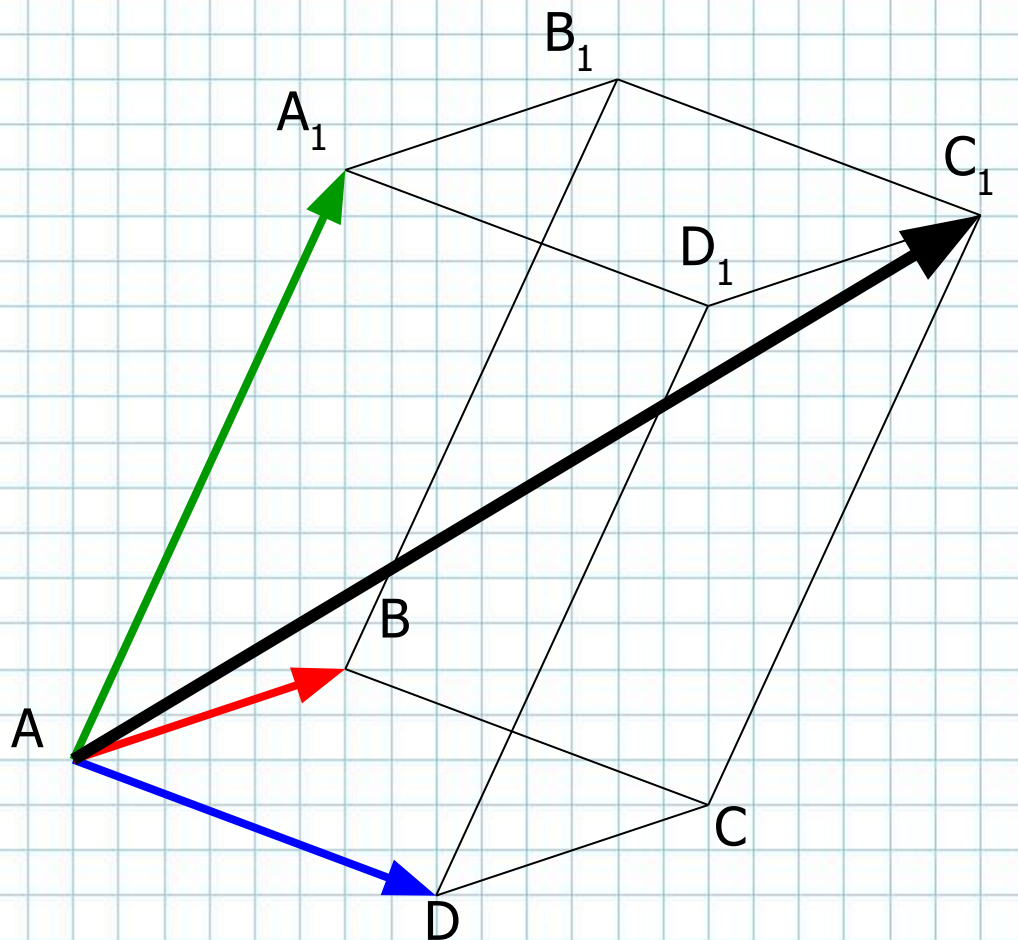


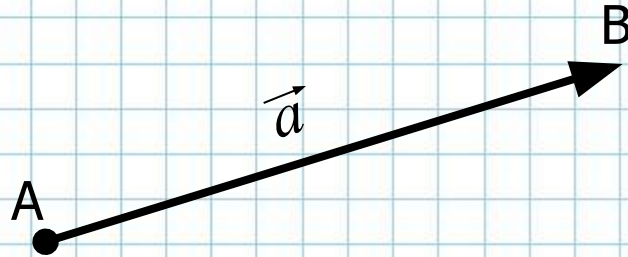
# Векторы в пространстве



$$\overline{AC_1} = \overline{AB} + \overline{AD} + \overline{AA_1}$$

# I. Определение вектора. Основные понятия, связанные с векторами.

Как и в плоскости, в пространстве вектор определяется как **направленный отрезок**:



Точка A – начало вектора, B – конец вектора. Записывают:  $\overline{AB}$  или  $\overline{a}$ .

Обычную точку в пространстве мы также можем считать вектором, у которого начало совпадает с конечной точкой. Такой вектор называется **нулевым** и обозначается:  $\mathbf{0}$  или  $\overline{AA}$ .



Длина отрезка, изображающего вектор, называется **модулем** (или абсолютной величиной) вектора, т.е.

$$|\overline{AB}| = AB \text{ (длина отрезка AB).}$$

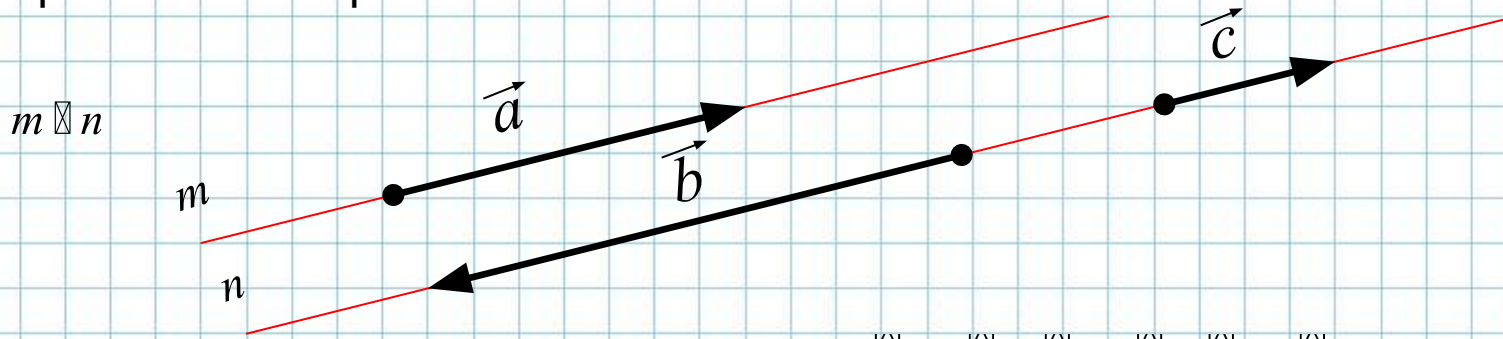
Естественно, что  $|\overline{AA}| = 0$ .

