

## Магнитное поле

Уже в VI в. до н.э. в Китае было известно, что некоторые руды обладают способностью притягиваться друг к другу и притягивать железные предметы. Куски таких руд были найдены возле города Магнесии в Малой Азии, поэтому они получили название магнитов.



Посредством чего взаимодействуют магнит и железные предметы? Вспомним, почему притягиваются наэлектризованные тела? Потому что около электрического заряда образуется своеобразная форма материи - электрическое поле. Вокруг магнита существует подобная форма материи, но имеет другую природу происхождения (ведь руда электрически нейтральна), ее называют магнитным полем.

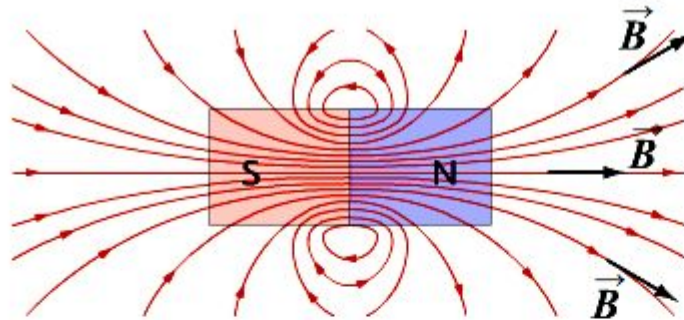
Для изучения магнитного поля используют прямой или подковообразный магниты. Определенные места магнита обладают наибольшим притягивающим действием, их называют полюсами (северный и южный). Разноименные магнитные полюса притягиваются, а одноименные - отталкиваются.

Для изучения магнитного поля используют прямой или подковообразный магниты.

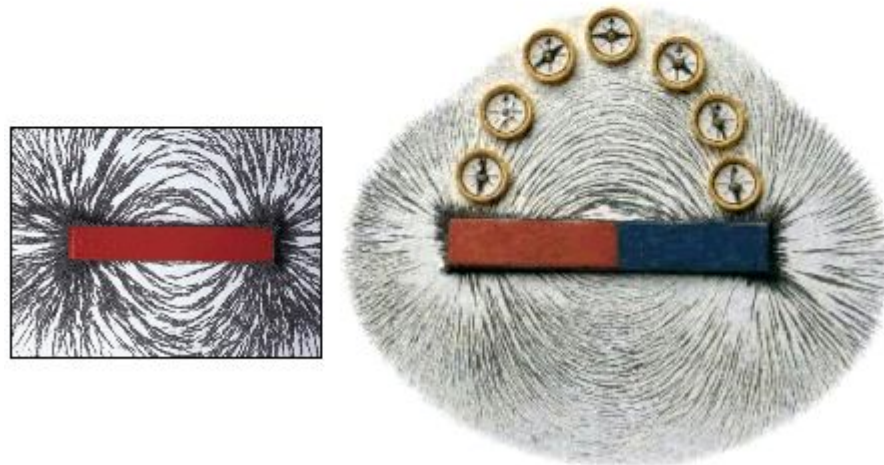
Определенные места магнита обладают наибольшим притягивающим действием, их называют **полюсами (северный и южный)**. Разноименные магнитные полюса притягиваются, а одноименные - отталкиваются.

Для силовой характеристики магнитного поля используют **вектор индукции магнитного поля  $\vec{B}$** .

Магнитное поле графически изображают при помощи силовых линий (линии магнитной индукции). Линии являются замкнутыми, не имеют ни начала, ни конца. Место, из которого выходят магнитные линии - северный полюс (North), входят магнитные линии в южный полюс (South).



Магнитное поле можно сделать "видимым" с помощью железных опилок.



# Магнитное поле проводника с током

А теперь о том, что обнаружили Ханс Кристиан Эрстед и Андре Мари Ампер в 1820 г.

