

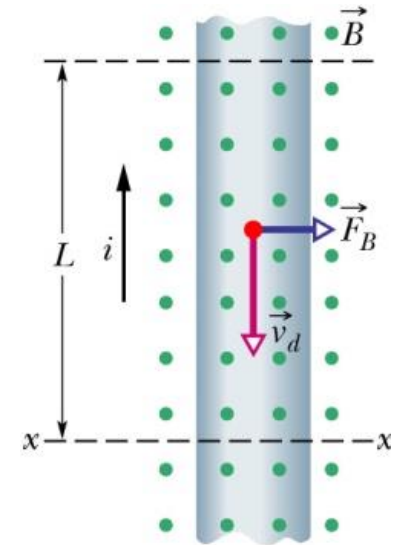
Магнитна сила действаща на проводник с постоянен ток

N на брой заряди (с концентрация $n = N/SL$) в прав проводник с обем **SL** в магнитно поле се движат с дрейфова скорост \vec{v}_d :

$$\vec{F} = N(q_0 \vec{v}_d \times \vec{B}) \quad \vec{F} = nSL(q_0 \vec{v}_d \times \vec{B})$$

$$\vec{v}_d = \frac{I}{nq_0S} \frac{\vec{L}}{L}$$

$$\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B}$$

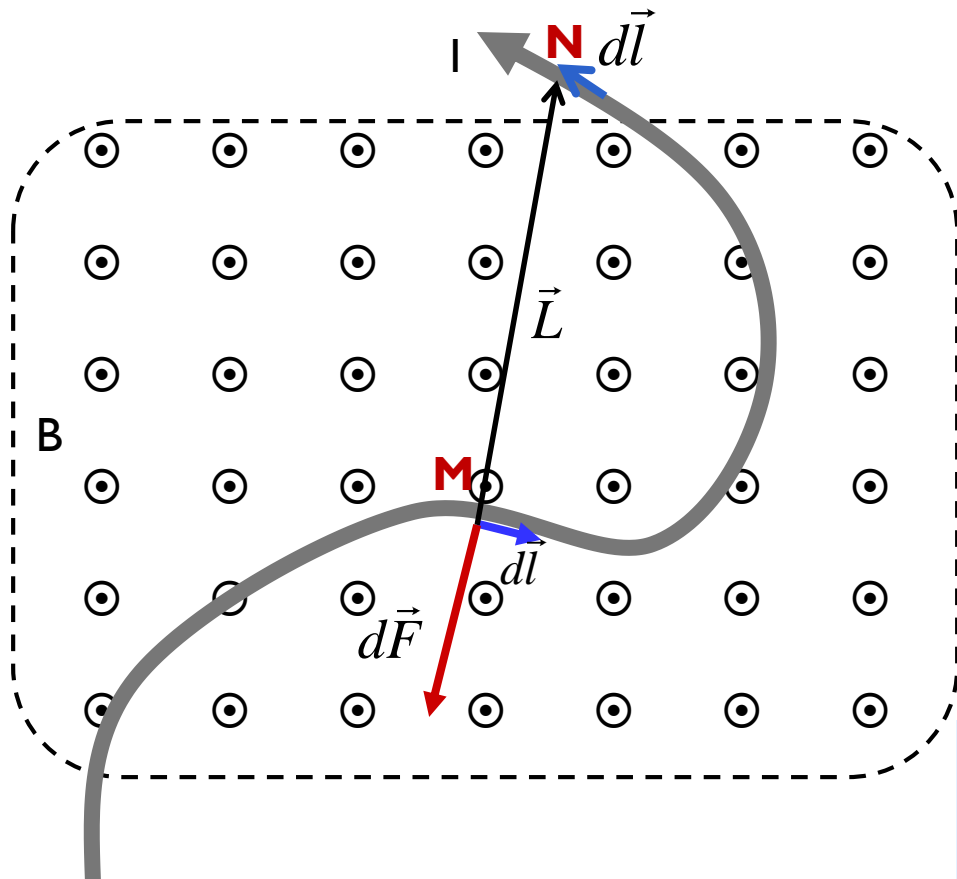


Ако разгледаме проводник с произволна форма то на безкрайно на малък токов елемент действа сила:

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = I \int_a^b d\vec{l} \times \vec{B}$$

Каква е силата ако проводника не е прав?



$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = \int d\vec{F}$$

$$\vec{F} = I \int (d\vec{l} \times \vec{B})$$

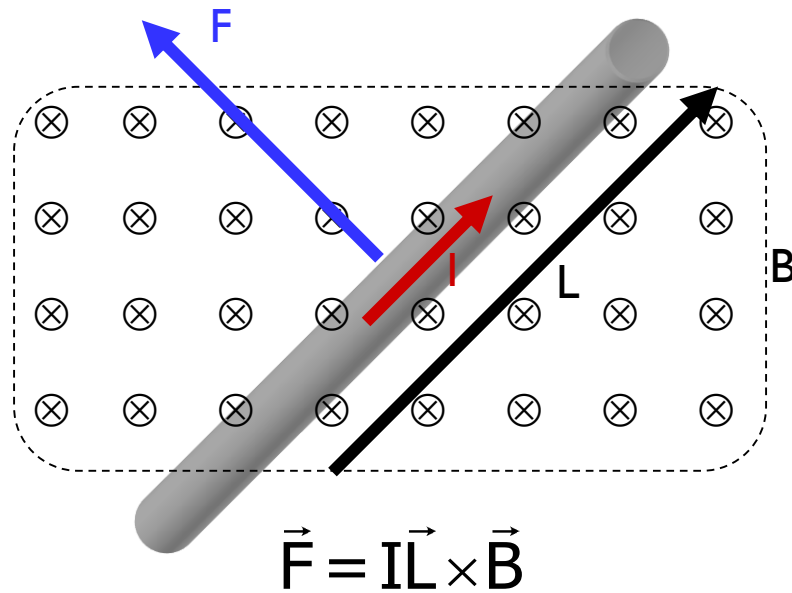
$$\vec{F} = I \left(\int_M^N d\vec{l} \right) \times \vec{B} = I \vec{L} \times \vec{B}$$

