

9. ЗАКОН НА АМПЕР

1. Сила на Ампер

Ако проводник, по който тече постоянен ток, бъде поставен в магнитно поле, върху него ще действа магнитна сила. Установено е, че тази сила зависи от формата на проводника. Затова най-напред ще разгледаме един елемент $d\vec{l}$ от проводника с безкрайно малка дължина dl , и той може да се счита за праволинеен проводник. По проводника тече електричен ток I и той се намира в магнитно поле \vec{B} , създадено от постоянен магнит или от друг проводник, по който тече електричен ток. Френският физик Андре-Мари Ампер опитно е установил, зависимост, която в негова чест е наречена **закон на Ампер**:

Силата, с която магнитното поле действа върху елемента $d\vec{l}$ от проводник по който тече ток, е пропорционална на големината на тока I , дължината на елемента $d\vec{l}$ и магнитната индукция на външното поле \vec{B} и зависи от взаимната ориентация на проводника и магнитното поле:

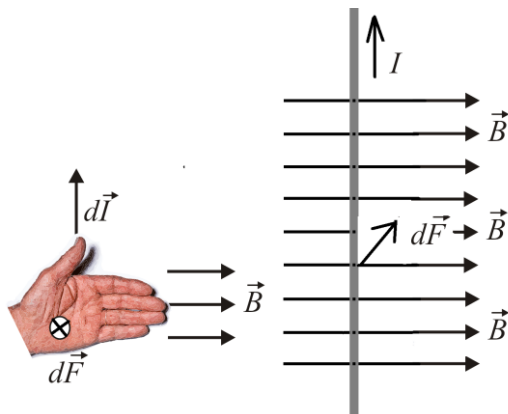
$$d\vec{F} = I(d\vec{l} \times \vec{B}) \quad (1)$$

Може да се въведе понятието токов елемент, като $d\vec{l} = Id\vec{l}$. Тогава зависимостта може да се запише така:

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

Големината на векторното произведение е равна на произведението на големините на двата вектора, умножено по синус от ъгъла α между тях:

$$|d\vec{l} \times \vec{B}| = dlB \sin(\angle d\vec{l}, \vec{B}) = dlB \sin(\alpha)$$



Тройката вектори $d\vec{l}$, \vec{B} и $d\vec{F}$ образуват дясна тройка и силата $d\vec{F}$ винаги е перпендикулярна на равнината, определена от векторите $(d\vec{l}, \vec{B})$.

Следователно, силата $d\vec{F}$ винаги е перпендикулярна на вектора на магнитната индукция \vec{B} и на проводника, по който тече електричен ток.

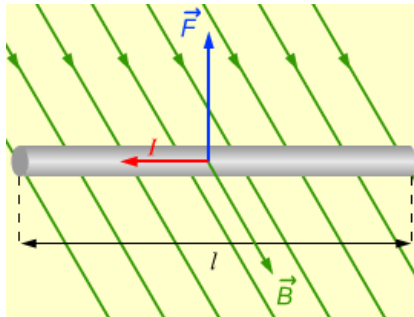
Посоката на силата $d\vec{F}$ се определя по **правилото на изпънатите пръсти на лявата ръка**.

Правило на изпънатите пръсти на лявата ръка - ако четирите изпънати пръсти определят посоката на магнитната индукция \vec{B} , а палеца – посоката на тока $d\vec{l}$, то силата $d\vec{F}$ пробожда дланта.

Пълната магнитна сила \vec{F} , действаща на целия проводник с дължина L , е векторна сума от магнитните сили, приложени към всички малки елементи, на които е разделен проводникът, т.е. тя може да се определи чрез интегриране на уравнение (1):

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

Ако магнитното поле е еднородно, т.е. $\vec{B} = const.$, а проводникът L е праволинеен, то силата, с която магнитното поле действа върху дължина l от проводника е:



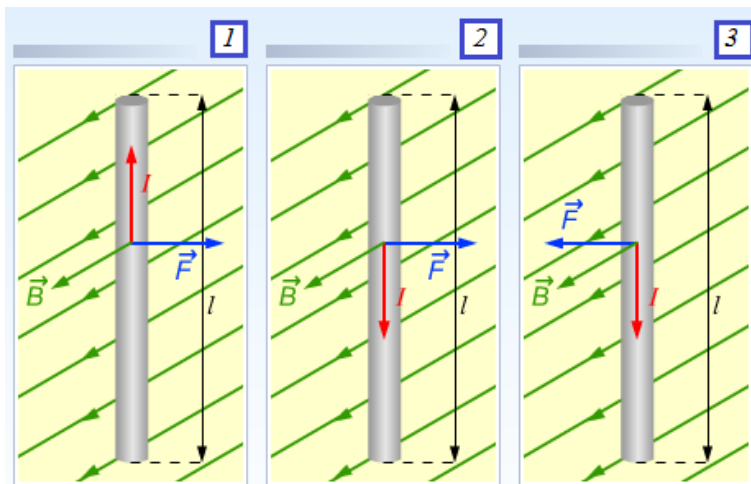
$$F = I l B \sin(\angle(\vec{dl}, \vec{B})). \quad (2)$$

Ако проводникът е перпендикулярен на магнитното поле ($\vec{dl} \perp \vec{B}$), то $\angle(\vec{dl}, \vec{B}) = 90^\circ$ и $\sin 90^\circ = 1$. Тогава магнитна сила е максимална и се получава:

$$F = I l B. \quad (3)$$

Силата, с която магнитното поле действа на поставените в полето проводници, по които тече ток, се нарича **магнитна сила** или **сила на Ампер**.

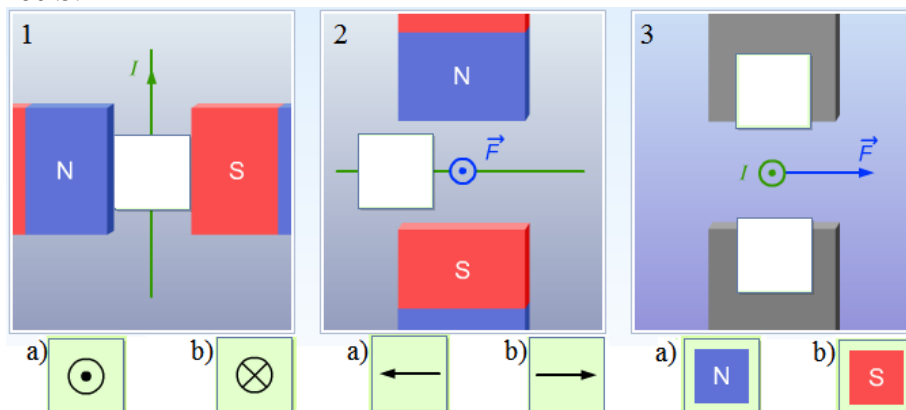
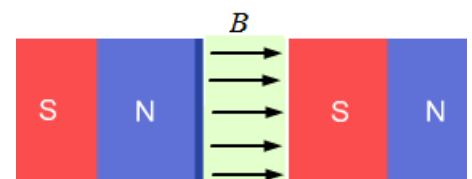
Задача 1. Преценете кои от илюстрациите са верни.



Задача 2. Определете посоките в трите случая:

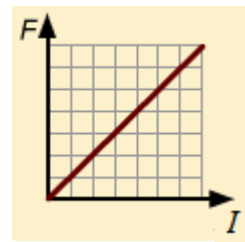
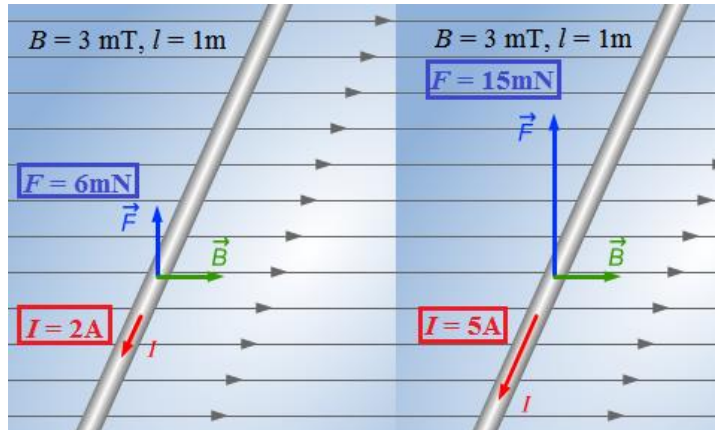
1. Определете посоката на магнитната сила
2. Определете посоката на тока през проводника.
3. Кой от полюсите е северен и кой е южен полюс?

Имайте в предвид, че магнитното поле между два пръчковидни магнита е насочено от северния N към южния полюс S.