Векторы  $\overline{AB}$  и  $\overline{BA}$  являются **противоположными**. Очевидно, что:

$$|\overline{AB}| = |\overline{BA}|.$$



Два вектора называются **коллинеарными**, если они лежат на одной прямой или на параллельных прямых:



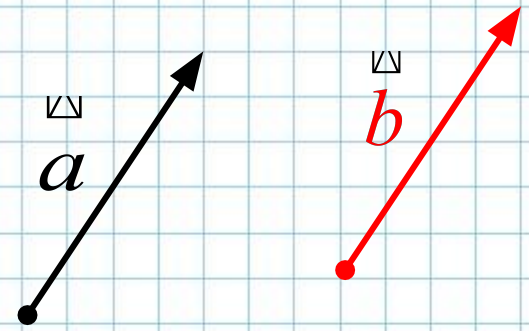
Обозначение коллинеарных векторов:  $\vec{a} \parallel \vec{b}$ ,  $\vec{a} \parallel \vec{c}$ ,  $\vec{c} \parallel \vec{b}$ .

Коллинеарные векторы, в свою очередь, бывают одинаково направленными (или сонаправленными) и противоположно направленными. В нашем случае:

$\vec{a} \uparrow \vec{c}$  – сонаправленные векторы,  $\vec{a} \downarrow \vec{b}$  – противоположно направленные векторы.

Два вектора называются **равными**, если: 1) они сонаправлены; и 2) их модули равны, т.е.

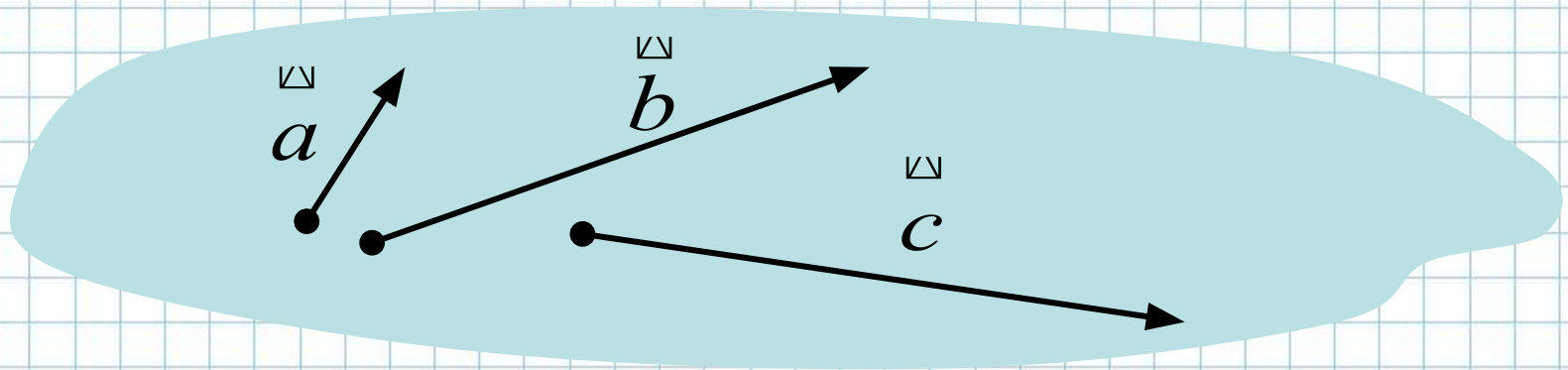
$$\vec{a} = \vec{b} \Leftrightarrow \vec{a} \uparrow \vec{b} \text{ и } |\vec{a}| = |\vec{b}|$$



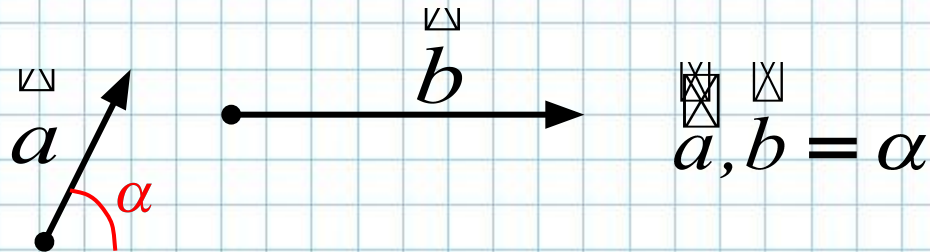
От произвольной точки пространства можно отложить единственный вектор, равный данному:



Три вектора называются **компланарными**, если они лежат в одной плоскости:



**Углом между векторами** называется угол между их направлениями:



Величина угла между векторами может изменяться от  $0^{\circ}$  до  $180^{\circ}$ . Подумайте, когда:

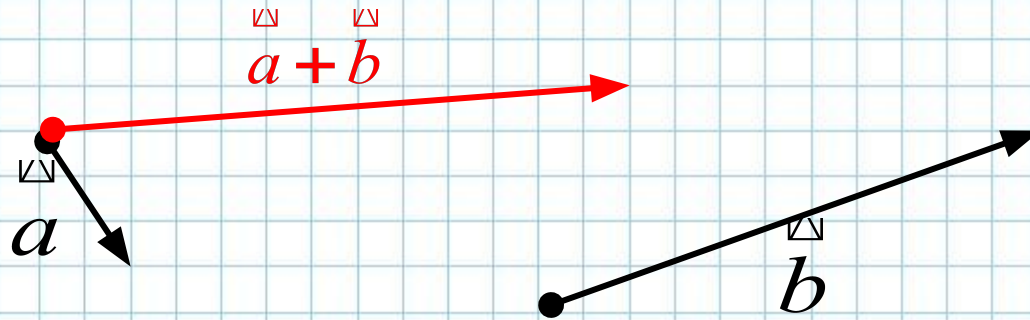
а)  $\angle(\vec{a}, \vec{b}) = 0^{\circ}$  и б)  $\angle(\vec{a}, \vec{b}) = 180^{\circ}$  ?

