

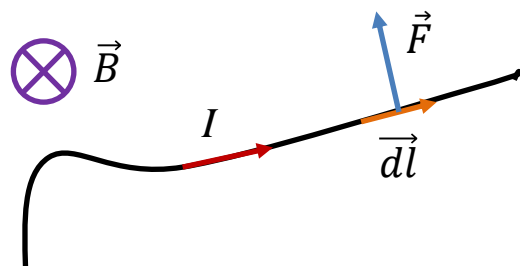
**20 въпрос. Действие на магнитното поле върху проводник с ток.  
Сила на Ампер. Действие на магнитното поле върху движещ се  
електричен заряд. Сила на Лоренц.**

Знаем, че проводник, по който тече електричен ток, създава в пространството около себе си магнитно поле. Ако такъв проводник се постави във външно магнитно поле, вектора на индукцията на създаденото от проводника собствено магнитно поле ще се сумира с вектора на индукцията на външното поле. В резултат от взаимодействието между двете магнитни полета върху проводника ще действа определена сила. Това е друг аспект от връзката между електричните и магнитните явления – магнитното поле действа с определена сила на проводник, по който тече ток, поставен в полето.

Математически тази сила, наречена **сила на Ампер** се дава с израза

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

където  $\vec{F}$  е силата, с която магнитно поле с индукция  $\vec{B}$  действа върху безкрайно малкият елемент  $d\vec{l}$  от проводник, по който тече ток с големина  $I$ .



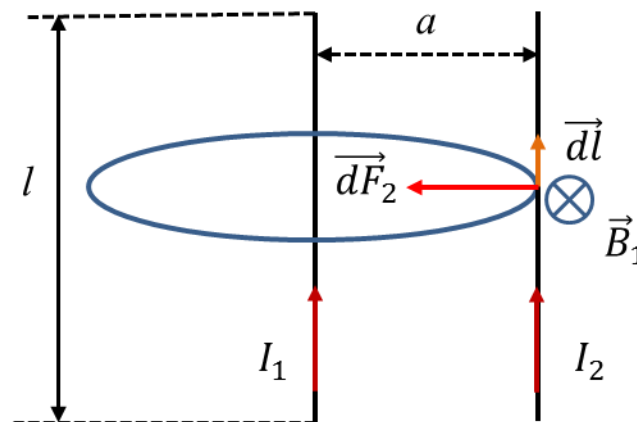
Посоката на силата се определя по правилото за векторното произведение.

Големината на силата се дава чрез

$$dF = IBdl\sin\alpha$$

където  $\alpha$  е ъгълът между векторите  $d\vec{l}$  и  $\vec{B}$ .

Силата  $\vec{F}$ , с която магнитното поле ще действа върху целия проводник се намира чрез интегриране по дължината на проводника. Като пример ще разгледаме силите, с които си взаимодействат два успоредни проводника, по които текат токове  $I_1$  и  $I_2$ , съответно. Приемаме, че проводниците имат еднаква дължина  $l$ , която е много по-голяма от разстоянието  $a$  между тях и токовете имат една и съща посока.



Индукцията на магнитното поле, създавано от първия проводник на разстояние  $a$  от него се определя чрез

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

На произволен елемент  $d\vec{l}$  от втория проводник ще действа сила

$$d\vec{F}_2 = I_2 (d\vec{l} \times \vec{B}_1)$$

с големина

$$dF_2 = I_2 dl B_1$$

Тук сме използвали, че ъгълът  $\alpha$  между векторите  $d\vec{l}$  и  $\vec{B}$  е  $90^\circ$  – в мястото, където е разположен елемента  $d\vec{l}$ , векторът на индукцията  $\vec{B}$  има посока от нас към равнината на чертежа.

Заместваме израза за  $B_1$  и получаваме

$$dF_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2 dl}{2\pi a}$$

Интегрираме по дължината на проводника

$$F_2 = \int dF_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} \int_0^l dl = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} l$$

Този изразът определя големината на силата  $F_2$ , с която магнитното поле, създадено от първия проводник, действа върху втория. Аналогично се получава, че големината на силата  $F_1$ , с която магнитното поле, създадено от втория проводник, действа върху първия е

$$F_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} l = F_2$$

като посоката ѝ е противоположна на тази на  $d\vec{F}_2$ . Следователно двата проводника ще се привличат.

Може да се покаже, че ако посоките на токовете в двата проводника са в противоположни посоки, двата проводника ще се отблъскват.

Покажахме, че когато по проводник, по който тече електричен ток, е поставен във външно магнитно поле, то му действа определена сила. Но електричният ток е насочено движение на заряди. Следователно можем да направим извода, че магнитното поле ще действа с определена сила и на отделни електрични заряди, които са в движение. Силата  $\vec{F}_M$ , с която магнитно поле с индукция  $\vec{B}$  действа върху заряд  $q$ , движещ се със скорост  $\vec{v}$  се дава чрез

$$\vec{F}_M = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Посоката на силата се определя от векторното произведение като за положителни заряди посоката на  $\vec{F}_M$  съвпада с посоката на вектора  $(\vec{v} \times \vec{B})$ . За отрицателни заряди посоката на  $\vec{F}_M$  е противоположна на посоката на вектора  $(\vec{v} \times \vec{B})$ .

