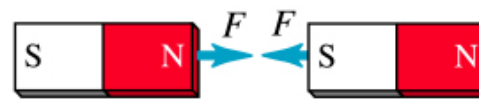


19 въпрос. Циркулация на вектора на магнитната индукция. Магнитен поток. Теорема на Гаус за магнитното поле.

Опитно е установено, че всички постоянни магнети, независимо от тяхната форма и размери, имат два разноименни полюса – северен полюс (N) и южен полюс (S). Разноименните полюси взаимно се привличат, едноименните полюси се отблъскват.



(a)



(b)



(c)

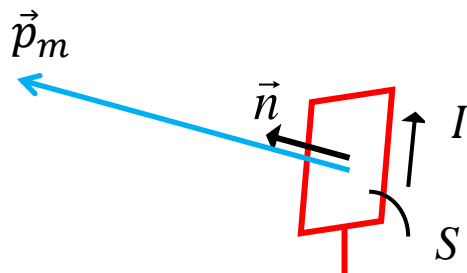


(d)

Опитно е установено, че ако постоянен магнит се разреже на две половини се получават два нови магнита, всеки от които има северен и южен полюси, т.е. не може да се отдели само северен или само южен полюс. Следователно за разлика от електричните заряди в природата НЕ съществуват свободни магнитни заряди. Поради това за опитно изследване на магнитните полета се въвежда понятието токова рамка (токов контур): това е проводник, огънат във формата на правоъгълник, по който протича електричен ток. Токовата рамка се характеризира с величината **магнитен момент**

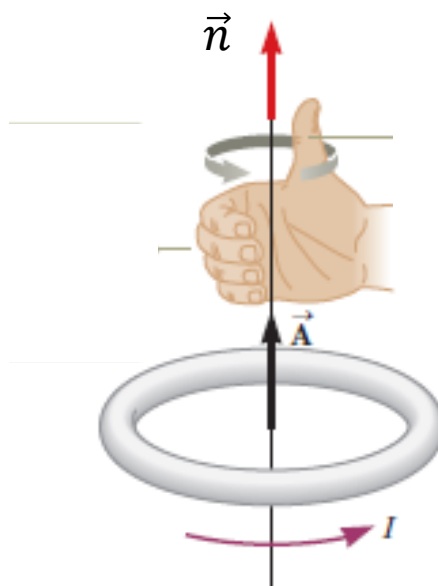
$$\vec{p}_m = IS\vec{n}$$

където I е големината на електричния ток по рамката, S е площта, ограничена от рамката, \vec{n} е единичен вектор, насочен по нормалата към площта на рамката.



Посоката на нормалата се определя по правилото на дясната ръка: дланта обхваща рамката в посока на тока и тогава палеца показва посоката на \vec{n} и следователно посоката на магнитния момент на рамката.

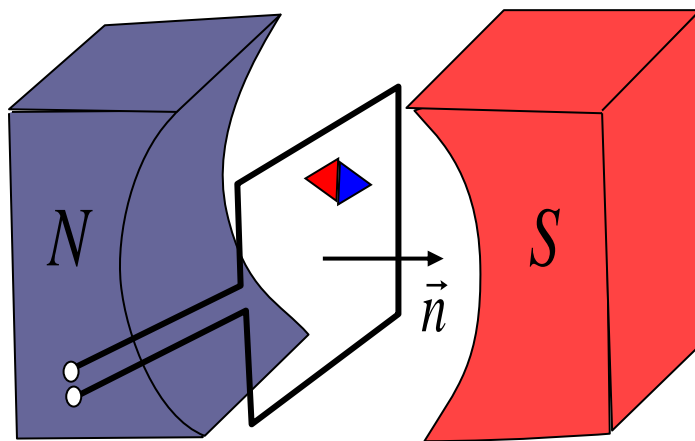
В системата СИ единицата за магнитен момент е A.m^2 .



Ако токова рамка се постави във външно магнитно поле, то тя се ориентира по определен начин в това поле, т.е. на рамката ѝ действа въртящ момент \vec{M} , който зависи както от свойствата на рамката, така и от свойствата на магнитното поле. Въртящият момент се изразява чрез

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

където \vec{B} е векторна величина, характеризираща магнитното поле, наречена *индукция на магнитното поле (магнитна индукция)*.



Във магнитно поле рамката се завърта и се ориентира така, че нормалата ѝ да е успоредна на магнитна стрелка, поставена в същото място.

Големината на вектора на въртящия момент се дава чрез

$$M = p_m B \sin \alpha$$

където α е ъгълът между векторите \vec{p}_m и \vec{B} .