Ответ: а)  $\vec{a} \uparrow \vec{b}$ ; б)  $\vec{a} \updownarrow \vec{b}$  .

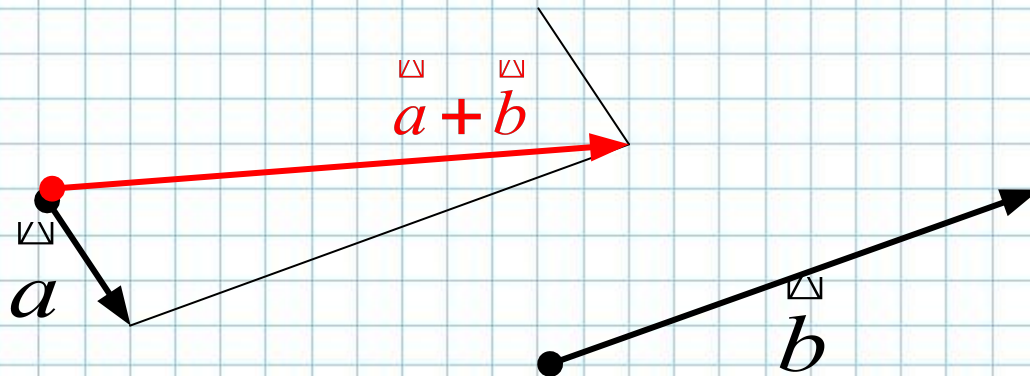
## II. Действия с векторами.

Векторы можно **складывать** – в результате получается **вектор**. При сложении двух векторов применяются **правила треугольника или параллелограмма**:

1) При применении правила треугольника один из векторов откладывают от конца другого, т.е.  $\overrightarrow{MK} + \overrightarrow{KF} = \overrightarrow{MF}$ :

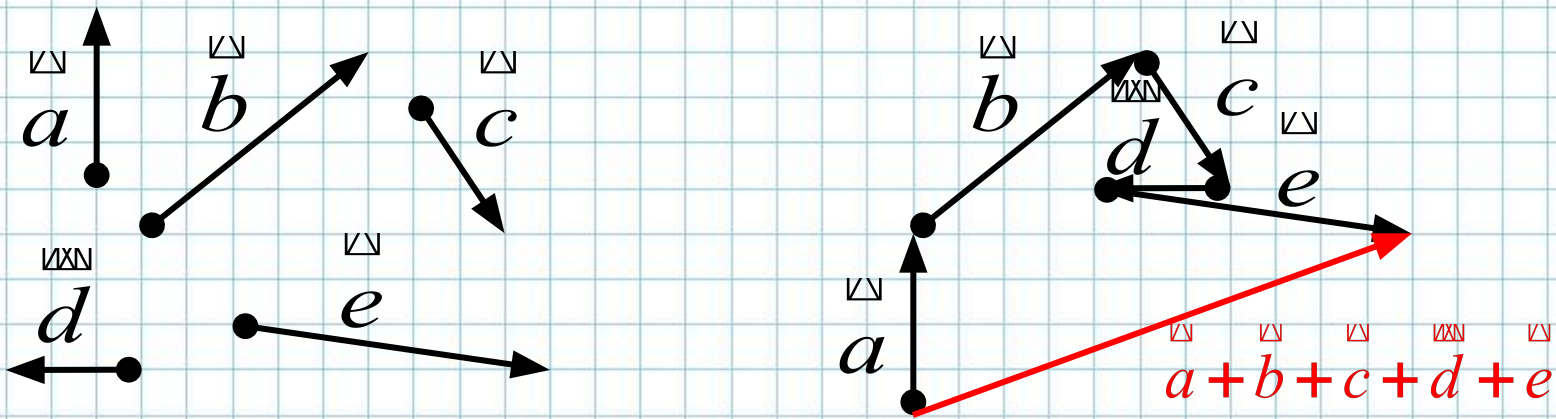


2) При применении правила параллелограмма оба вектора откладывают из общей начальной точки, т.е.  $\overrightarrow{MK} + \overrightarrow{MN} = \overrightarrow{MF}$ , где F – вершина параллелограмма, противоположная общей начальной точке векторов.

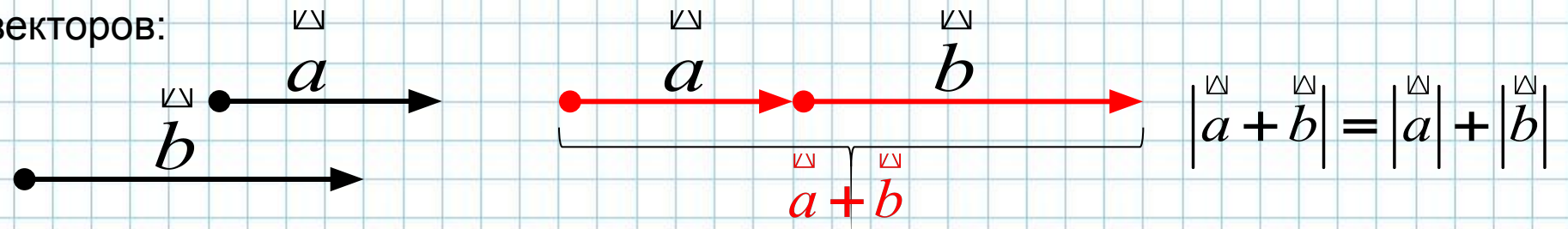




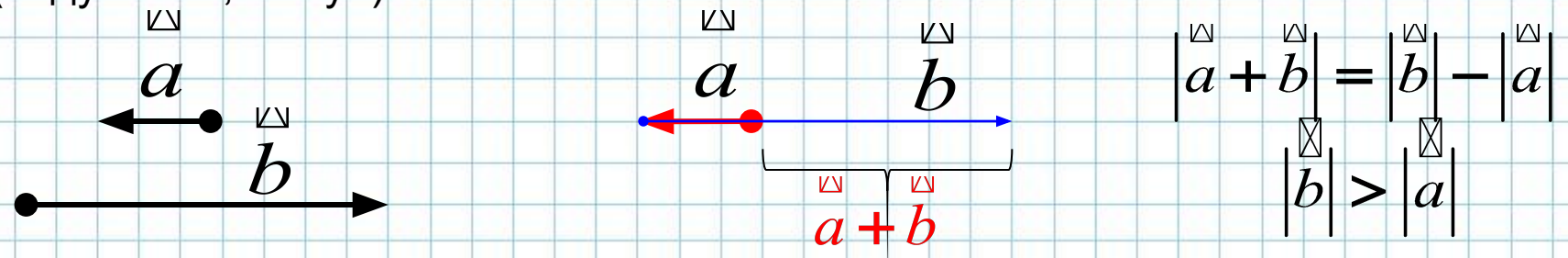
При сложении трех и более векторов применяют **правило многоугольника**:



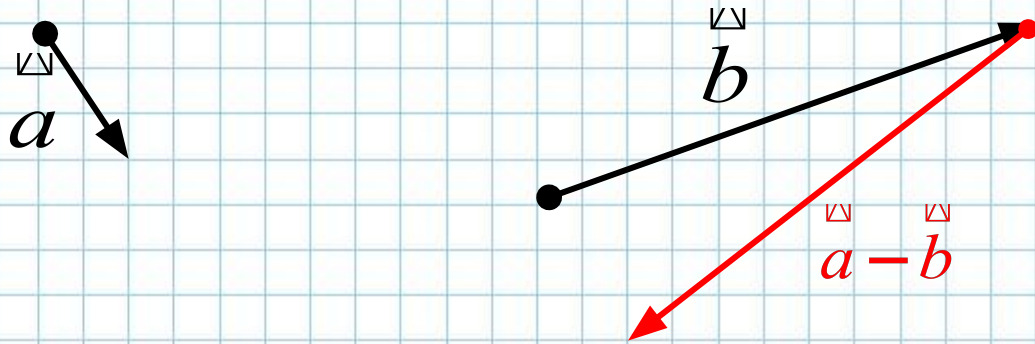
Обратим внимание, что при сложении сонаправленных векторов получается вектор, сонаправленный с данными и его модуль равен сумме модулей слагаемых векторов:



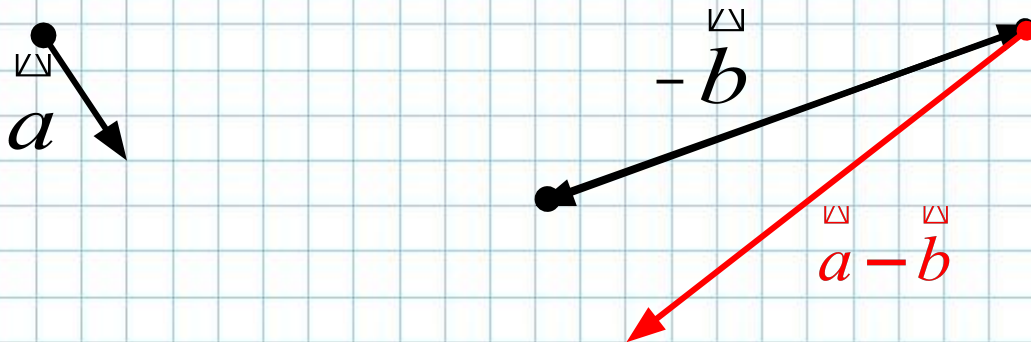
При сложении противоположно направленных векторов получается вектор, сонаправленный с вектором, имеющим бóльшую длину и его модуль равен ... (подумайте, чему?):



Также можно найти **разность** двух векторов – в результате получается **вектор**. При вычитании двух векторов применяется видоизмененное **правило треугольника** – вначале оба вектора строятся с общей начальной точкой, затем соединяются концы этих векторов с выбором направления к «уменьшаемому» вектору:



Или: т.к.  $\vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$ , то можно вначале построить вектор, противоположный вектору  $\vec{b}$ , а затем оба вектора сложить по правилу треугольника.

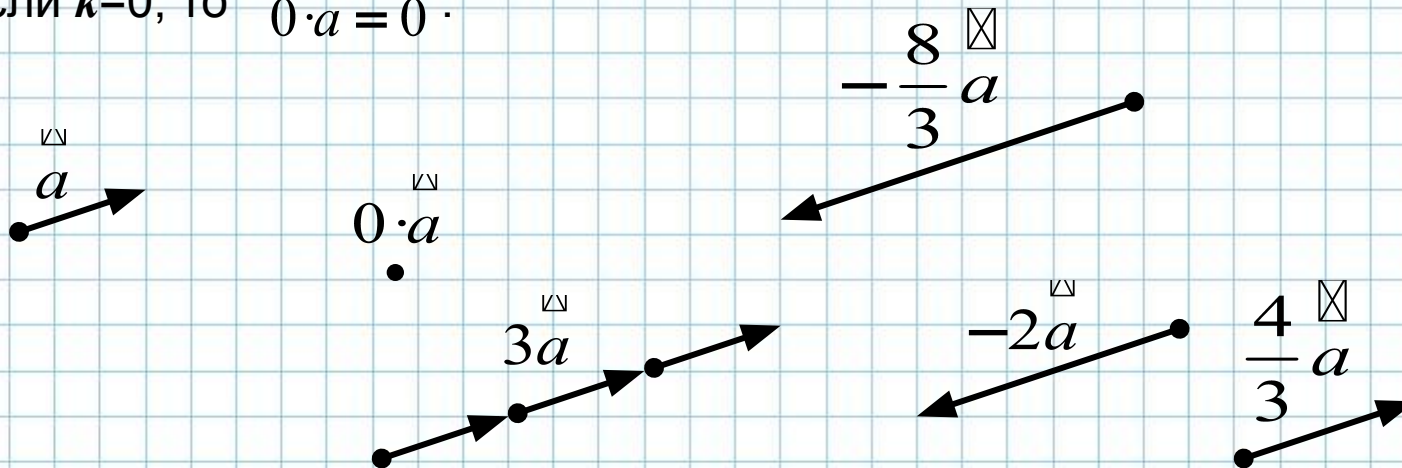


Сложение векторов, как и сложение чисел подчиняется законам:

- 1)  $\vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a}$  – переместительный закон сложения;
- 2)  $\vec{a} + (\vec{b} + \vec{c}) = (\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c}$  – сочетательный закон сложения;
- 3)  $\vec{a} + \vec{0} = \vec{a}$  ;
- 4)  $\vec{a} + (-\vec{a}) = \vec{0}$  .

