

Действие на магнитно поле върху проводник, по който тече електричен ток. Закон на Ампер. Сили на взаимодействие между два безкрайно дълги успоредни проводника

Действие на магнитно поле върху проводник, по който тече електричен ток. Закон на Ампер

Вече установихме, че около проводници, по които тече електричен ток се създава магнитно поле (3 въпрос). Ако такъв проводник с ток се постави във външно магнитно поле, естествено е да се предположи, че неговото магнитно поле и външното магнитно поле ще си взаимодействат по някакъв начин т.е. на проводника ще действа някаква сила. Ние използвахме този факт при дефинирането на величината магнитна индукция (1 въпрос). Правоъгълната рамка с ток се завърта във външно магнитно поле, докато магнитният ѝ момент се ориентира по посока на външното магнитно поле. Ампер е изследвал как действа магнитното поле върху линеен проводник, по който тече ток. Той е установил, че при внасяне на проводника в хомогенно магнитно поле, полето действа на проводника с определена сила, чиято големина и посока определил експериментално. Оказало се, че **силата, която действа на малък елемент \vec{dl} от проводника (фиг. 1) е пропорционална на големината на тока I , дължината на елемента \vec{dl} и големината на магнитната индукция B на външното поле, като зависи и от взаимната ориентация на полето и проводника (ъгълът между \vec{dl} и \vec{B}):**

$$(1) \vec{dF} = I \vec{dl} \times \vec{B}.$$

Полученият израз (1) носи името закон на Ампер. Посоката на вектора \vec{dl} е в посоката на тока (както сме я избирали и във 3 въпрос). Посоката на силата се определя от посоката на векторното произведение $\vec{dl} \times \vec{B}$ и следователно винаги е перпендикулярна на проводника, защото е перпендикулярна на вектора \vec{dl} (фиг. 1). Ако проводникът не е закрепен, той ще започне да се движи в магнитното поле (в показания на фиг. 1 случай посоката на силата е към нас). Ако токът тече в противоположната посока, посоката на силата също ще бъде противоположна (сменя се посоката на \vec{dl} , а следователно и на векторното произведение). Това обяснява завъртането на рамката (1 въпрос, фиг. 1) в магнитно поле – по двете срещуположни страни на рамката токовете текат в противоположни посоки и силите, които им действат са също в противоположни посоки. Така се създава двойка сили, които създават въртящият момент \vec{M} , завъртащ рамката. Когато равнината на рамката стане перпендикулярна на магнитното поле, посоките на силите върху всички страни са също в равнината на рамката – те не могат повече да я въртят, а само да я разтягат. Затова рамката се установява в това положение на устойчиво равновесие.

Големината на силата на Ампер се определя от равенството:

$$(2) dF = IB dl \sin \alpha,$$

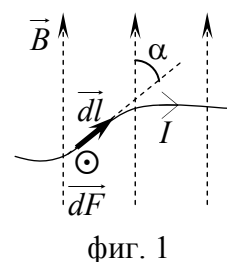
където α е ъгълът между посоките на векторите \vec{dl} и \vec{B} (фиг. 1). Силата ще бъде максимална когато проводникът е перпендикулярен на полето ($\sin \alpha = 1$). Ако искаме да определим силата на Ампер, действаща на целия проводник, трябва да интегрираме (1) или (2) по цялата дължина l на проводника. Когато проводникът е праволинеен (тогава всички елементи \vec{dl} сключват с \vec{B} еднакви ъгли α) ще получим:

$$F = \int dF = IB \sin \alpha \int dl = IB l \sin \alpha,$$

т.е. виждаме, че силата на Ампер, която действа на целия проводник, зависи и от дължината на проводника.

Сили на взаимодействие между два безкрайно дълги успоредни проводника

Ампер е изследвал експериментално и друго явление – взаимодействие на проводници, по които тече електричен ток. Магнитното поле, което се създава около проводник с ток, би трябвало да влияе на всеки друг проводник с ток в околността на първия. Също така и полето, което създава вторият проводник, трябва да влияе на първия т.е. двата проводника ще си взаимодействат. Ампер е установил експериментално, че ако токовете в двата проводника текат в една посока, те се привличат, а ако са в противоположни посоки – се отбъскват. Ще покажем, че това е така, като разгледаме най-простият случай – два безкрайно дълги успоредни проводника.