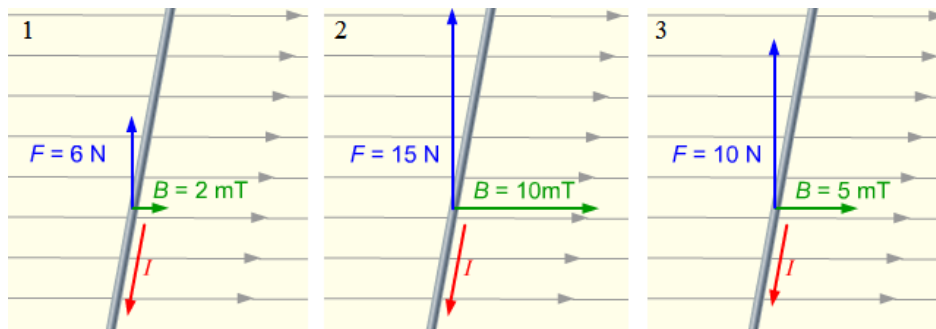


2. Зависимост между магнитната сила и големината на тока

Съгласно уравнение (2) големината на магнитната сила, с която магнитното поле действа на поставен в него проводник, по който тече ток, е пропорционална на големината на тока в проводника.

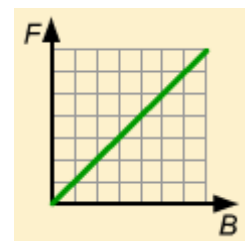
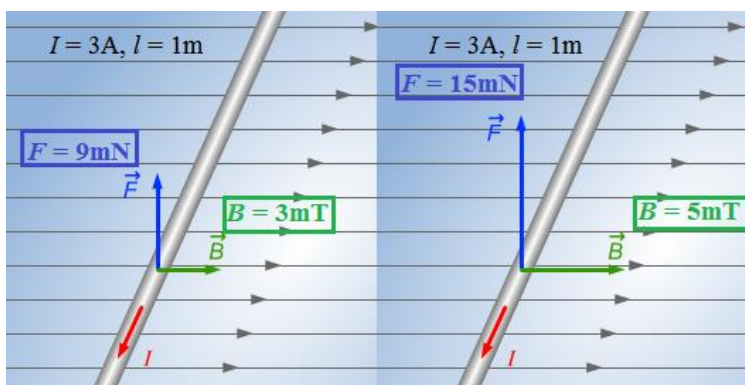


Задача 3. Изчислете тока, ако дължината на проводника е 1m за трите случая и ги подредете по реда на увеличаване на големината на тока в проводника.



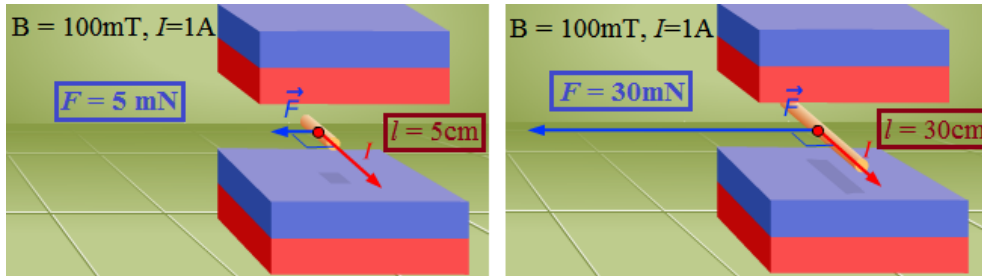
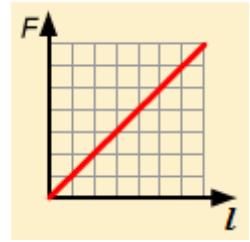
3. Зависимост между магнитната сила и големината на магнитната индукция на полето

Съгласно уравнение (2) големината на магнитната сила, с която магнитното поле действа на поставен в него проводник, по който тече ток, е пропорционална на големината на магнитната индукция на полето.



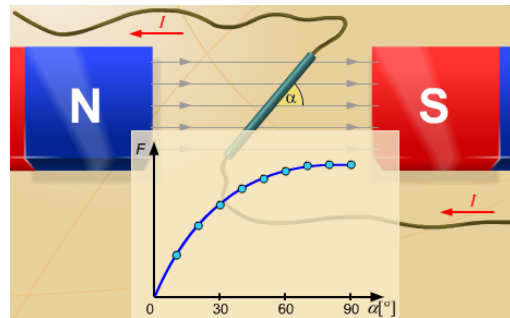
4. Зависимост между магнитната сила и дължината на проводника

Съгласно уравнение (2) големината на магнитната сила, с която магнитното поле действа на поставен в него проводник, по който тече ток, е пропорционална на дължината на проводника или на тази част от проводника, която е поставена в магнитно поле.