Следующее действие с векторами – **умножение вектора на число  $k$** . В результате этого действия получается **вектор**, причем:

- 1) если  $k > 0$ , то  $k\vec{a} \uparrow\uparrow \vec{a}$  и  $|k\vec{a}| = |k| \cdot |\vec{a}|$  ;
- 2) если  $k < 0$ , то  $k\vec{a} \uparrow\downarrow \vec{a}$  и  $|k\vec{a}| = |k| \cdot |\vec{a}|$  ;
- 3) если  $k = 0$ , то  $0 \cdot \vec{a} = \vec{0}$  .



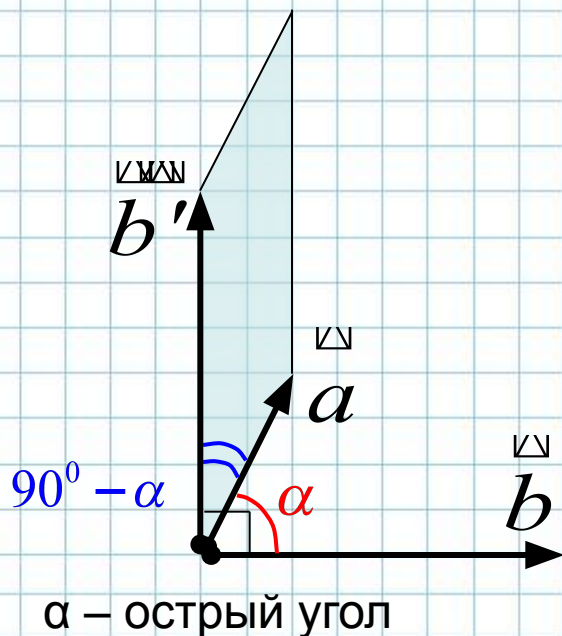


И еще одно действие с векторами – умножение двух векторов. В школьном курсе геометрии изучается **скалярное произведение** векторов. В результате этого действия (в отличие от предыдущих действий с векторами) получается **число**, равное произведению модулей двух данных векторов на косинус угла между этими векторами, т.е.

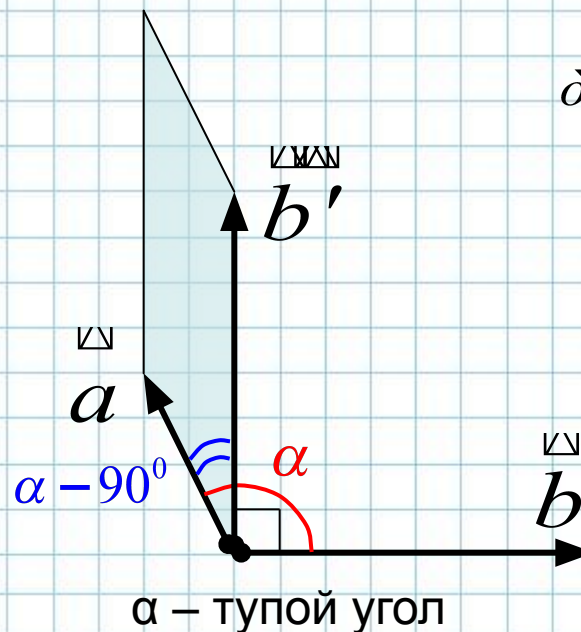
$$a \cdot b = |a| \cdot |b| \cdot \cos \alpha, b.$$

Геометрически скалярное произведение векторов можно понимать как площадь параллелограмма (или противоположная ей величина), стороны которого образуются одним из данных векторов и вектором, перпендикулярным второму с таким же модулем:

$$S = |a| \cdot |b'| \cdot \sin(90^\circ - \alpha) = |a| \cdot |b| \cdot \cos \alpha = a \cdot b; \quad S = |a| \cdot |b'| \cdot \sin(\alpha - 90^\circ) = -|a| \cdot |b| \cdot \cos \alpha = -a \cdot b.$$



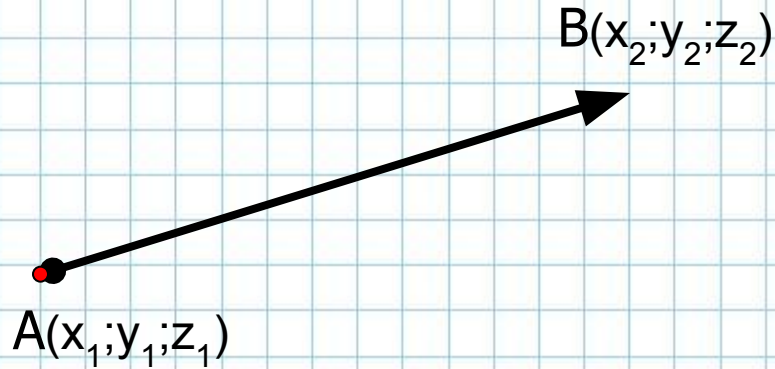
$$|b| = |b'|$$



$$\vec{a} \cdot \vec{b} = S$$

### III. Координаты вектора. Действия в координатах.

Теперь рассмотрим все эти понятия и действия с точки зрения координатного пространства. Вспомним, что любая точка пространства задается тремя координатами  $A(x; y; z)$ .



Если принять вектор за параллельный перенос начальной точки  $A(x_1; y_1; z_1)$  в конечную точку  $B(x_2; y_2; z_2)$ , то **координаты вектора** показывают: *на сколько изменяются соответствующие координаты начальной точки при параллельном переносе в конечную*, т.е.

$$\overline{AB}(x_2 - x_1; y_2 - y_1; z_2 - z_1)$$

Естественно, что  $\overline{AA}(0; 0; 0)$  и  $\overline{BA}(x_1 - x_2; y_1 - y_2; z_1 - z_2)$ .