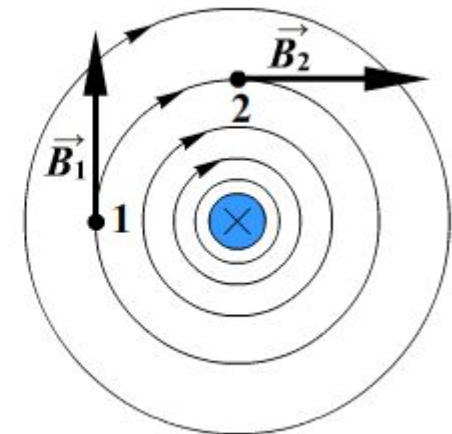
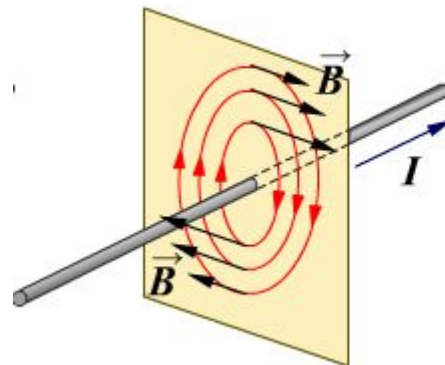
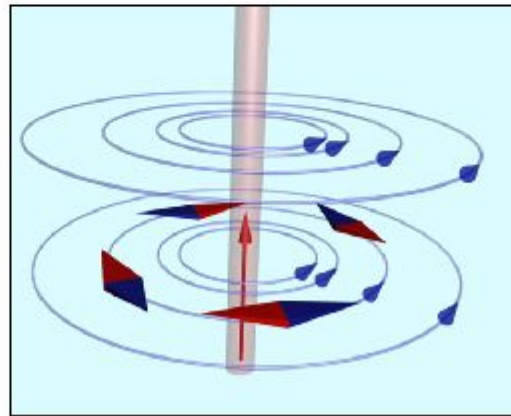
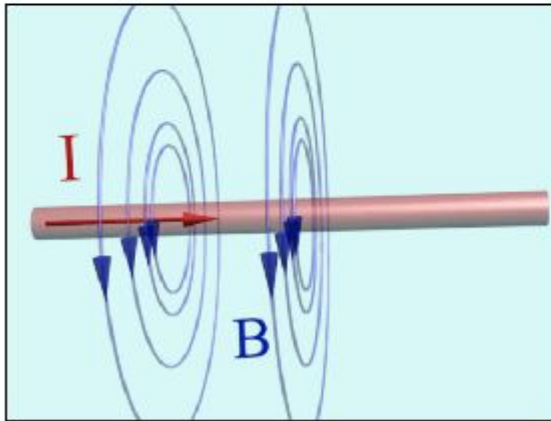
Оказывается, магнитное поле существует не только вокруг магнита, но и любого проводника с током.

Любой провод, например, шнур от лампы, по которому протекает электрический ток, является магнитом!

Провод с током взаимодействует с магнитом (попробуйте поднести к нему компас),

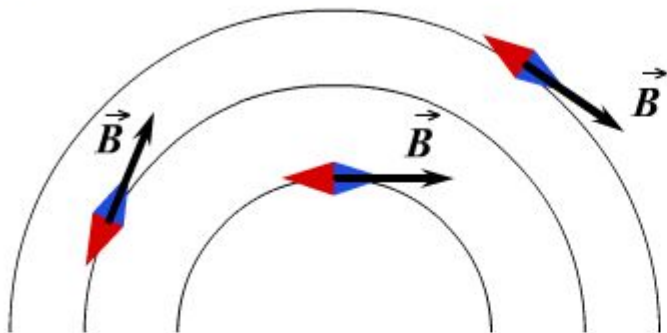
два провода с током взаимодействуют друг с другом.