На участък MN от пров. с произволна форма действа същата сила като на прав проводник с дължина L (MN)

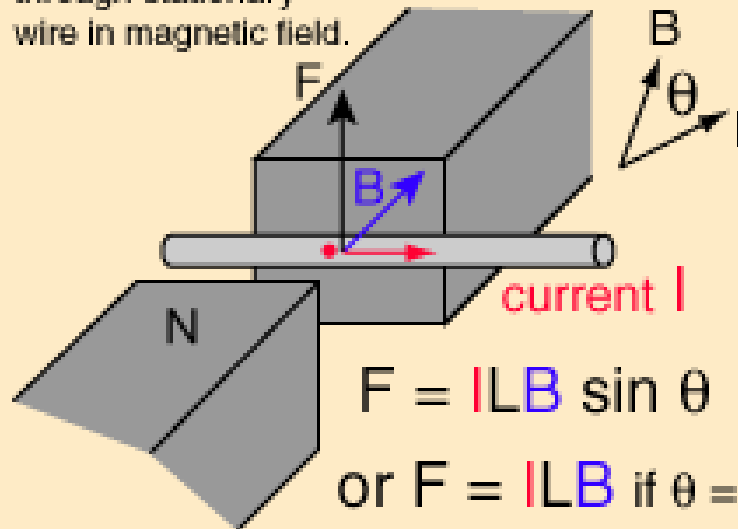
- Каква е магнитната сила действаща на затворен токов контур ?

Резултантаната магнитната сила действаща на затворен токов контур е нула

Магнитна сила действаща върху проводник с постоянен ток



Positive charge moving through stationary wire in magnetic field.



This relationship arises from the basic magnetic force:

$$F = qvB \sin \theta$$

which for a charge q traveling length L in a wire can be written

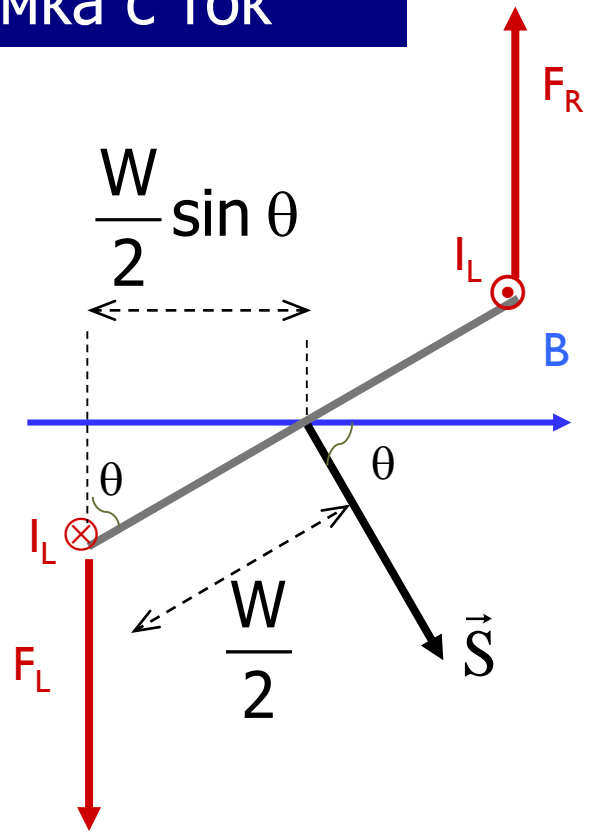
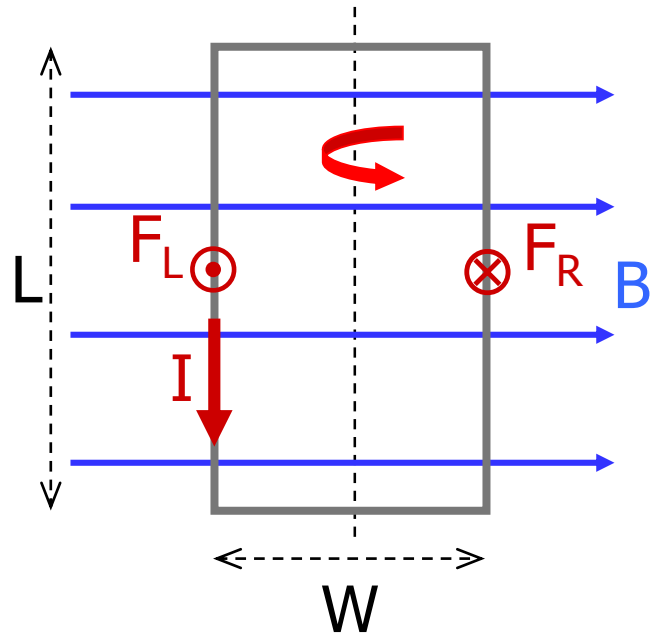
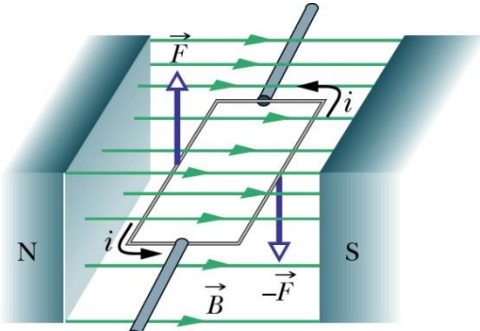
$$F = q \frac{L}{t} B \sin \theta$$

