. Какая сила действует на протон, движущийся со скоростью  $10 \text{ Мм/с}$  в магнитном поле индукцией  $0,2 \text{ Тл}$  перпендикулярно линиям индукции?
2. В направлении, перпендикулярном линиям индукции влетает в магнитное поле электрон со скоростью  $10 \text{ Мм/с}$ . Найти индукцию поля, если электрон описал в поле окружность радиусом  $1 \text{ см}$ .
3. Протон в магнитном поле индукцией  $0,01 \text{ Тл}$  описал окружность радиусом  $10 \text{ см}$ . Найти скорость проводника.
4. В однородное магнитное поле индукцией  $B=10 \text{ мТл}$  перпендикулярно линиям индукцией вылетает электрон с кинетической энергией  $W_k = 30 \text{ кэВ}$ . Каков радиус кривизны траектории движения электрона в поле?

**Направление силы Лоренца определяется по правилу левой руки:** если левую руку расположить так, чтобы составляющая магнитной индукции  $B$ , перпендикулярная скорости заряда, **входила в ладонь**, а четыре пальца были направлены по движению положительного заряда (против движения отрицательного), то отогнутый на 90 градусов большой палец покажет направление действующей на заряд силы Лоренца ( $F_L$ ).



6

## Движение заряженных частиц в магнитном поле

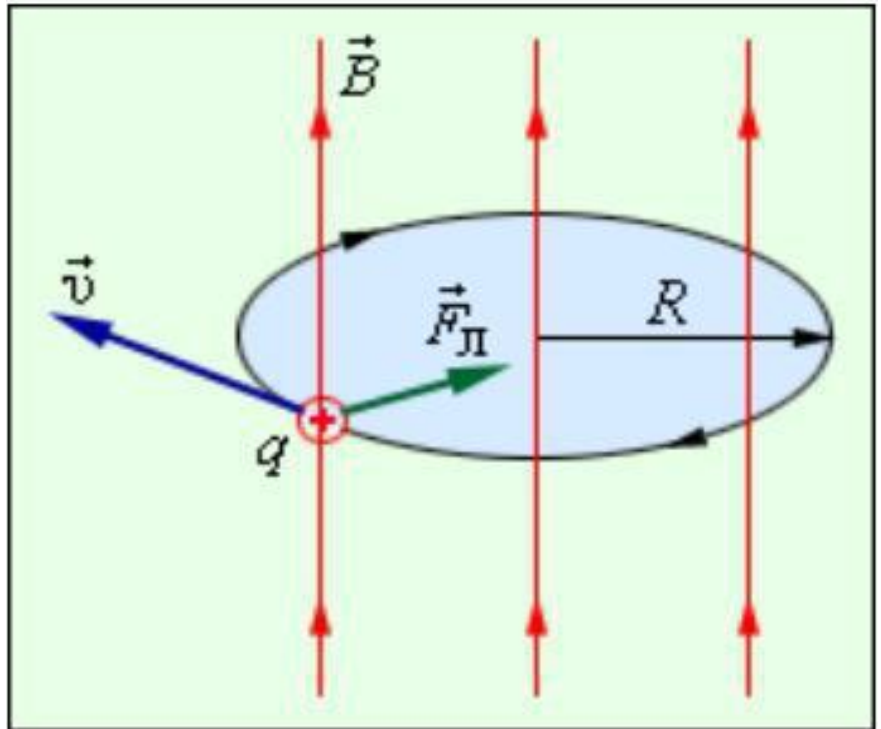
$$a = \frac{F}{m} = \frac{qBv}{m}$$

$$a = \frac{v^2}{r}$$

$$\frac{qBv}{m} = \frac{v^2}{r}$$

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

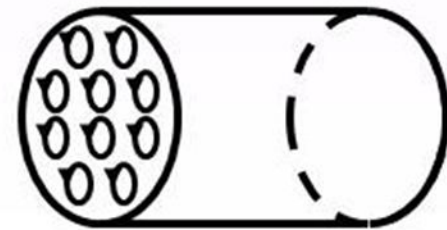
$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$



Круговое движение заряженной частицы в однородном магнитном поле.

# 7 Магнитные свойства вещества

**Гипотеза Ампера** - магнитные свойства тела можно объяснить циркулирующими внутри него токами.



*К ферромагнитным* материалам относят железо, кобальт, никель и их сплавы. Они обладают высокой магнитной проницаемостью, в тысячи и даже десятки тысяч раз большей магнитной проницаемости неферромагнитных веществ, и хорошо притягиваются к магнитам и электромагнитам.

*К парамагнитным* материалам относят алюминий, олово, хром, марганец, платину, вольфрам, растворы солей железа и др. Относительная магнитная проницаемость у них несколько больше единицы. Парамагнитные материалы притягиваются к магнитам и электромагнитам в тысячи раз слабее, чем ферромагнитные материалы.

*Диамagnetные* материалы к магнитам не притягиваются, а, наоборот, отталкиваются. К ним относят медь, серебро, золото, свинец, цинк, смолу, воду, большую часть газов, воздух и пр. Относительная магнитная проницаемость у них несколько меньше единицы.



Физическая величина, показывающая, во сколько раз индукция магнитного поля в одной среде больше или меньше индукции магнитного поля в вакууме, называется магнитной проницаемостью  $\mu$ .

$$\mu = B/B_0$$