Силовые линии магнитного поля прямого тока - это окружности вокруг проводника:

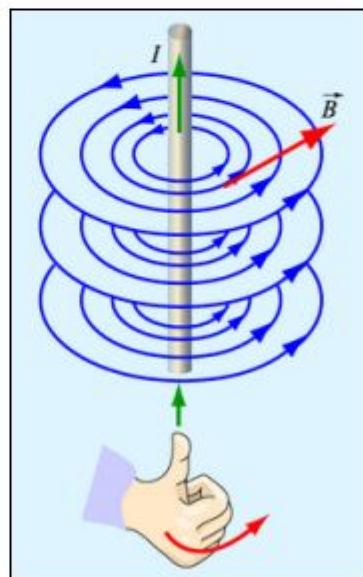
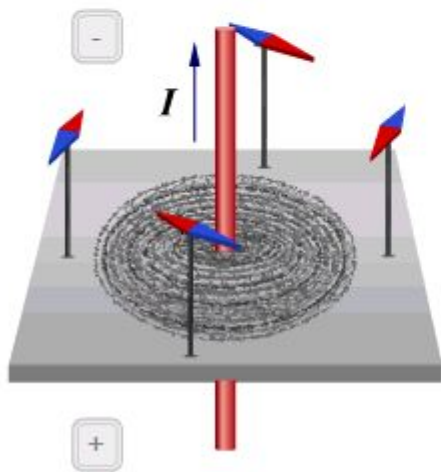


## Направление вектора магнитной индукции

Направление магнитного поля в данной точке можно определить как направление, которое указывает северный полюс стрелки компаса, помещенного в эту точку.

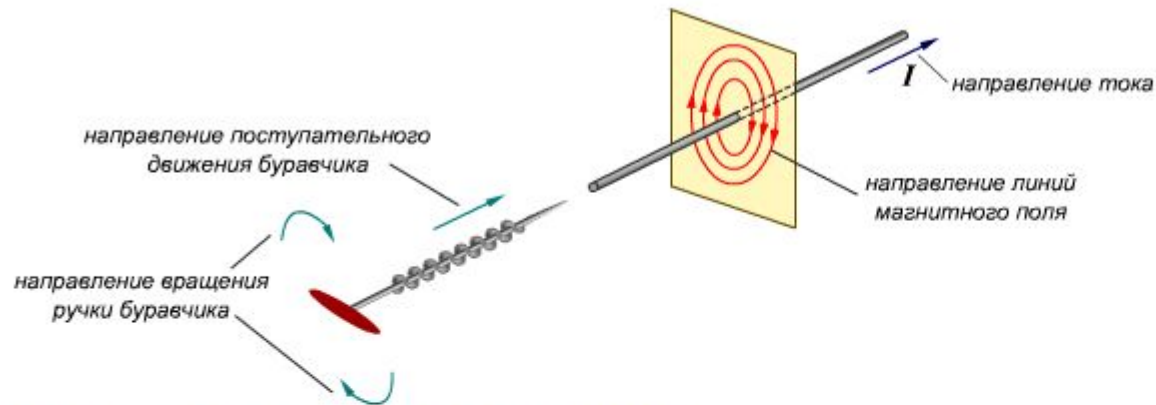


Направление линий магнитной индукции зависит от направления тока в проводнике.



Определяется направление вектора индукции по правилу буравчика или правилу правой руки.

Определяется направление вектора индукции по правилу буравчика или правилу правой руки.



## Вектор магнитной индукции

Это **векторная величина**, характеризующая силовое действие поля.

$$\vec{B} = \frac{\vec{F}}{Il}$$

$\vec{B}$  – вектор индукции магнитного поля

$\vec{F}$  – сила магнитного поля

$I$  – сила тока в проводнике

$l$  – длина проводника

$[B] = 1 \text{Тл}$  (Тесла)

$[F] = 1 \text{Н}$

$[I] = 1 \text{А}$

$[l] = 1 \text{м}$

Индукция магнитного поля бесконечного прямолинейного проводника с током на расстоянии  $r$  от него:

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

$\vec{B}$  – вектор индукции магнитного поля

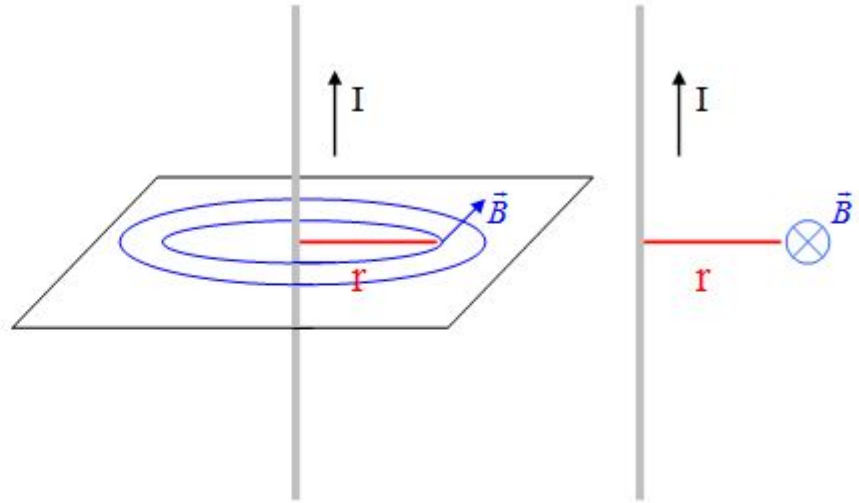
$\mu_0$  – магнитная постоянная  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}}$

$I$  – сила тока в проводнике

$r$  – расстояние до проводника

$[B] = 1\text{Тл}$      $[I] = 1\text{А}$      $[r] = 1\text{м}$

$\pi = 3,14$      $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}}$



Индукция магнитного поля в центре тонкого кругового витка радиуса  $r$ :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2r}$$

$\vec{B}$  – вектор индукции магнитного поля

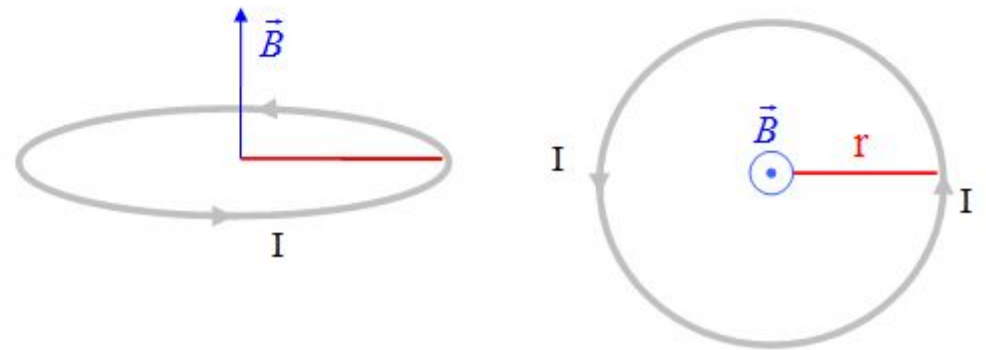
$\mu_0$  – магнитная постоянная  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}}$

$I$  – сила тока в проводнике

$r$  – радиус кругового витка

$[B] = 1\text{Тл}$      $[I] = 1\text{А}$      $[r] = 1\text{м}$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}}$



Индукция магнитного поля соленоида (катушка, витки которой последовательно обходятся током в одном направлении):

$\vec{B}$  – вектор индукции магнитного поля

$\mu_0$  – магнитная постоянная  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}}$

$I$  – сила тока в проводнике

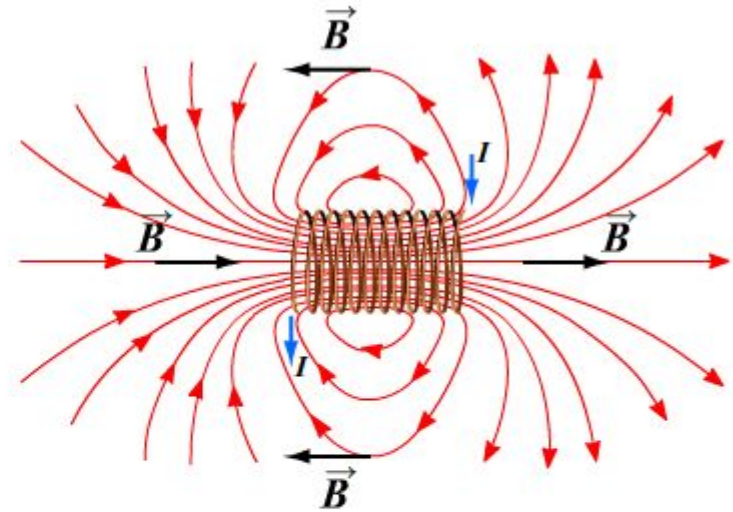
$n$  – число витков соленоида

$l$  – длина соленоида

$[B] = 1\text{Тл}$        $[I] = 1\text{А}$        $[l] = 1\text{м}$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}}$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 n I}{l}$$