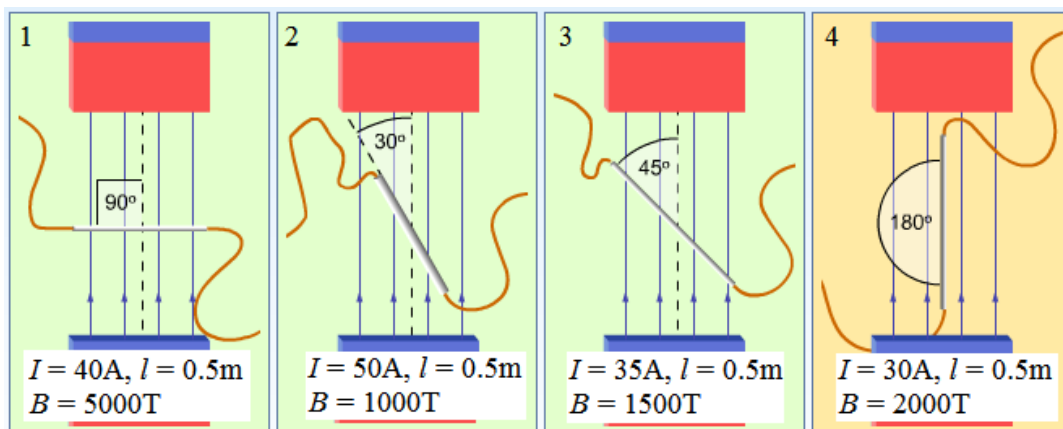
5. Зависимост между магнитната сила и положението на проводника

Съгласно уравнение (2) големината на магнитната сила зависи от ъгъла α между проводника и магнитните силови линии. Когато проводникът е поставен успоредно на силовите линии, върху него не действа никаква сила, а когато е поставен перпендикулярно, то силата, действаща върху него, е най-голяма.



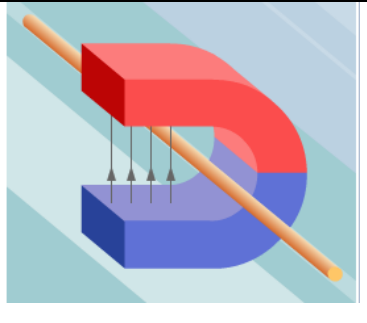
Задача 4. Изчислете магнитната сила в четирите случая и ги подредете в нарастващ ред на големината на магнитната сила, действаща върху проводника. За улеснение използвайте следните стойности:

$$\sin 180^\circ = 0; \sin 30^\circ = \frac{1}{2}; \sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}; \sin 90^\circ = 1$$

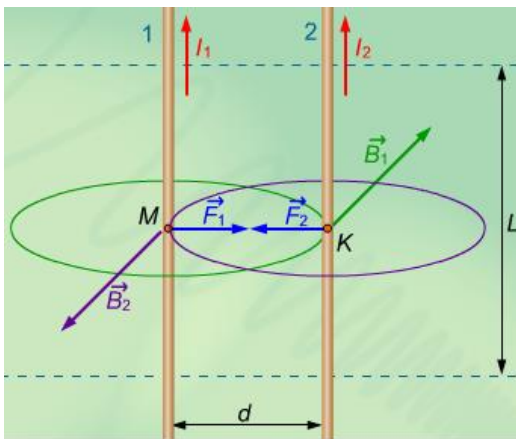


Задача 5. Проводник с дължина l , по който тече ток I , е поставен перпендикулярно на магнитните силови линии на магнитно поле с индукция B . На проводника действа магнитна сила F_m . Изчислете липсващите стойности в таблицата.

№	B, T	I, A	l, m	F_m, N
1	13	5	0.5	
2	2	9		180
3	5		2	200
4		3	5	120
5	4		6	4.8



6. Взаимодействие между успоредни токове



Разглеждаме два успоредни проводника, които се намират на разстояние d един от друг. По първия проводник тече ток с големина I_1 , а по втория – I_2 .

