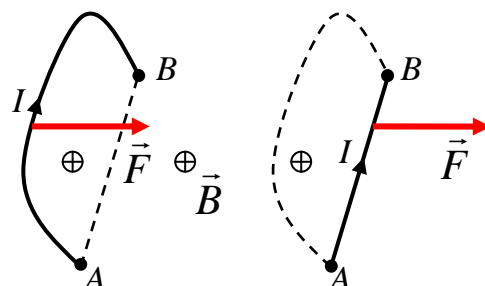


## 9. Силы Ампера

(Примеры решения задач)

### Пример 1.

Докажите, что сила Ампера, действующая со стороны однородного магнитного поля на криволинейный участок контура с током  $I$ , не зависит от формы участка и равна силе, действующей на прямолинейный проводник с током  $I$ , соединяющий концы рассматриваемого участка (рис.).



Решение.

Сила Ампера, действующая на малый фрагмент провода равна  $d\vec{F} = I[d\vec{l} \vec{B}]$ . При интегрировании по всему проводу учтем, что величины  $I$  и  $\vec{B}$  постоянные:

$$\vec{F} = I \left[ \int_A^B d\vec{l}, \vec{B} \right].$$

Но  $\int_A^B d\vec{l} = \vec{l}_{AB}$  - вектор, проведенный из  $A$  в  $B$ . Таким образом,

$$\vec{F} = I [\vec{l}_{AB} \vec{B}],$$

То есть сила совпадает с той, которая действовала бы на прямолинейный проводник  $AB$  с током  $I$ .

### Пример 2.

Тонкий металлический стержень согнули в виде прямого угла со сторонами  $a$ ,  $b$ , пустили по стержню ток  $I$  и поместили в однородное магнитное поле с индукцией  $B$ . Определите максимальную и минимальную величину силы Ампера, которая будет действовать на стержень при его различной ориентации в магнитном поле.

Решение.

Для определения силы Ампера достаточно рассмотреть силу, действующую на прямолинейный проводник с током  $I$ , соединяющий концы изогнутого стержня. Модуль этой сила равен  $F = I\sqrt{a^2 + b^2} B \sin \alpha$ , где  $\alpha$  - угол между вектором магнитной индукции и прямой, соединяющей концы изогнутого стержня. Максимальное значение силы  $F_m = IB\sqrt{a^2 + b^2}$  достигается, когда указанная прямая перпендикулярна вектору индукции, а минимальное значение силы 0, когда прямая перпендикулярна индукции.

### Пример 3.

Два длинных параллельных прямых провода находятся на расстоянии  $d$  друг от друга. По проводам текут в одном направлении токи  $I_1$  и  $I_2$ . Определите величину силы взаимодействия токов, приходящуюся на единицу длины проводов.

Решение.

Ток  $I_1$  первого провода создает магнитное поле, индукция  $\vec{B}$  которого в точках, где расположен второй провод, равна

$$B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}.$$

Направление вектора  $\vec{B}$  показано на рисунке. Эту формулу можно получить, используя закон Био-Савара, или при помощи теоремы о циркуляции вектора  $\vec{B}$ .

Найдем силу Ампера, действующую на малый фрагмент второго провода длиной  $d\vec{l}$ :

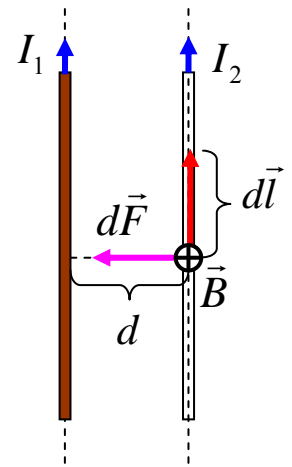
$$d\vec{F} = I_2 [d\vec{l} \vec{B}].$$

Направление этой силы показано на рисунке, а ее модуль равен:

$$dF = I_2 dB = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} dl.$$

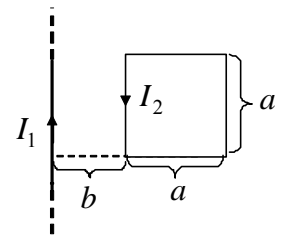
Сила взаимодействия, приходящаяся на единицу длины проводов, равна

$$f = \frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}.$$



**Пример 4.**

Прямой длинный провод и квадратная проволочная рамка лежат в одной плоскости на расстоянии  $b$  друг от друга, как показано на рисунке. Ток в проводе равен  $I_1$ , ток в рамке  $I_2$ . Определите величину  $F$  силы Ампера, которая действует на рамку со стороны провода с током  $I_1$ .