$$F = \frac{q}{t} LB \sin \theta$$

$$F = ILB \sin \theta$$

Момент на силата (въртящ момент) на рамка с ток

Моментът на силата е: $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$



$$\tau_R = \frac{W}{2} F_R \sin \theta = \frac{1}{2} WILB \sin \theta$$

$$\tau_L = \frac{W}{2} F_L \sin \theta = \frac{1}{2} WILB \sin \theta$$

$$\tau_{\text{net}} = \tau_R + \tau_L = WILB \sin \theta = ISB \sin \theta$$

\vec{S} е вектор чиято големина се определя от площта на рамката и чиято посока се определя по **правилото на дясната ръка**.

Магнитен момент на рамка с ток

Момент на силата (torque):

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = I \vec{S} \times \vec{B}$$

За намиране на посоката на вектора на повърхнината \vec{S} свиваме пръстите на дясната ръка по посоката на тока и палеца ни сочи посоката на \vec{S}

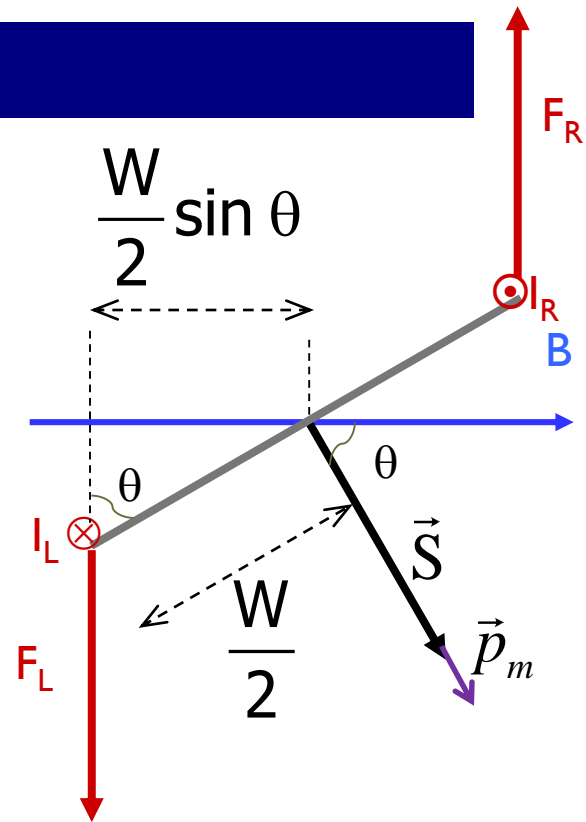
$I \vec{S}$ е магнитният момент на рамката.

$$\vec{p}_m = I \vec{S}$$

$$\vec{\tau} = \vec{p}_m \times \vec{B}$$

За рамка с N навивки:

$$\vec{p}_m = N I \vec{S}$$

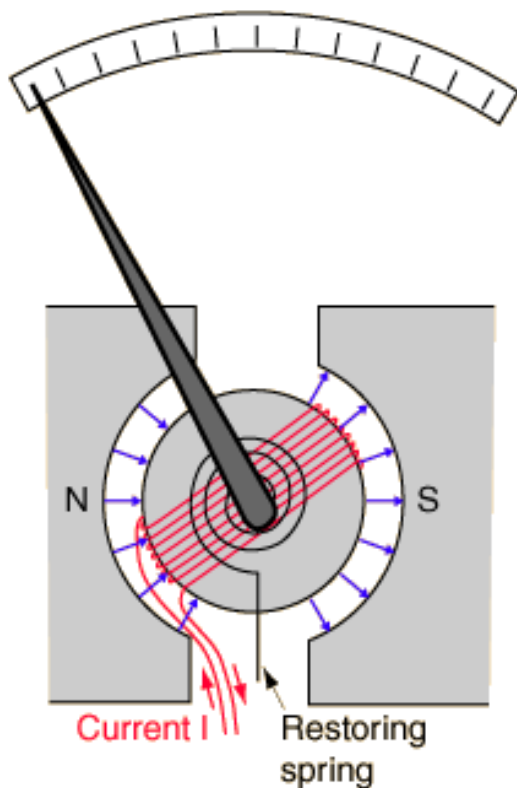


токов контур изпитващ въртящ момент както при токовата рамка се нарича **магнитен дипол**.