Т.к. **модуль вектора** равен длине изображающего его отрезка, то:

$$|\overline{AB}| = \sqrt{m^2 + n^2 + k^2}, \text{ где } \overline{AB}(m; n; k) \text{ – координаты вектора.}$$

Два вектора, заданные координатами  $\overline{a}(m_1; n_1; k_1)$  и  $\overline{b}(m_2; n_2; k_2)$  будут **равны**, если (подумайте) ...

...равны их соответствующие координаты, т.е.  $m_1 = m_2, n_1 = n_2, k_1 = k_2$ .

Для **сложения** двух векторов, заданных координатами, нужно просто сложить их соответствующие координаты, т.е.

$$\overline{(m_1; n_1; k_1)} + \overline{(m_2; n_2; k_2)} = \overline{(m_1 + m_2; n_1 + n_2; k_1 + k_2)}.$$

При **вычитании** векторов, заданных координатами, нужно найти разности их соответствующих координат, т.е.

$$\overline{(m_1; n_1; k_1)} - \overline{(m_2; n_2; k_2)} = \overline{(m_1 - m_2; n_1 - n_2; k_1 - k_2)}.$$

**Умножение** вектора, заданного координатами, **на число** выполняется так:

$$\overline{\alpha(m; n; k)} = \overline{(\alpha m; \alpha n; \alpha k)}, \quad \alpha \in \mathbb{R}$$

**Скалярное произведение** двух векторов, заданных координатами, равно сумме произведений соответствующих координат, т.е.

$$\overline{(m_1; n_1; k_1)} \cdot \overline{(m_2; n_2; k_2)} = m_1 m_2 + n_1 n_2 + k_1 k_2.$$

Условием **коллинеарности** двух векторов, заданных координатами, будет пропорциональность их соответствующих координат:

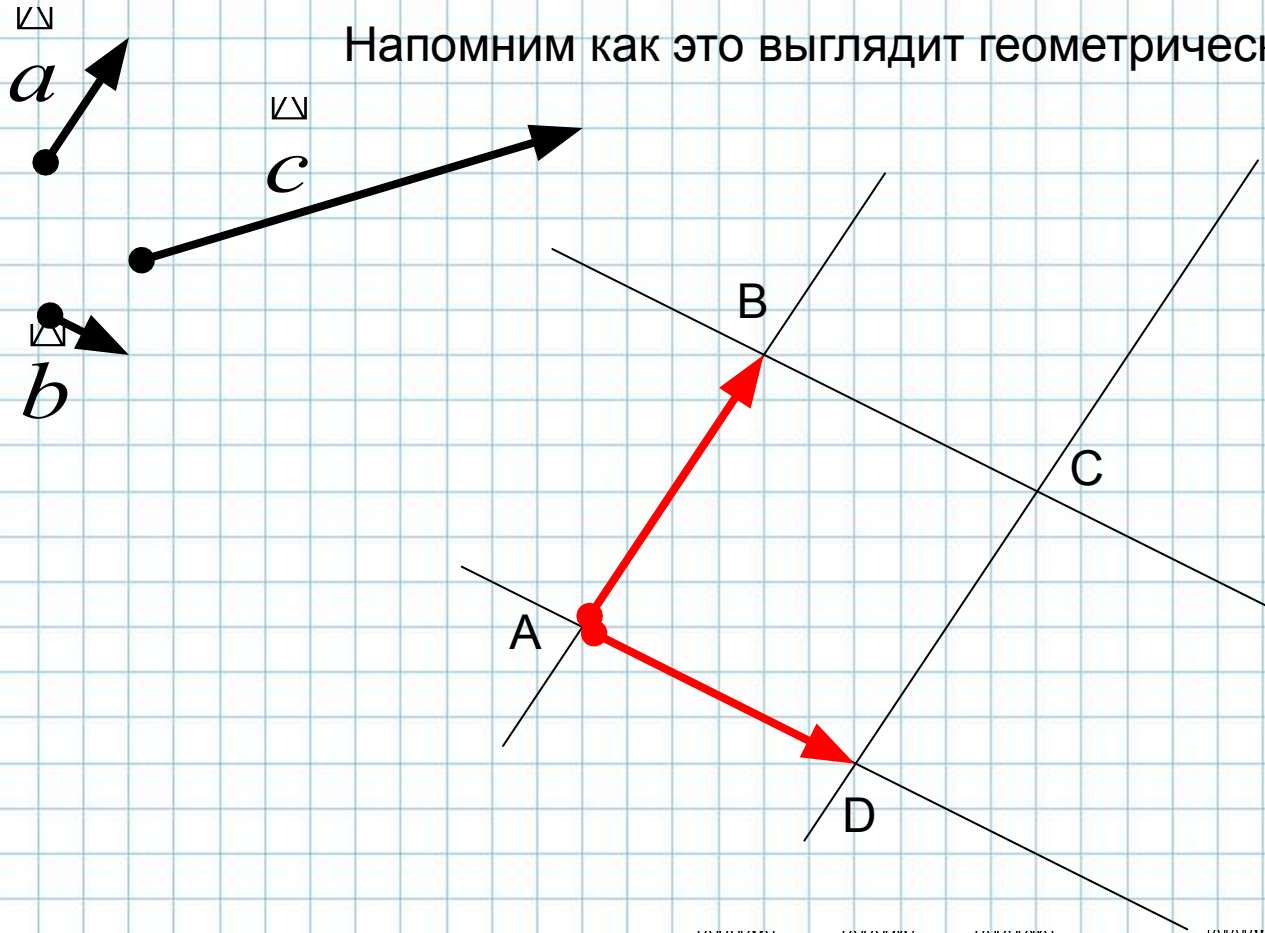
$$\overline{\alpha a} \parallel \overline{\beta b} \Leftrightarrow \frac{\alpha m_1}{\beta n_1} = \frac{\alpha m_2}{\beta n_2} = \frac{\alpha k_1}{\beta k_2} = \lambda$$

Самостоятельно разберитесь, когда  $\overline{a} \uparrow \uparrow \overline{b}$  и  $\overline{a} \uparrow \downarrow \overline{b}$ .