Решение.

В точках, удаленных от провода на расстояние  $b$ , индукция магнитного поля, созданного током  $I_1$ , равна

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi b}.$$

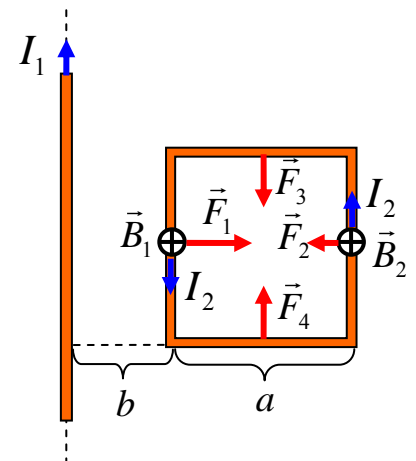
В точках, удаленных от провода на расстояние  $a + b$ , магнитное поле равно

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi(a + b)}.$$

При помощи выражения  $d\vec{F} = I [d\vec{l} \vec{B}]$  найдем направления и величины сил Ампера, действующих на стороны рамки с током:

$$F_1 = I_2 B_1 a, \quad F_2 = I_2 B_2 a.$$

Силы  $F_3$  и  $F_4$  вычисляются сложнее, поскольку вдоль соответствующих сторон рамки магнитное поле изменяется, однако нет необходимости проводить интегрирование, поскольку в силу симметрии  $\vec{F}_3 = -\vec{F}_4$ . Поскольку  $B_1 > B_2$ , то  $F_1 > F_2$ . Поэтому рамка будет отталкиваться от провода с

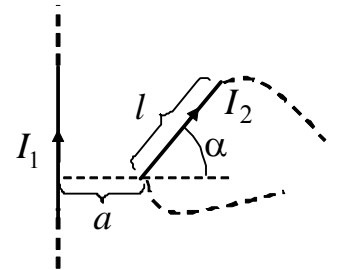


силой  $F = F_1 - F_2$ . После подстановок получим ответ

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 a^2}{2\pi b(a+b)}.$$

### Пример 5.

Прямой длинный провод и прямой проводник длиной  $l$  лежат в одной плоскости. По проводу протекает ток  $I_1$ , а по проводнику – ток  $I_2$ . Известны расстояние  $a$  и угол  $\alpha$ , определяющие положение проводника относительно провода (рис.). Укажите на рисунке направление силы Ампера, действующей на проводник, и определите величину этой силы.



Решение.

На каждый малый элемент проводника длиной  $dl$  со стороны магнитного поля  $\vec{B}$ , созданного током  $I_1$ , действует сила Ампера

$$d\vec{F} = I_2 [d\vec{l} \vec{B}],$$

где вектор  $d\vec{l}$  направлен вдоль тока  $I_2$  в проводнике.

Магнитное поле прямого бесконечно длинного проводника с током  $I_1$  во всех точках, где располагается проводник с током  $I_2$ , направлено «от нас» в плоскость чертежа. Величина вектора индукции зависит от расстояния  $x$  от провода-источника поля до элемента  $dl$ :

$$B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x}.$$

Направление вектора  $d\vec{F}$  показано на рисунке, модуль этого вектора равен

$$dF = \frac{\mu_0 I_1 I_2 dl \sin(\pi/2)}{2\pi x} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 dl}{2\pi x}.$$

Из рисунка видно, что

$$dl \cos \alpha = dx.$$

Поэтому

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi \cos \alpha} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{x} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi \cos \alpha} \ln \frac{x_2}{x_1}.$$

Учитывая, что  $x_1 = a$ , а  $x_2 = a + l \cos \alpha$  – расстояния от концов проводника до провода, получим

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi \cos \alpha} \ln \left( 1 + \frac{l \cos \alpha}{a} \right).$$