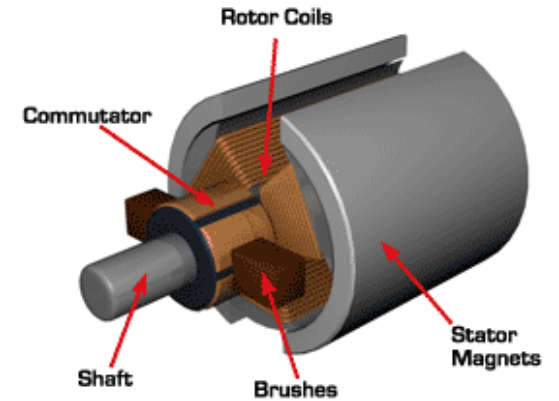
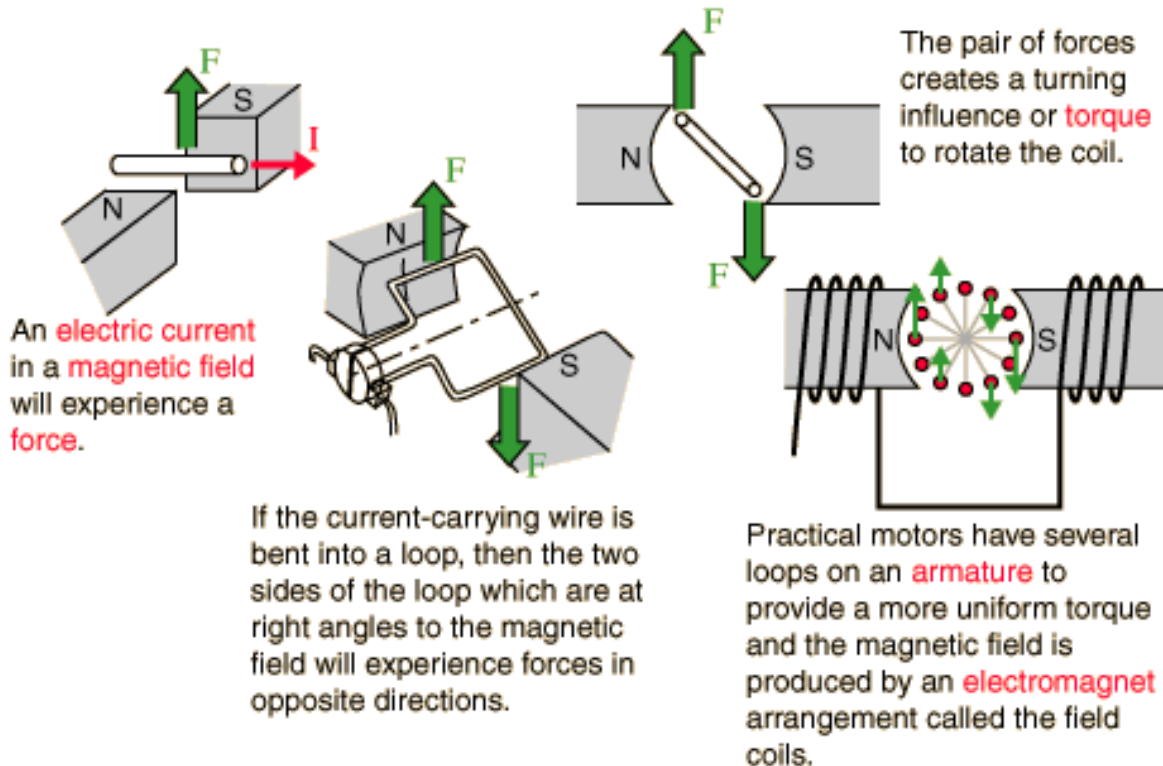
Задача за самостоятелна работа: По правоъгълна рамка с дължина $a=0.2$ m ширина $b=0.1$ m и тече ток с големина $I=5$ A. Рамката е поставена в хомогенно магнитно поле с индукция $B=0.2$ T, като равнината на рамката сключва ъгъл 60 градуса с магнитните силови линии. Определете въртящия момент (момента на силата) който действа на рамката.

Стрелкови уреди

Когато се подаде ток през намотката свързана със стрелката възниква въртящ момент и стрелката реагира.



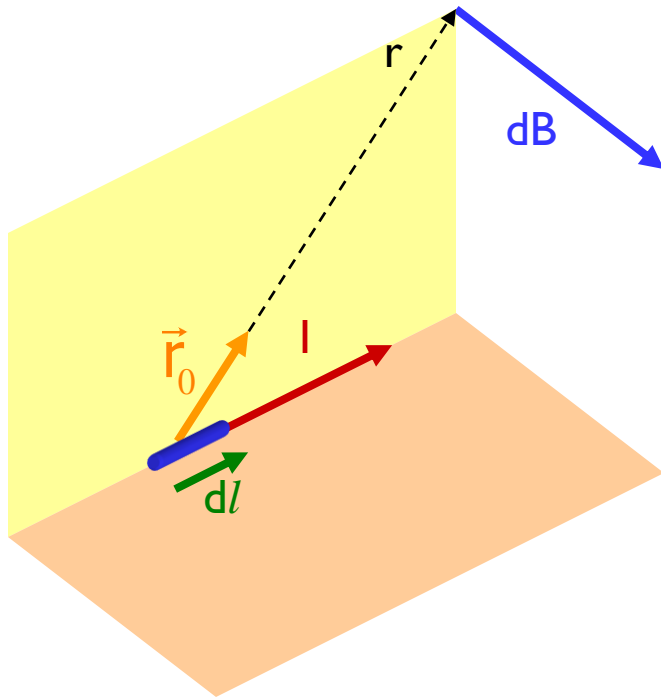
Електромотори



Източници на магнитно поле - проводник с ток. Закон на Био-Савар

Закон на Био-Савар

Позволява пресмятането на магнитната индукция създадена от проводник с ток в точка от пространството отдалечена на разстояние r от него.

