

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. 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. 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 $d\vec{l}$ от проводника (фиг. 1) е пропорционална на големината на тока I , дължината на елемента $d\vec{l}$ и големината на магнитната индукция B на външното поле, като зависи и от взаимната ориентация на полето и проводника (ъгълът между $d\vec{l}$ и $\vec{B}$):**

$$(1) d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}.$$

Полученият израз (1) носи името **закон на Ампер**. Посоката на вектора $d\vec{l}$ е в посоката на тока. Посоката на силата се определя от посоката на векторното произведение $d\vec{l} \times \vec{B}$ и следователно винаги е перпендикулярна на проводника, защото е перпендикулярна на вектора $d\vec{l}$ (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 $d\vec{l}$, а следователно и на векторното произведение). Това обяснява завъртането на рамката, по която тече ток, 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 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 $d\vec{l}$ 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 $d\vec{l}$ сключват с $\vec{B}$ еднакви ъгли α), токът I е постоянен и магнитното поле е еднородно ($\vec{B} = \text{const}$) ще получим:

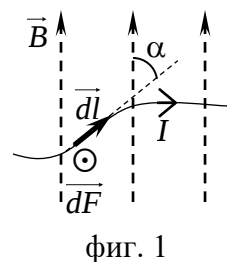
$$F = \int dF = IB \sin \alpha \int dl = IB l \sin \alpha,$$

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.

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 и големина:

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

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):

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

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 големина:

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

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

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

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:**

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

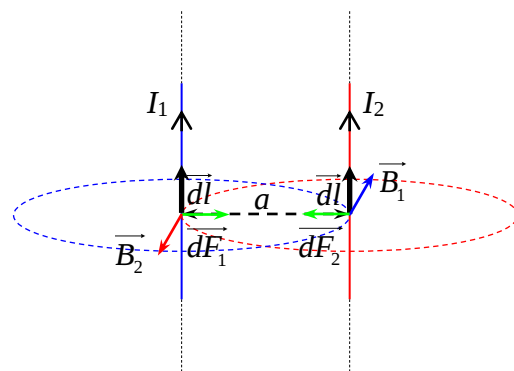
Ако променим посоката на тока в единия от проводниците (напр. I_2 , фиг. 3), големината на силите на взаимодействие няма да се промени. При промяната на тока I_2 обаче се променя на противоположната посоката на индукцията $\vec{B}_2$, а оттам (1) и посоката на силата $d\vec{F}_1$ (посоката на векторното 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.**

От израза (4), като се използва дефиницията на мерната единица за големина на тока в система SI – ампер, може да се определи силата на взаимодействие между два успоредни проводника поставени на разстояние **1 m** един от друг във вакуум – **$2 \cdot 10^{-7}$ N** на всеки метър от тяхната дължина. Като използваме тази стойност, можем да получим и стойността на магнитната константа (магнитната проницаемост на вакуума) μ_0 в система SI. Ако $I_1=I_2=1$ A и $a=1$ m, от (4) получаваме:

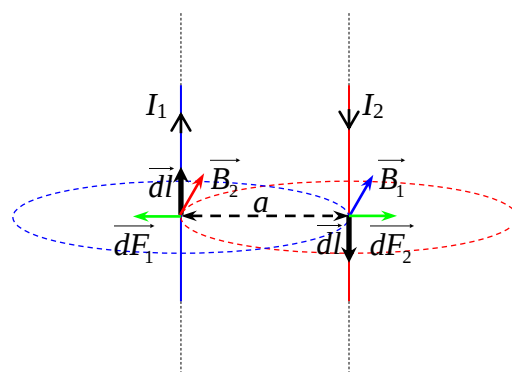
$$\frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N/m}.$$

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

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



фиг. 2



фиг. 3