Големината на силата е

$$F_M = qvB \sin \alpha$$

където  $\alpha$  е ъгълът между векторите  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$ .

Ще подчертаем, че магнитното поле действа само на движещи се заряди. Ако заряда е в покой ( $\vec{v} = 0$ ) силата е равна на нула.

Разглеждаме област от пространството, в която съществуват едновременно електрично поле с интензитет  $\vec{E}$  и магнитно поле с индукция  $\vec{B}$ . Ако заредена частица с заряд  $q$ , движеща се със скорост  $\vec{v}$  навлезе в тази област, ще ѝ действат и електрична  $\vec{F}_{\text{ел}}$  и магнитна  $\vec{F}_{\text{м}}$  сили. Резултантната сила  $\vec{F}$  се нарича *сила на Лоренц* и се дава чрез

$$\vec{F} = \vec{F}_{\text{ел}} + \vec{F}_{\text{м}} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

**Пример 1:** На колко е равна индукцията на магнитно поле, в което на прав проводник с дължина 4 cm действа сила 40 mN? По проводника тече ток с големина 20 A.

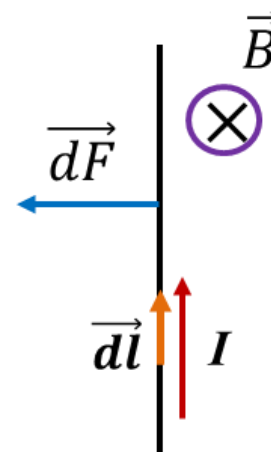
Дадено:  $l = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$  ,  $F = 40 \text{ mN} = 40 \times 10^{-3} \text{ N}$  ,  $I = 20 \text{ A}$

$B = ?$

Решение:  $dF = IBdl \sin\alpha$

$$F = \int dF = IB \int_0^l dl = IBl$$

$$B = \frac{F}{Il} = \frac{40 \times 10^{-3}}{20 \times 0,04} = 0,05 \text{ T}$$





**Пример 2:** На колко е равна силата, с която се привличат два успоредни проводника с дължини по 1 m, намиращи се на разстояние 2 m един от друг, ако по проводниците текат токове с големина 5 A и 2 A?

Дадено:  $l = 1 \text{ m}$  ,  $a = 2 \text{ m}$  ,  $I_1 = 5 \text{ A}$  ,  $I_2 = 2 \text{ A}$

$F_1 = ?$

Решение:

$$F_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} l = \frac{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 5 \times 2}{2 \times \pi \times 2} \times 1 = 10 \times 10^{-7} = 1 \times 10^{-6} \text{ N}$$

**Пример 3:** Заряд с големина 0,5 C се движи в магнитно поле с индукция 0,3 T със скорост 6 m/s. Каква сила ще действа на заряда, ако векторът на скоростта му сключва ъгъл  $30^\circ$  с вектора на магнитната индукция?

Дадено:  $q = 0,5 \text{ C}$  ,  $B = 0,3 \text{ T}$  ,  $v = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ,  $\alpha = 30^\circ$

$F = ?$

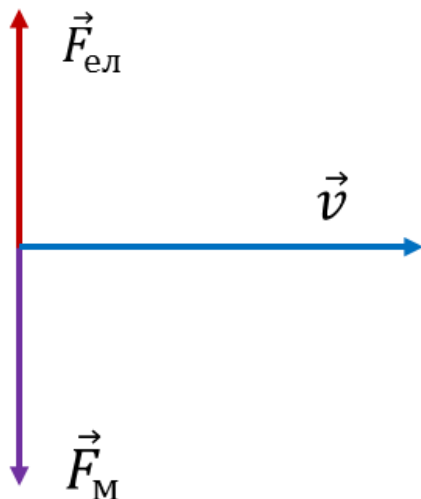
Решение:  $F = qvB \sin \alpha = 0,5 \times 6 \times 0,3 \times 0,5 = 0,45 \text{ N}$

**Пример 4:** Хомогенни електрично поле с интензитет 3 kV/m и магнитно поле с индукция 3 mT са разположени взаимно перпендикулярно. С каква скорост трябва да се движи електрон така, че движението му да бъде равномерно праволинейно?

Дадено:

Решение:  $\vec{F} = \vec{F}_{\text{ел}} + \vec{F}_{\text{м}} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

При равномерно праволинейно движение  $\vec{a} = 0 \Rightarrow \vec{F} = m\vec{a} = 0$



$$q\vec{E} = -q(\vec{v} \times \vec{B}) \Rightarrow \vec{E} = -(\vec{v} \times \vec{B})$$

За да се движи електронът с постоянна скорост ъглите между  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$  и между  $\vec{v}$  и  $\vec{E}$  трябва да бъдат  $90^\circ$ .

$$|\vec{E}| = |\vec{v} \times \vec{B}| \Rightarrow E = vB \sin\alpha$$

$$\Rightarrow v = \frac{E}{B} = \frac{3 \times 10^3}{3 \times 10^{-3}} = 1 \times 10^6 \text{ m/s}$$