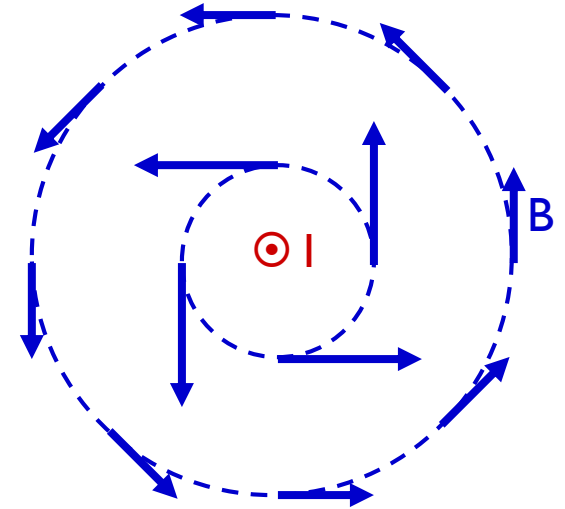
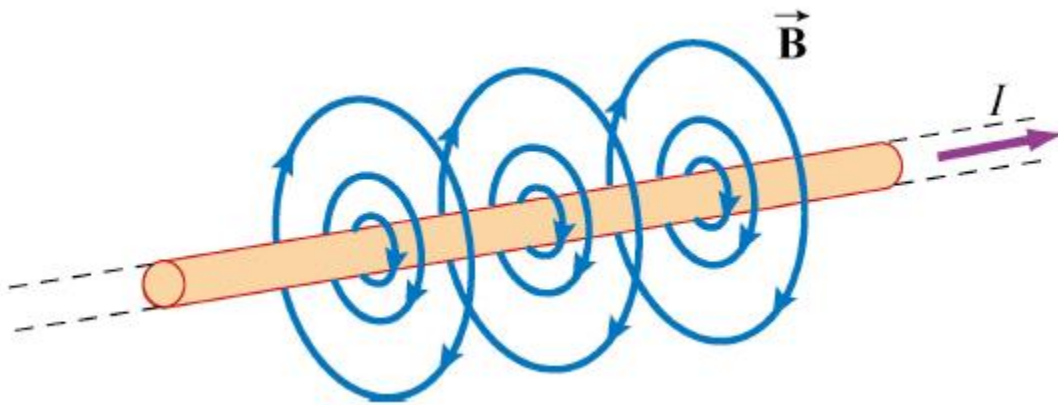


$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}_0}{r^2}$$

$$\vec{r} = r \vec{r}_0$$

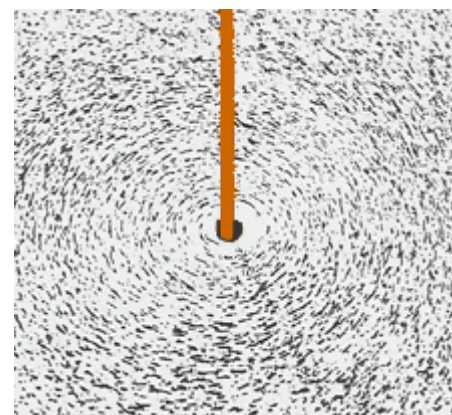
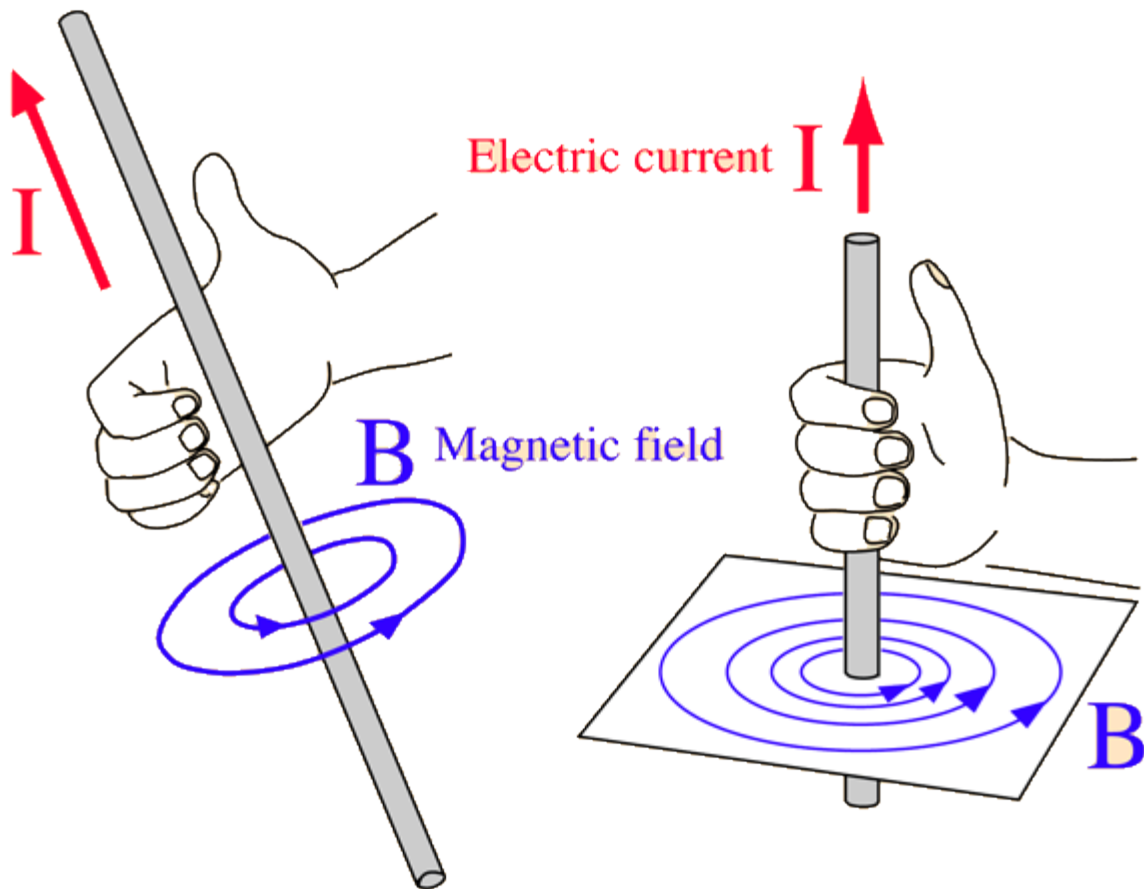
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{\text{T}\cdot\text{m}}{\text{A}} = \frac{\text{V}\cdot\text{s}}{\text{m}^2} \frac{\text{m}}{\text{A}} = \frac{\text{H}}{\text{m}} \right]$$