Для выяснения **компланарности** трех векторов необходимо, чтобы любой из этих векторов можно было разложить по двум оставшимся, т.е.

$$a, b, c \in \alpha \Leftrightarrow c = x \cdot a + y \cdot b, \quad x, y \in \mathbf{R}.$$

Напомним как это выглядит геометрически:



По правилу параллелограмма:  $AC = AB + AD$ . Но  $AC = c$ ,  $AB \parallel a$ ,  $AD \parallel b$ .

Значит,  $AB = x \cdot a$ ,  $AD = y \cdot b \Rightarrow c = x \cdot a + y \cdot b, \quad x, y \in \mathbf{R}.$

В данном конкретном случае:  $c = 2a + 3b$ , если аппликаты всех точек равны.



Аналитически выяснить компланарность трех векторов, заданных координатами, можно решая систему:

$$\begin{cases} m_3 = xm_1 + ym_2, \\ n_3 = xn_1 + yn_2, \\ k_3 = xk_1 + yk_2, \end{cases} \quad \begin{matrix} a(m_1; n_1; k_1) \\ b(m_2; n_2; k_2) \\ c(m_3; n_3; k_3) \end{matrix}.$$

Если система имеет единственное решение, то векторы  $a, b, c$  компланарны.

Любой вектор пространства можно разложить по трем некомпланарным векторам, т.е.

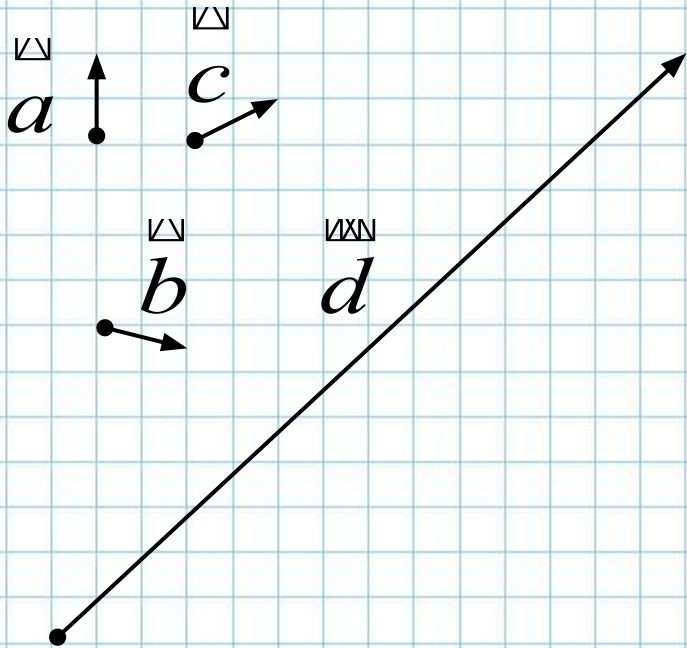
$$d = x \cdot a + y \cdot b + z \cdot c, \quad a, b, c \notin \alpha; \quad x, y, z \in \mathbf{R}.$$

Аналитическое разложение любого вектора  $d(m_4; n_4; k_4)$  по трем некомпланарным векторам  $a(m_1; n_1; k_1)$ ,  $b(m_2; n_2; k_2)$  и  $c(m_3; n_3; k_3)$  сводится к решению системы:

$$\begin{cases} m_4 = xm_1 + ym_2 + zm_3, \\ n_4 = xn_1 + yn_2 + zn_3, \\ k_4 = xk_1 + yk_2 + zk_3, \end{cases}$$

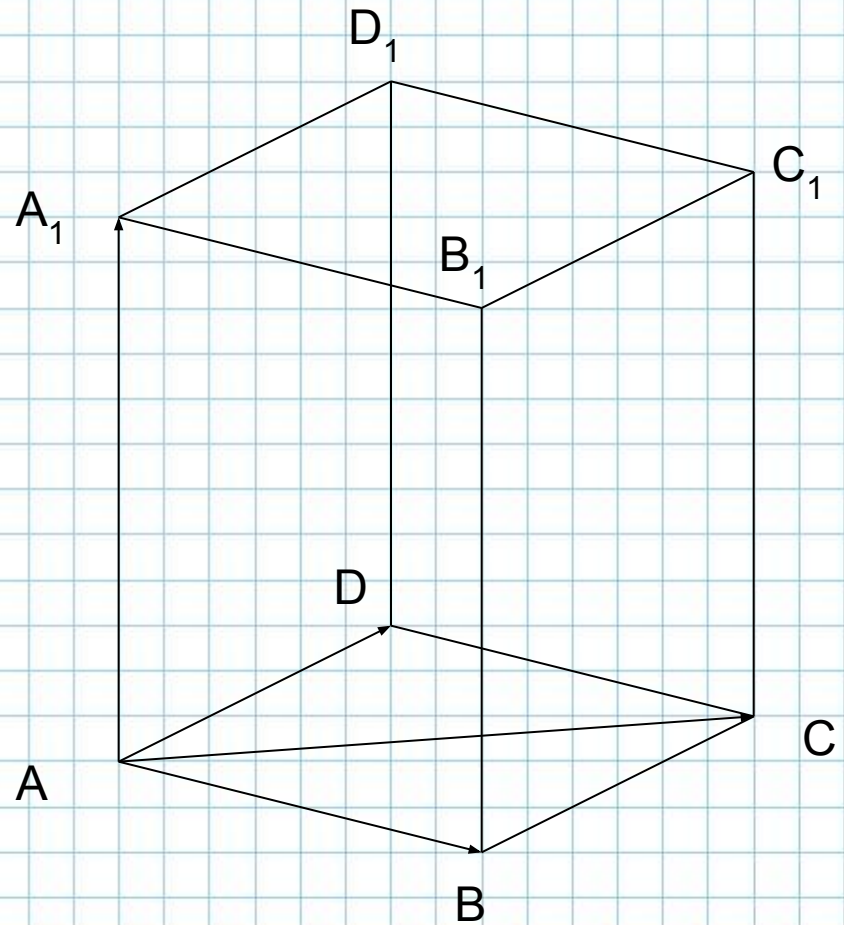
А решение этой системы – числа  $x, y$  и  $z$  являются коэффициентами разложения вектора  $d$  по трем векторам  $a, b$  и  $c$ .

