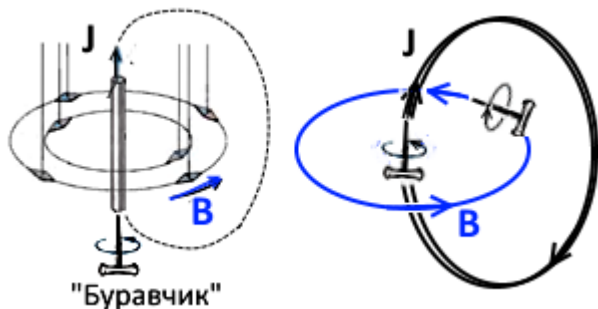


## «Правило буравчика»

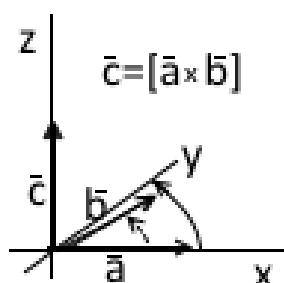
В теме магнетизма есть сложность определения взаимных направлений токов, магнитного поля и сил. Есть много всяких правил, типа «правило левой руки», «правило правой руки», «правило буравчика». Всё это сильно усложняют тему. Мы с вами ограничимся одним «**правилом буравчика**», этого вполне достаточно. Хотя упомянем и остальные.



"Буравчик"

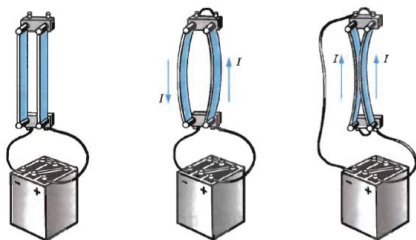
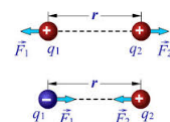
«**Правило буравчика**»: Если направить острие буравчика по направлению тока  $J$ , то направление вращения его ручки покажет направление  $B$ .

**Важно.** В статических картинах токи никогда не бывают бесконечными, они всегда идут по замкнутым линиям. Это отражено на левом рисунке пунктиром. Так вот. Как можно «правилом буравчика» определить направление  $B$ , так же с его помощью, направляя буравчик вдоль  $B$  можно определить направление предполагаемого тока  $J$ . Проверьте по рисунку сами (справа на рисунке).



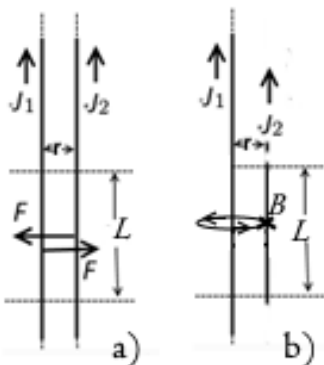
«**Правило буравчика**» пригодится вам и в математике, в т.н. «**векторном произведении**». В нем результат произведения двух векторов  $a$  и  $b$  тоже вектор. Записывается  $c=[a \times b]$ . Вектор  $c$  направлен перпендикулярно обоим этим векторам  $a$  и  $b$ . Если вектор  $a$  направлен, скажем, вдоль оси  $x$ , а направление вектора  $b$  получается поворотом от оси  $x$  к оси  $y$ , то результирующий вектор  $c = [a \times b]$  направлен вдоль оси  $z$ . Практически, это то же «правило буравчика»

## Вернемся к закону Ампера (взаимодействие токов).



Вспомним закон Кулона. Его можно представить:

- 1) в виде непосредственного взаимодействия двух зарядов  $q_1$  и  $q_2$ :  $F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$  ;
- 2) а можно опосредовано, так что заряд  $q_1$  создает поле  $E$ :  $E = k \frac{q_1}{r^2}$ , а на заряд  $q_2$  действует сила, создаваемая полем  $E$  на заряд  $q_2$ :  $F = E \cdot q_2$  .



Вот, так же поступают и с взаимодействием токов:

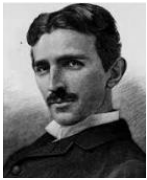
- 1) можно взаимодействие двух токов фрагмента  $L$  описать

непосредственно (а):  $F = \frac{\mu_0 J_1 J_2 \cdot L}{2\pi r}$ , где  $\frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \times 10^{-7}$ ;

- 2) а можно представить, что бесконечный (длинный) проводник с током  $J_1$  создает вокруг себя круговое поле  $B(r)$  (b):

$B(r) = \frac{\mu_0 J_1}{2\pi r}$ , а  $F = B(r) \cdot J_2 L$ , когда поле  $B$  проводника с током  $J_1$  действует на элемент с током  $J_2$  длиной  $L$  ( $J_2 \cdot L$ ).