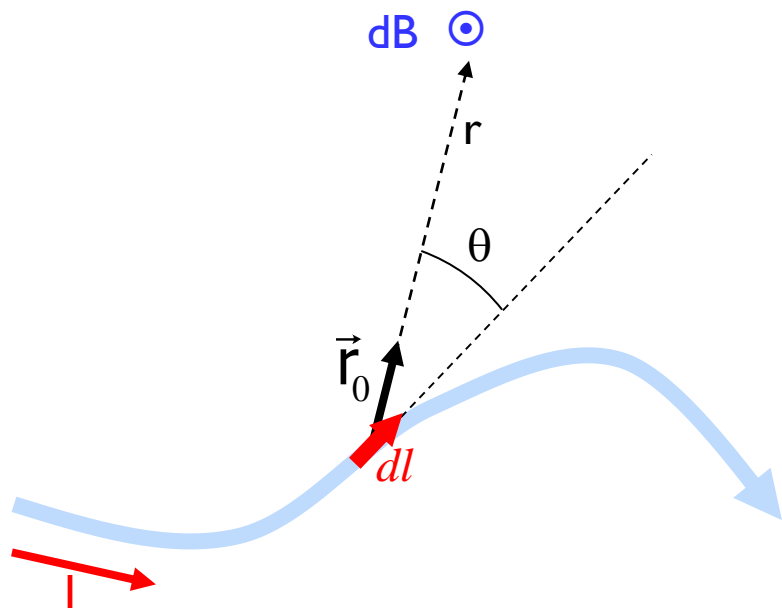


- ✓ **Посоката на магнитното поле** винаги е по допирателната към имагинерните окръжности около проводника и перпендикулярна на радиуса "свързващ" проводника и точката където се пресмята полето.
- ✓ **За определяне посоката на магнитната индукция се използва правилото на дясната ръка: Палеца сочи посоката на тока а свитите пръсти посоката на магнитната индукция**

- ✓ За определяне посоката на магнитната индукция се използва правилото на дясната ръка: **Палеца сочи посоката на тока а свитите пръсти посоката на магнитната индукция**



Приложение на закона на Био-Савар

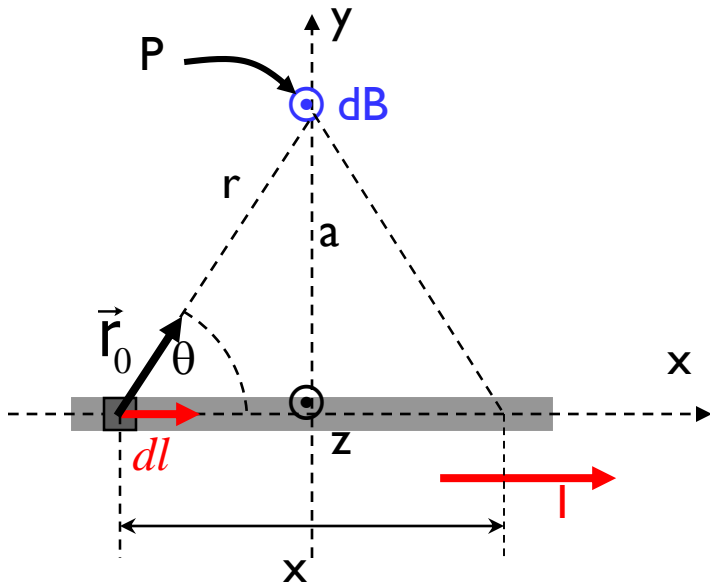


$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}_0}{r^2}, \text{ където } \vec{r}_0 = \frac{\vec{r}}{r}$$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl \sin \theta}{r^2}$$

$$\vec{B} = \int d\vec{B}$$

Пример: Пресметнете магнитното поле в точка P породено от участък с дължина x от прав проводник, по който тече ток с големина I .



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}_0}{r^2}$$

$$d\vec{l} \times \vec{r}_0 = dl \sin\theta \vec{k}$$

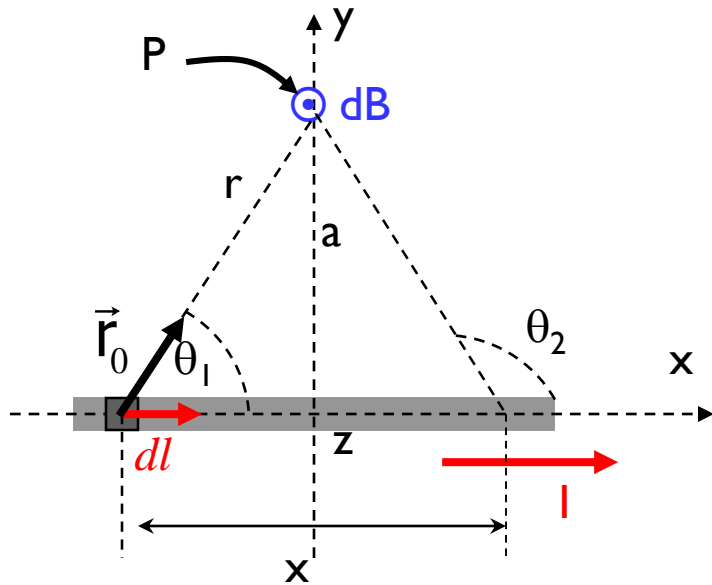
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl \sin\theta}{r^2} \quad dl = dx$$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dx \sin\theta}{r^2}$$

Магнитно поле на прав проводник с постоянен ток.