фиг. 1

Нека по два успоредни, безкрайно дълги проводника, на разстояние a един от друг във вакуум, протичат токове I_1 и I_2 в една и съща посока (фиг. 2). Първият проводник създава магнитно поле с индукция \vec{B}_1 , която на мястото, в което се намира вторият проводник има посока към чертежа (1 въпрос) и големина (3 въпрос):

$$(3) B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a}.$$

Следователно, вторият проводник се намира в магнитно поле с индукция \vec{B}_1 и съгласно (1) на всеки елемент $d\vec{l}$ от него ще действа сила $d\vec{F}_2$, насочена към първия проводник, с големина (2), (3):

$$dF_2 = I_2 B_1 dl = \frac{\mu_0 I_2 I_1}{2\pi a} dl,$$

тъй като $d\vec{l} \perp \vec{B}_1$ и $\sin\alpha=1$. Аналогично, вторият проводник създава магнитно поле, с индукция \vec{B}_2 , която на мястото, в което се намира първият проводник има посока към нас и големината:

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a},$$

а силата, която действа на всеки елемент $d\vec{l}$ от първия проводник, е насочена към втория и големината ѝ е:

$$dF_1 = I_1 B_2 dl = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} dl.$$

Виждаме, че големините на двете сили са равни, те са с противоположни посоки и са сили на привличане. Можем да направим извода, че **два безкрайно дълги, праволинейни, успоредни проводника, на разстояние a един от друг във вакуум, по които протичат токове I_1 и I_2 в една и съща посока (фиг. 2), се привличат** със сила за единица дължина от проводниците:

$$(4) \frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}.$$

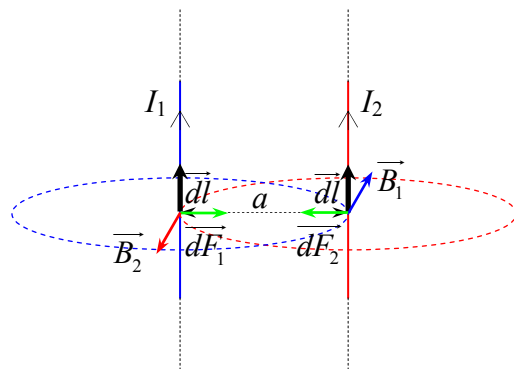
Ако променим посоката на тока в единия от проводниците (напр. I_2 , фиг. 3), големината на силите на взаимодействие няма да се промени. При промяната на тока I_2 обаче се променя на противоположната посоката на индукцията \vec{B}_2 , а оттам (1) и посоката на силата $d\vec{F}_1$ (посоката на векторното произведение), която действа на първия проводник. Силата $d\vec{F}_2$, която действа на втория проводник, също се променя на противоположната, защото елементът $d\vec{l}$ от втория проводник вече е насочен в противоположната посока, което (1) също променя посоката на векторното произведение. Следователно, **когато токовете протичат в противоположни посоки, силите на взаимодействие също са равни и в противоположни посоки, но са сили на отблъскване.**

Изразът (4) се използва за дефиниране на мерната единица за големина на тока в система SI – ампер (1 въпрос от Физика 1). Един ампер е постоянен електричен ток, който при протичане по два успоредни праволинейни проводника с безкрайна дължина и незначително кръгово напречно сечение, поставени на разстояние 1 m един от друг във вакуум, създава между тези два проводника взаимодействие със сила $2 \times 10^{-7} \text{ N}$ на всеки метър от тяхната дължина. Като използваме това определение, можем да получим и стойността на магнитната константа (магнитната проницаемост на вакуума) μ_0 в система SI. Ако $I_1=I_2=1 \text{ A}$ и $a=1 \text{ m}$, от (4) получаваме:

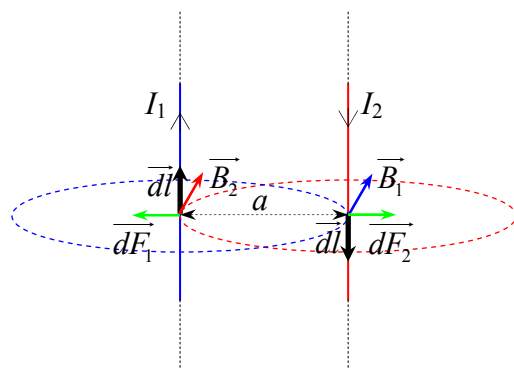
$$\frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \times 10^{-7} \text{ N/m}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

Мерната единица получаваме като заместим съответните мерни единици в (4).



фиг. 2



фиг. 3