Максимална стойност въртящият момент има при $\sin \alpha = 1$, т.е. $\alpha = \frac{\pi}{2} \text{ rad } (90^\circ)$

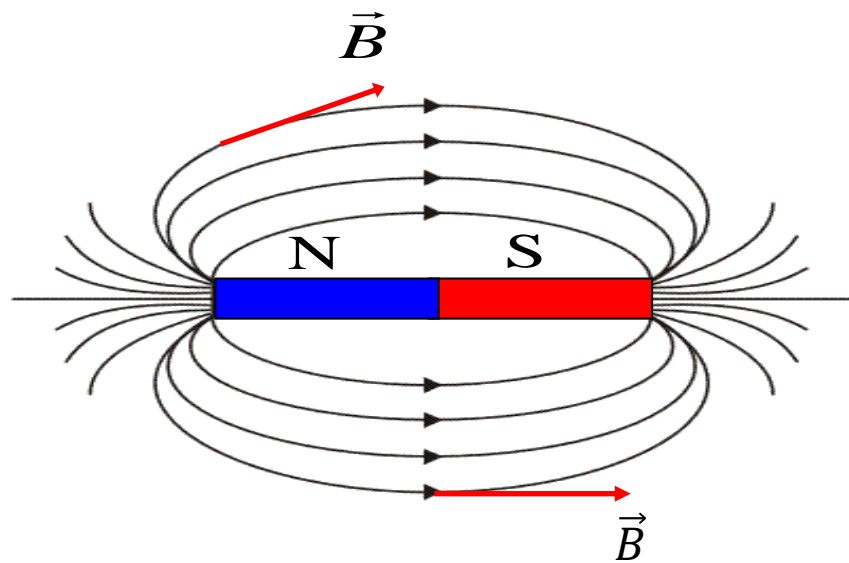
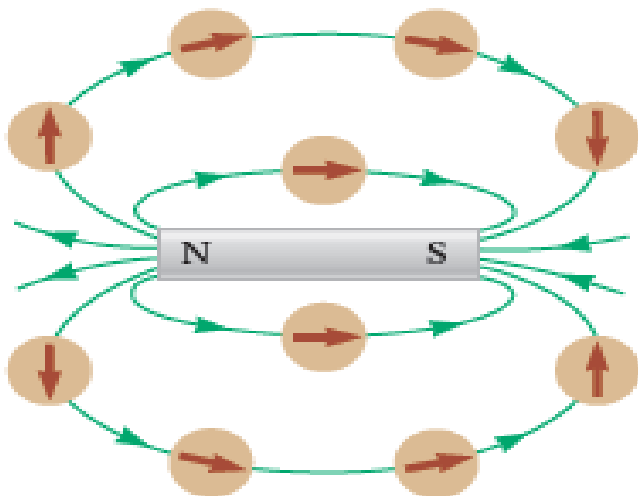
$$M_{max} = p_m B \quad \Rightarrow \quad B = \frac{M_{max}}{p_m}$$

т.е. магнитната индукция на хомогенно магнитно поле ($\vec{B} = \text{const}$) е числено равно на максималния въртящ момент, с който магнитното поле действа на токова рамка с магнитен момент равен на единица.

Посоката на вектора на магнитната индукция се определя от векторното произведение.

В системата СИ единицата за величината индукция на магнитното поле е тесла (Т).

По аналогия с електростатичното поле и магнитното поле може да се изобрази графично с **линии на вектора на магнитната индукция (магнитни силови линии)**. Магнитна силова линия, наричаме такава линия, във всяка точка на която векторът на магнитната индукция е насочен по посока на допирателната към тази линия. Магнитните силови линии излизат от северния полюс и влизат в южния полюс.



Можем да продължим аналогията с електростатиката и да въведем величината *поток на вектора на магнитната индукция (магнитен поток)* през произволна площ S

$$\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

където $d\vec{S}$ е вектор с посока по нормалата към повърхността S и с безкрайно малка големина с размерност на площ $[\text{m}^2]$.

Скаларното произведение на векторите \vec{B} и $d\vec{S}$ отчита математически ориентацията на площта S и вектора на индукцията \vec{B} .