Търсим магн. индукция в т. Р създавана от участък с дължина x от прав проводник

$$dB = \frac{\mu_0 I dx \sin\theta}{4\pi r^2} \quad x = -a \cotg(\theta) \quad dx = \frac{a}{\sin^2(\theta)} d\theta \quad r = \frac{a}{\sin(\theta)}$$



$$B = \frac{\mu_0}{4\pi a} I \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin \theta d\theta$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi a} I (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

За **прав безкрайно дълъг проводник** :
 $\theta_1 = 0$; $\theta_2 = \pi$

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi a} I$$

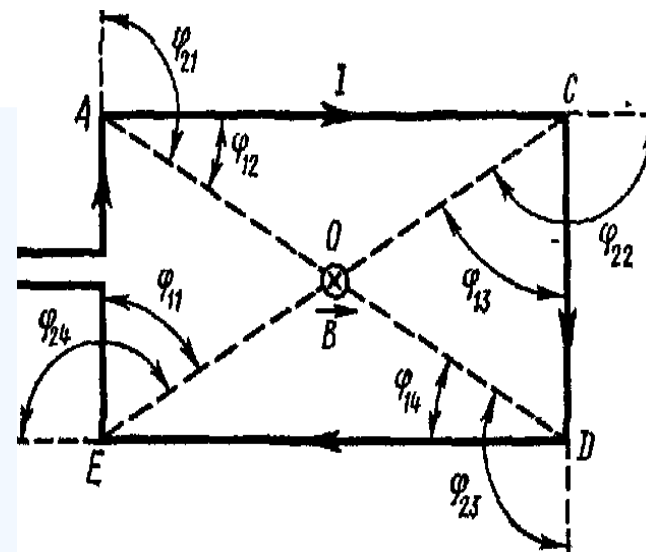
a - разстояние от точката в която търсим полето до проводника.
(винаги по перпендикуляра към проводника)

Принцип на суперпозицията

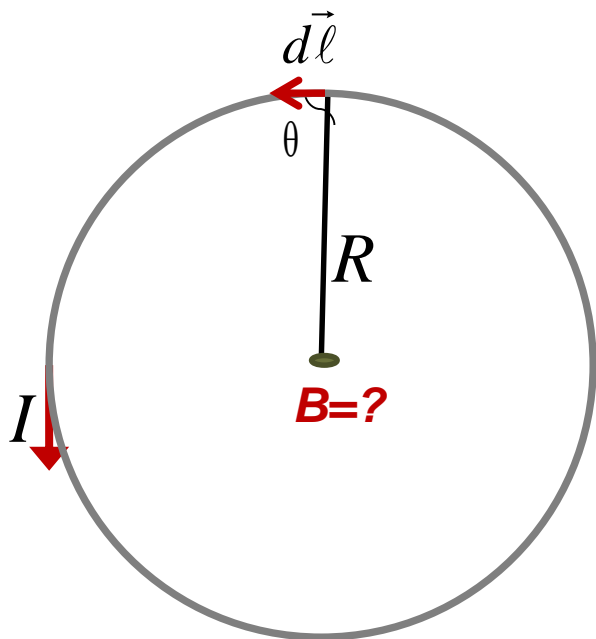
Във всяка точка от пространството магнитната индукция е сума от магнитните индукции създавани от всички източници (проводници или движещи се заряди)

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4 + \dots \vec{B}_n$$

Пример: По проводник огънат във вид на квадрат със страна 20 cm тече ток с големина 10A. Да се намери индукцията на магнитното поле в центъра на квадрата.



Магнитна индукция в центъра на кръгов ток контур



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}_0}{R^2}$$

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl}{R^2} \sin(\theta)$$

$$\sin(\theta) = 1$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \int_0^{2\pi R} dl$$

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

По кръгов ток контур с радиус R , тече ток с големина I . Пресметнете \mathbf{B} по оста на контура на разстояние x от центъра му. Пресметнете \mathbf{B} в центъра на контура.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{\ell} \times \vec{r}_0}{r^2}$$

$$d\vec{B} = d\vec{B}_{\parallel} + d\vec{B}_{\perp}$$

$$B = \int_L dB_{\parallel} = \int_L dB \cos \theta = \int_L \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IR}{r^3} d\ell =$$

$$\cos \theta = R/r$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L = 2\pi R \\ r^2 = R^2 + x^2 \end{array} \right\}$$