Токът I_1 създава магнитно поле B_1 и токът I_2 се намира в това магнитно, което му действа с определена сила F_2 , съгласно закона на Ампер. Магнитната индукция на полето създадено от ток I_1 в т. К на втория проводник е насочена перпендикулярно на проводника и е:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d} \quad (4)$$

Тогава магнитната сила, която действа на сегмент от втория проводник с дължина L , съгласно закона на Ампер е:

$$F_2 = B_1 I_2 L = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi d} L \quad (5)$$

Аналогично, токът I_2 създава магнитно поле B_2 и токът I_1 се намира в магнитното поле на тока I_2 , което му действа с определена сила F_1 , съгласно закона на Ампер. Магнитната индукция на полето създадено от ток I_2 в т. М на първия проводник е насочена перпендикулярно на проводника и е:

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d} \quad (6)$$

Тогава магнитната сила, която действа на сегмент от първия проводник с дължина L , съгласно закона на Ампер е:

$$F_1 = B_2 I_1 L = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi d} L \quad (7)$$

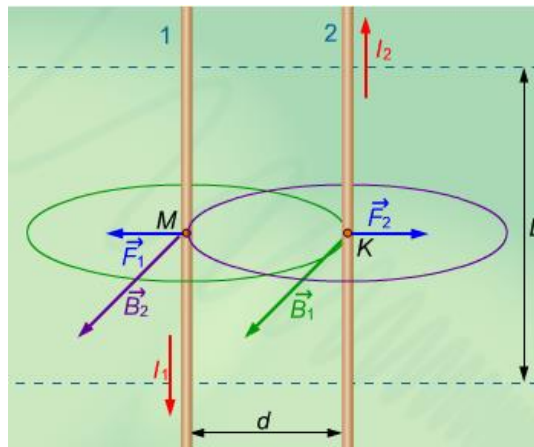
Посоката на двете сили се определят по правилото на изпънатите пръсти на лявата ръка и се получава, че двете сили са равни по големина и са противоположно насочени, т.е.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2. \quad (8)$$

Силите на взаимодействие на проводници, по които тече ток, изпълняват третия принцип на механиката.

Когато токовете в двата проводника текат в една посока, то проводниците се привличат.

Когато токовете в двата проводника текат в противоположни посоки, то проводниците се отблъскват.

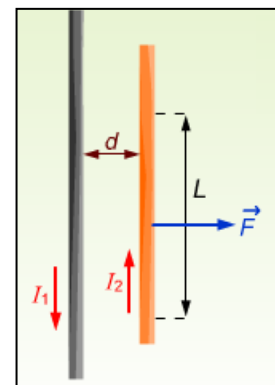


От уравнения (7) и (8) следва, че ако двата тока са равни по големина и са $I_1 = I_2 = 1 \text{ Ампер}$, $l = 1 \text{ m}$, $d = 1 \text{ m}$, то силата е $F = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$. Затова формула (7) се използва за определяне на единицата за ток – ампер.

Ампер – големината на такъв постоянен ток, който протичайки по два безкрайни успоредни проводника, поставени на разстояние 1 m един от друг, поражда сила на взаимодействие между тях на всеки метър дължина равна на $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$.

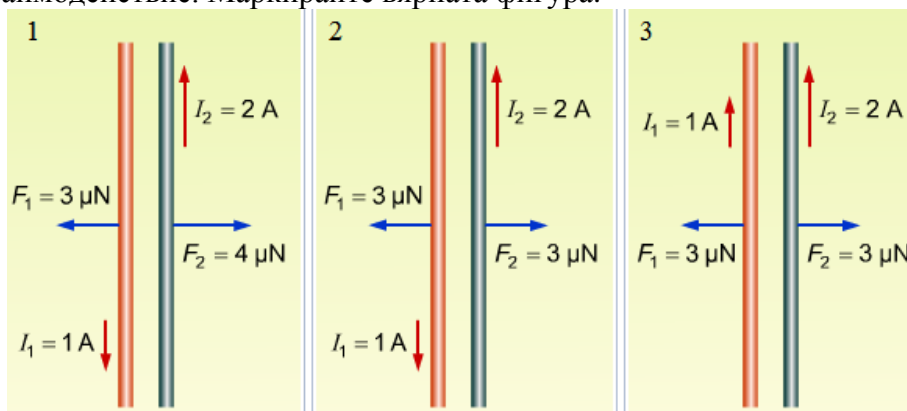
Задача 6.

По дълъг проводник тече ток с големина $I_1 = 2 \text{ A}$. На разстояние $d = 15 \text{ cm}$ от него е поставен втори проводник, с дължина $L = 1.5 \text{ m}$, по който тече ток $I_2 = 5 \text{ A}$. Намерете големината на магнитната сила, която действа на втория проводник. Приемете, че $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$.