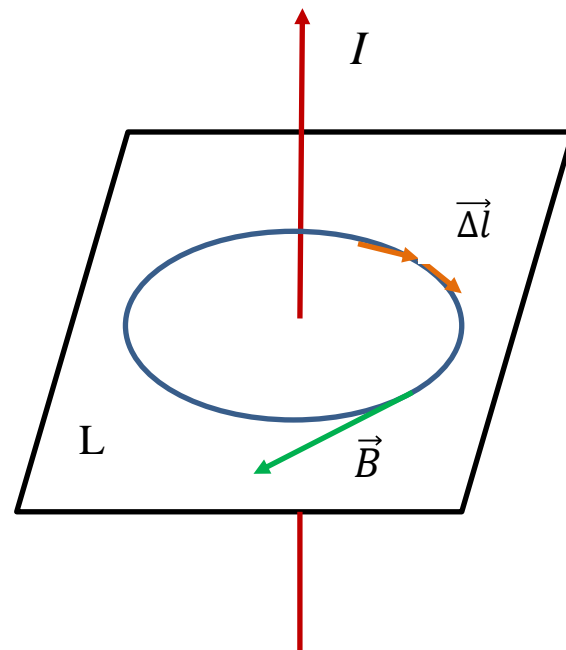
Съгласно *теоремата на Гаус за магнитното поле във вакуум* потокът на вектора на магнитната индукция през произволна затворена площ S е равен на нула, т.е.

$$\Phi_B = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

Тази теорема се явява математически израз на опитно установения факт, че *в природата няма свободни магнитни заряди*.

Връзката между електричните и магнитните явления е установена опитно от датския физик Оерщед, като той установява, че магнитна стрелка, поставена в близост до проводник се отклонява, когато по проводника протича електричен ток. Френският физик Ампер продължава изследванията на Оерщед като определя количествено връзката между големината на тока по проводника и индукцията на създаваното (индуцираното) от проводника магнитно поле.

Да разгледаме затворен контур L , например окръжност, която обхваща проводник, по който тече ток с големина I . Електричният ток създава в пространството около проводника магнитно поле с индукция \vec{B} . Можем да разделим контура на малки елементи с дължина $\vec{\Delta l}$, така че в границите на всеки такъв елемент компонентата на вектора на магнитната индукция \vec{B}_{\parallel} , успоредна на този елемент, да остава постоянна по големина и посока.



Ампер е показал, че сумата от произведенията на големината на елементите $\vec{\Delta l}$ по съответстващите им успоредни компоненти на вектора на магнитната индукция е равна на

$$\sum_i B_{\parallel i} \Delta l_i = \mu_0 I$$

където $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Н/м е магнитната константа. Сумирането става по целия затворен контур L.

В граничния случай, когато $\Delta l \rightarrow 0$, сумата преминава в интеграл, т.е.

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

където $d\vec{l}$ е вектор с посока по допирателната във всяка точка на затворения контур и има безкрайно малка големина.

Този резултат може да се обобщи за произволен затворен контур, обхващащ N на брой проводници с ток

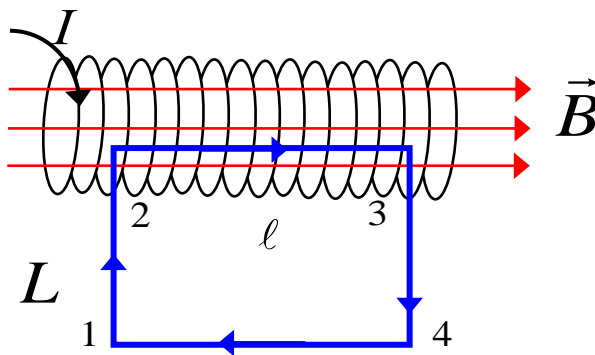
$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_{k=1}^N I_k$$

Величината $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$ се нарича циркулация на вектора на магнитната индукция \vec{B} по затворения контур L , а изрази – закон за циркулацията на вектора на магнитната индукция: ***Циркулацията на вектора на магнитната индукция по произволен затворен контур е равна на произведението на магнитната константа по алгебричната сума от токовете, обхванати от затворения контур.***

Този закон се използва за изчисляване на индукцията на магнитните полета, създавани от проводници, по които тече електричен ток. Например индукцията на магнитното поле \vec{B} , създавано от безкрайно дълъг соленоид, по навивките на който тече електричен ток с големина I .

Соленоид се нарича дълга бобина с голям брой навивки. Ако броят на навивките на единица дължина на соленоида е n , то големината на вектора на магнитната индукция на полето, създавано от соленоида е

$$B = \mu_0 n I$$



посока на обикаляне на контура

Пример 1: По соленоид с 2000 навивки и дължина 30 cm протича ток с големина 100 A. На колко е равна магнитната индукция на полето в соленоида?

Дадено: $N = 2000$, $l = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$, $I = 100 \text{ A}$

$B = ?$

Решение:

$$B = \mu_0 n I = \mu_0 \frac{N}{l} I = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{2000}{0,3} \times 100 \approx 8,4 \times 10^{-1} = 0,84 \text{ T}$$