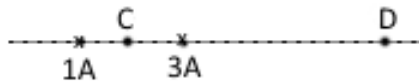
**Мы по ситуации будем использовать оба подхода.**



**Важно.** Единицей измерения поля **B** является «Тл» («тесла») в честь гениального физика 1-й половины 20-го века серба Николы Тесла. Всё, что у нас работает на переменном токе – изначально изобретено им. Работал в США.

До введения системы СИ вместо нынешнего магнитного поля **B** было несколько отличное от **B** поле **H**, и измерялось оно в «эрстедах».

**Пример.** Попробуем сосчитать поле **B** в разных точках от двух «длинных» параллельных проводников с токами 1А слева и 3А справа (на расстоянии 0.1м). Найти величину и направление **B** на расстоянии от левого провода 0.05м, на расстоянии от левого 0.5м.



**Решение.**

Крестиками обозначены 2 проводника, с токами  $J_1=1\text{А}$  и  $J_2=3\text{А}$ , которые направлены от нас, о чем

говорят крестики.  $B(r) = \frac{\mu_0 J}{2\pi r}$ , где  $\frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \times 10^{-7}$ ; Сначала для простоты считаем без множителя  $2 \times 10^{-7}$ .

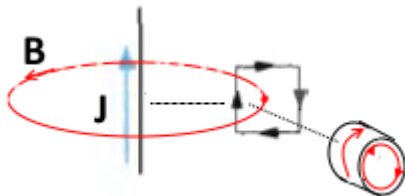
**В точке С** расстояния  $r$  от обоих токов 0.05м. Поле **B** от тока  $J_1$  по «правилу буравчика» направлено вниз  $B_1=1\text{А}/0.05\text{м}=20$ . От тока  $J_2$  поле  $B_2$  направлено вверх:  $B_2=3\text{А}/0.05\text{м}=60$ . Результирующее поле в т.С направлено **вверх**:

$$(60-20) \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 8 \cdot 10^{-6} \text{Тл.}$$

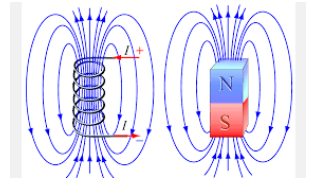
**В точке D** расстояния  $r$  от токов 0.3м и 0.2м. Поле **B** и от тока  $J_1$ , и от тока  $J_2$  по «правилу буравчика» направлено вниз.  $B_1=1\text{А}/0.3\text{м}=3.33$ . От тока  $J_2$  поле  $B_2$ :

$$(3.33+15) \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 3.666 \cdot 10^{-6} \text{Тл.}$$

### Как получается «поверхностный ток» на поверхности магнитов.



Мы, рассказывая об Ампере, собирались вернуться к вопросу о поверхностном токе на магните, наличие которого предположил Ампер. Поскольку он увидел полное сходство магнитных

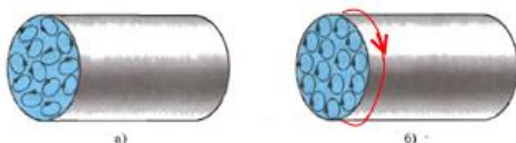


свойств магнита и катушки с током.

И предположил, что выстраивание магнитных стрелок и опилок вокруг проводника с током **J** определено **взаимодействием тока J в проводнике и поверхностных токов на магните.**

Атомы, из которых состоит магнит, сами являются «магнитами», в них магнитные свойства обеспечиваются орбитальным движением электронов в атомах.

Атомы внутри магнита сами по себе объединяются в некоторые «объединения», называемые «доменами», в которых атомы выстраиваются параллельно (по своим **B**). Без внешнего магнитного поля у разных доменов поле **B** направлено в разные стороны. А при «намагничивании» магнита поле **B** атомов разных доменов выстраиваются в одном направлении. Как можно объяснить **поверхностный ток**?



На рисунке б) атомы под действием внешнего поля **B** выстраиваются одинаково (круговые микротоки).



На рисунке справа видно, что при однонаправленных внутренних круговых токах **смежные токи** у каждой двух круговых токов **направлены противоположно** и «взаимоуничтожаются». И только «**внешние**» токи (без соседей) создают «картину».