## Принцип суперпозиции

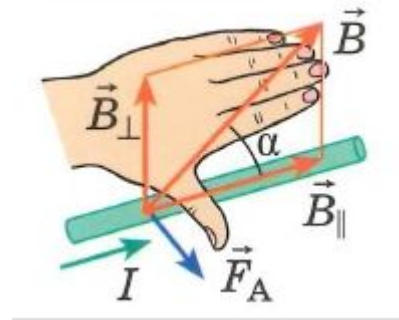
Если магнитное поле в данной точке пространства создается несколькими источниками поля, то магнитная индукция - векторная сумма индукций каждого из полей в отдельности

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

- **Сила Ампера:** это сила, действующая на проводник с током, помещенный в магнитное поле
- **Закон Ампера:** сила Ампера равна произведению модуля вектора магнитной индукции на силу тока, длину участка проводника  $\Delta l$  и на синус угла  $\alpha$  между магнитной индукцией и участком проводника:

$$F_A = B |I| \Delta l \sin \alpha$$

- при этом, очевидно, что если ток (проводник) перпендикулярен вектору магнитной индукции, то  $\sin \alpha = 1$ , и формула принимает вид:  $F_A = B |I| \Delta L \sin \alpha$



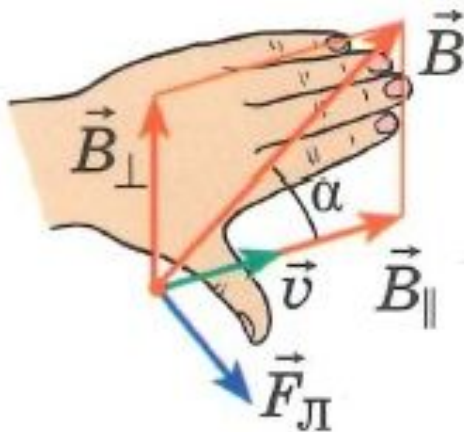
- **Правило левой руки:** если левую руку расположить так, чтобы перпендикулярная к проводнику составляющая вектора  $B$  входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по направлению движения тока, то отогнутый на  $90^\circ$  большой палец покажет направление силы, действующей на отрезок проводника



• **Сила Лоренца:** это сила, действующая на движущуюся заряженную частицу со стороны магнитного поля:

$$F_{\text{Л}} = |q| v B \sin \alpha$$

- при этом, очевидно, что если скорость частицы перпендикулярна вектору магнитной индукции, то  $\sin \alpha = 1$ , и формула принимает вид:  $F_{\text{Л}} = |q| v B$



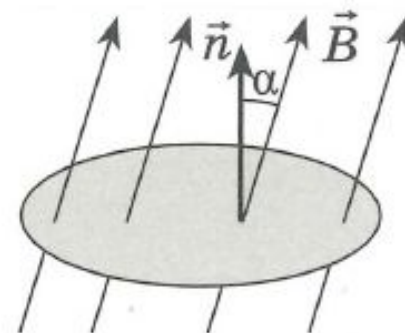
• **Правило левой руки:** если левую руку расположить так, чтобы составляющая вектора  $B$  перпендикулярная скорости заряда входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по движению положительного заряда (= против движения отрицательного заряда), то отогнутый на  $90^\circ$  большой палец покажет направление действующей заряд силы Лоренца

## Явление электромагнитной индукции, магнитный поток, поток магнитной индукции:

- **Электромагнитная индукция:** это явление возникновения электрического тока в проводящем контуре, который либо покоится в переменном магнитном поле, либо движется в постоянном магнитном поле таким образом, что число линий магнитной индукции, пронизывающих контур, меняется
- **Магнитный поток (=поток магнитной индукции) [Вб]:** через поверхность площадью  $S$  это величина равная произведению модуля вектора магнитной индукции  $B$  на площадь и косинус угла между вектором  $B$  и нормалью к плоскости  $S$ :