Геометрически это означает возможность построения параллелепипеда, в котором диагональ задается вектором  $\vec{d}$ , а все три измерения – векторами, коллинеарными векторам  $a, b$  и  $c$ .

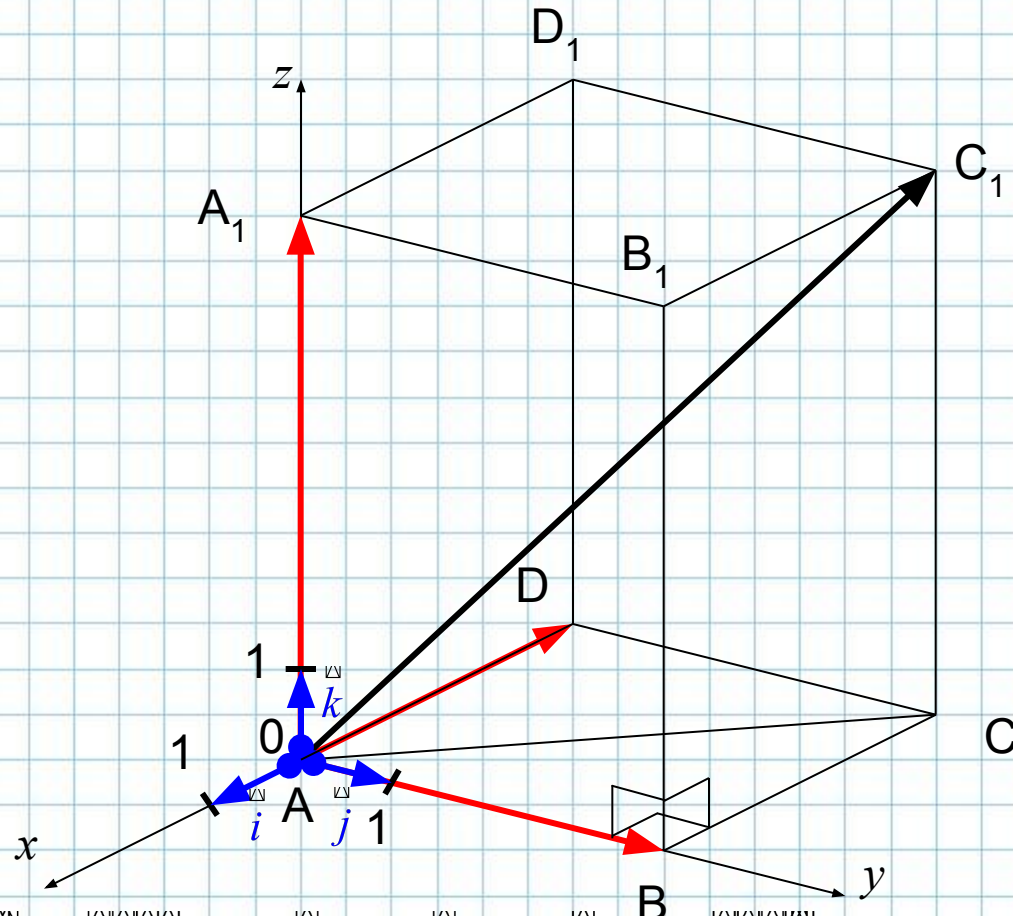


$$\vec{AC}_1 = \vec{AA}_1 + \vec{AB} + \vec{AD}$$

$$\vec{d} = x \cdot \vec{a} + y \cdot \vec{b} + z \cdot \vec{c}$$



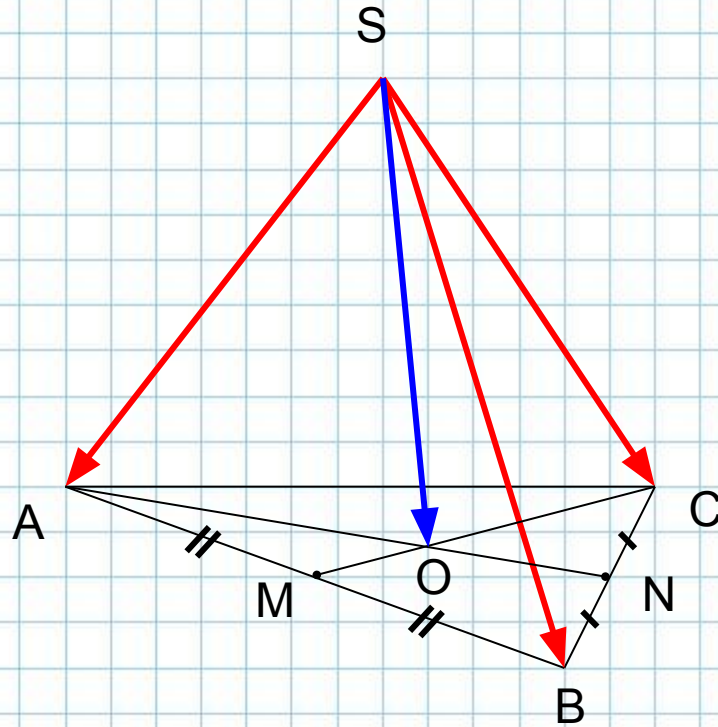
В прямоугольной системе координат в пространстве векторы  $i(1;0;0)$ ,  $j(0;1;0)$  и  $k(0;0;1)$  называются **единичными координатными векторами** (или **ортами**). Т.к. эти векторы являются некопланарными, то любой вектор пространства можно разложить по ортам. При этом образуется прямоугольный параллелепипед, а коэффициенты разложения – координаты данного вектора.



$$AC_1 = AD + AB + AA_1 = x \cdot i + y \cdot j + z \cdot k \Rightarrow AC_1(x; y; z)$$

В данном случае  $x=-3$ ;  $y=4$ ;  $z=6$ , т.е. координаты вектора  $AC_1(-3; 4; 6)$ .

Умение выполнять действия с векторами и понимание вышеизложенного материала позволяет решать некоторые геометрические задачи с помощью векторов. Этот способ получил название **векторного способа решения задач**. Мы познакомимся с ним на следующих уроках... .



Для любого тетраэдра:  $\vec{SO} = \frac{1}{3} (\vec{SA} + \vec{SB} + \vec{SC})$