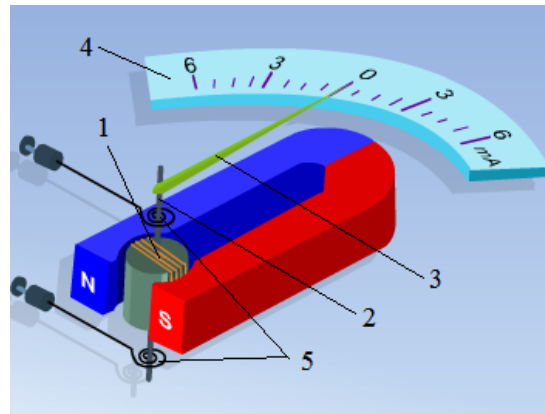
Задача 7.

Фигурите по-долу представят два проводника, по които тече ток, и силите на тяхното взаимодействие. Маркирайте вярната фигура.



7. Електрически измервателни уреди

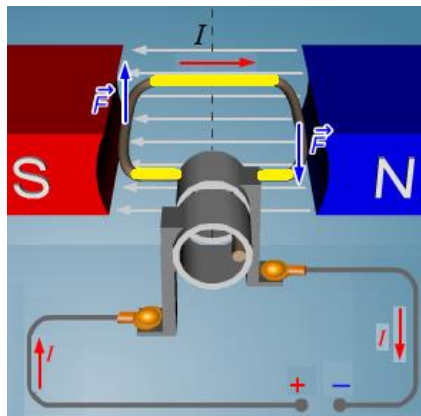
Някои електроизмервателни уреди използват магнитната сила. В магнитното поле на показаният уред е поставена намотка (1). Намотката е прекрепена към подходяща ос (2), към която е свързана стрелка (3). Стрелката се движи по разграфената скала (4), чрез която може да се отчете стойността на съответната физическа величина, например ток. Към двата края на намотката са прекрепени пружини (5), през които измерваният ток тече към намотката.



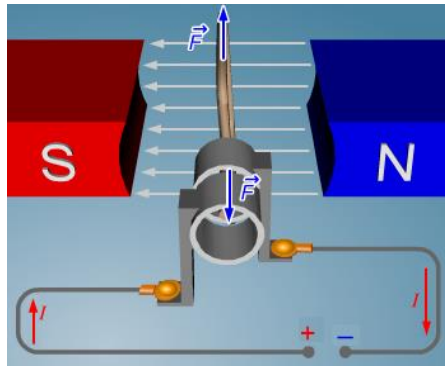
8. Рамка в магнитно поле

Ако поставим правоъгълна рамка в еднородно магнитно поле и пуснем ток по нея, на две от страните ще действат магнитни сили. В резултат от действието на тези сили рамката може да започне да се върти до положение на устойчиво равновесие.

Нека в началния момент равнината на рамката е успоредна на магнитните силови линии като на фигурата.

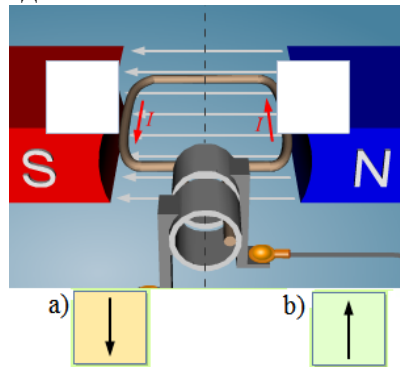


Двете срущуположни страни, оцветени в жълто, са успоредни на магнитните силови линии и на тях не им действа магнитна сила. Другите две срещуположни страни са с равна дължина l , по тях тече един и същ ток I и те са разположени перпендикулярно на силовите линии на магнитното поле B . Следователно на тях им действат равни по големина сили, показани на фигурата: $F_1 = F_2 = BIl$. Посоките на силите се определят по правилото на изпънатите пръсти на лявата ръка и се получава, че двете сили са равни по големина и са противоположно насочени, но не лежат на една права. Тези сили са двойка сили, те създават въртящ момент и завъртат рамката докато тя застане перпендикулярно на силовите линии. В това положение силите \vec{F}_1 и \vec{F}_2 лежат на една права и се уравновесяват. Това положение на рамката е равновесно.



Задача 8.

Определете посоките, в които действат магнитните сили.



Задача 9.

Изберете посоката, в която трябва да тече токът през рамката, така че рамката да се завърти в показаната посока.