$$= \frac{\mu_0 IR}{4\pi r^3} \int_L d\ell = \frac{\mu_0 I \pi R^2}{2\pi r^3}$$

магн. дипол. момент

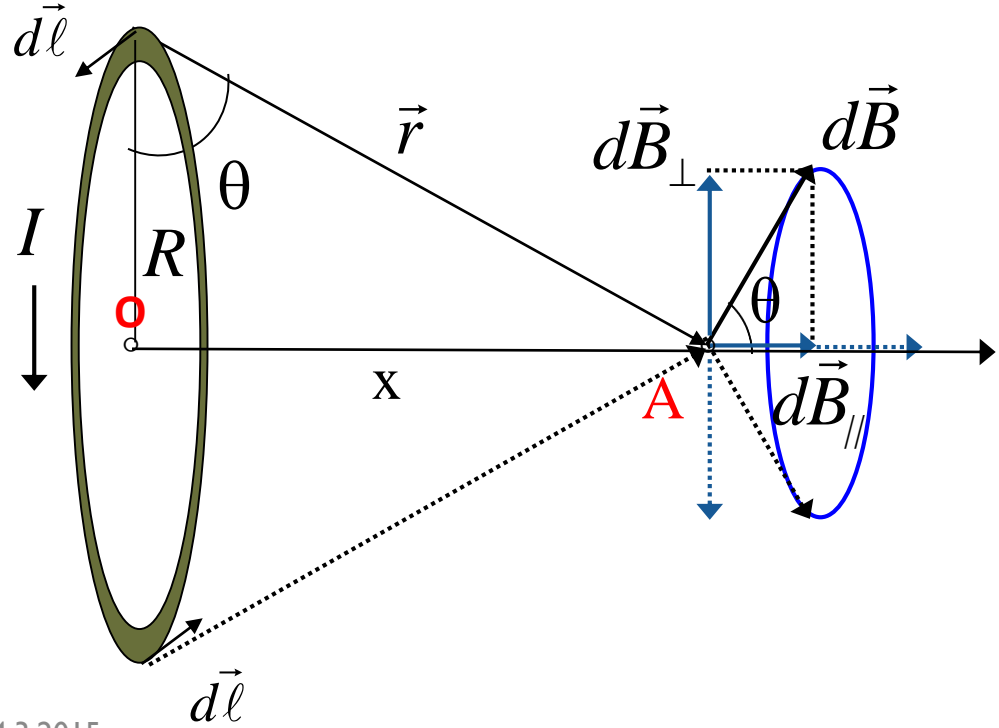
$$p_m = IS = I\pi R^2$$

по оста
в т. А:

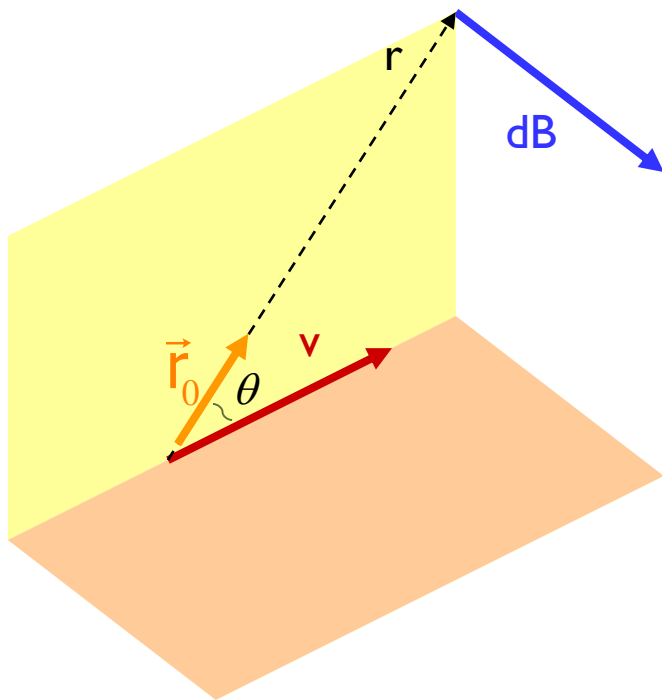
$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{p_m}{(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

В центъра на проводниковия контур в т. О, $x=0$

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



Магнитно поле създавано от движеща се заредена частица



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{\ell} \times \vec{r}_0}{r^2}$$

$$I d\vec{\ell} = q n_0 \vec{v} dV = q \vec{v} dn; B = \frac{dB}{dn}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q(\vec{v} \times \vec{r}_0)}{r^2}$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \sin(\theta)}{r^2}$$

Пример. Електрон се движи праволинейно и равномерно със скорост $v = 3 \cdot 10^5 \text{ m/s}$. Да се намери магнитната индукция създадена от него в точка лежаща на перпендикуляра към моментната му скорост на разстояние $r = 10^{-9} \text{ m}$ от него.

Още задачи: Магнитна индукция създавана от проводници с постоянен ток

Магнитна индукция създавана от прав безкрайно дълъг проводник

По прав безкрайно дълъг проводник тече ток 5A . Да се определи магнитната индукция в точка намираща се на разстояние $d=10\text{ cm}$ от проводника.

Магнитна индукция създавана от кръгов токов контур

По кръгов токов контур с радиус $R=1\text{ cm}$, тече ток $I=10\text{A}$.

а) Пресметнете магнитната индукция в центъра на контура :

*б) Пресметнете магнитната индукция по оста на контура на разстояние $d=1\text{ cm}$ от центъра му.

Магнитна индукция създавана от проводник с крайна дължина

По прав проводник с дължина $2a$ тече ток с големина I . Да се намери магнитната индукция в точка която лежи на перпендикуляра към средата на проводника на разстояние b .

Принцип на суперпозицията

Разстоянието между два успоредни проводника е $d=20\text{ cm}$. По единия от тях тече ток 5A . Да се определи магнитната индукция в точка намираща се в средата на разстоянието между проводниците, когато по втория проводник тече ток:

а) $I_2=2.5\text{A}$ и токовете са еднопосочни

б) $I_2=2.5\text{A}$ и токовете са разнопосочни