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

- при этом, очевидно, что если магнитная индукция перпендикулярна плоскости, то  $\cos \alpha = 1$ , и формула принимает вид:
  - $\Phi = BS$



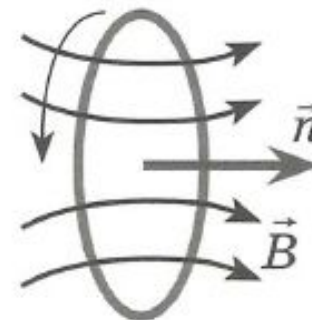
## Правило Ленца:

- Возникающий в замкнутом контуре индукционный ток своим магнитным полем противодействует тому изменению магнитного поля, которым он вызван.

## Закон электромагнитной индукции:

- ЭДС индукции в замкнутом контуре равна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком "-"

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



### Самоиндукция:

- Самоиндукция это частный случай электромагнитной индукции, при котором изменяющееся магнитное поле индуцирует ЭДС в том самом проводнике, по которому течет ток, создающий это поле:

◦  $\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ , где  $L$  - индуктивность

### Энергия магнитного поля тока:

- **Энергия магнитного поля тока:** Энергия магнитного поля тока равна работе, которую должен совершить источник, чтобы создать данный ток

◦  $W_M = \frac{LI^2}{2}$

Сила Ампера, действующая на сторону рамки длиной  $l$ , равна:

$$F_1 = IlB ; \text{здесь } (\vec{B} \perp \vec{l}).$$

На другую сторону длиной  $l$  действует такая же сила. Получается «пара сил», или вращающий момент.

$$M = F_1 h = IlBb \sin \alpha ,$$

где плечо  $h = b \sin \alpha$ . Так как  $lb = S$  - площадь рамки, тогда можно записать

$$M = IBS \sin \alpha = P_m B \sin \alpha ,$$

где  $M$  - вращающий момент силы,  $P_m$  - магнитный момент.

С какой силой действует магнитное поле с 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.

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

Проводник с током  $5 \text{ A}$  находится в магнитном поле с индукцией  $10 \text{ Тл}$ .  
Определить длину проводника, если магнитное поле действует на него с силой  $20 \text{ Н}$   
и перпендикулярно проводнику.

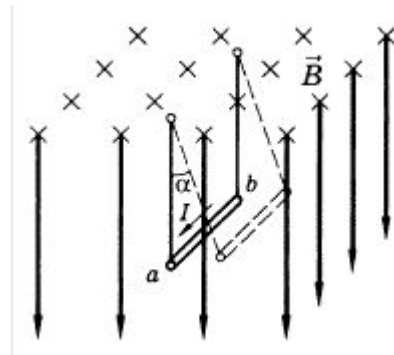
Проводник длиной  $0,15$  м перпендикулярен вектору магнитной индукции однородного магнитного поля, модуль которого  $B=0,4$  Тл. Сила тока в проводнике  $8$  А.

Найдите работу, которая была совершена при перемещении проводника на  $0,025$  м по направлению действия силы Ампера.

Определить силу, действующую на заряд  $0,005$  Кл, движущийся в магнитном поле с индукцией  $0,3$  Тл со скоростью  $200$  м/с под углом  $45$  градусов к вектору магнитной индукции.



Проводник  $ab$ , длина которого  $l$  и масса  $m$ , подвешен на тонких проволочках. При прохождении по нему тока  $I$  он отклонился в однородном магнитном поле (смотри рисунок) так, что нити образовали угол  $\alpha$  с вертикалью. Какова индукция Магнитного поля?



Из проволоки длиной 8 см сделаны контуры:

а) квадратный;

б) круговой.

Найти максимальный вращающий момент, действующий на каждый контур, помещенный в магнитное поле индукцией 0,2 Тл при силе тока в контуре 4 А

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