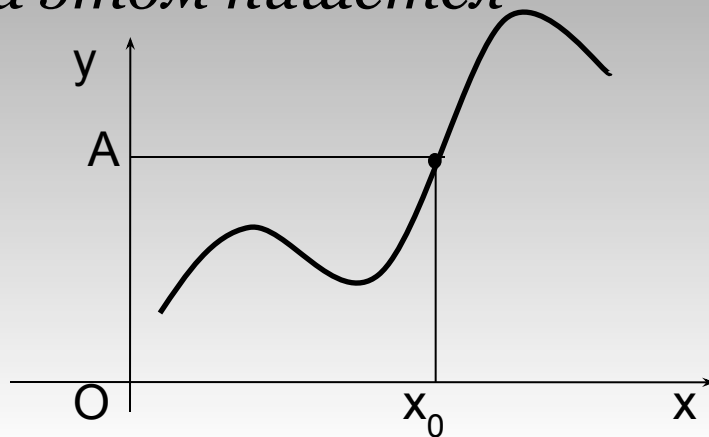


Понятие предела функции

Определение

- Пусть функция f , принимающая действительные значения, определена в некоторой окрестности точки x_0 , кроме, быть может, самой точки x_0 .
- Функция f имеет предел в точке x_0 , если для любой последовательности точек x_n , $n = 1, 2, \dots$, $x_n \neq x_0$, стремящейся к точке x_0 , последовательность значений функции $f(x_n)$ сходится к одному и тому же числу A , которое и называется пределом функции f в точке x_0 , (или при $x \rightarrow x_0$) при этом пишется

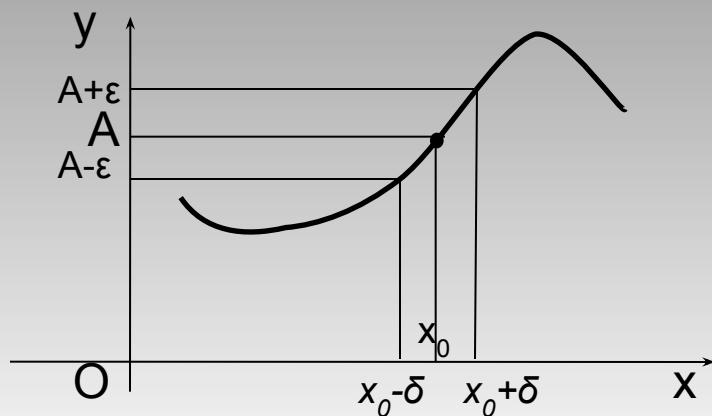
$$\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A$$



Определение

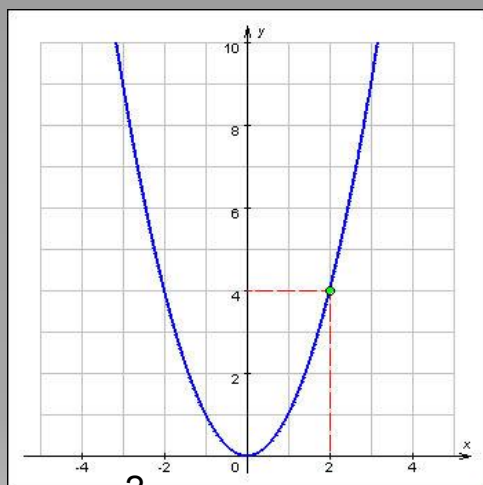
- Число A называется пределом функции f в точке x_0 , если для любого числа $\varepsilon > 0$ существует такое число $\delta > 0$, что для всех точек $x \neq x_0$, удовлетворяющих условию $|x - x_0| < \delta$, выполняется неравенство $|f(x) - A| < \varepsilon$.

$$\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A$$



- Все основные элементарные функции: постоянные, степенная функция (x^a), показательная функция (a^x), тригонометрические функции ($\sin x$, $\cos x$, $\operatorname{tg} x$ и $\operatorname{ctg} x$) и обратные тригонометрические функции ($\arcsin x$, $\arccos x$, $\operatorname{arctg} x$ и $\operatorname{arcctg} x$) во всех внутренних точках своих областей определения имеют пределы, совпадающие с их значениями в этих точках.

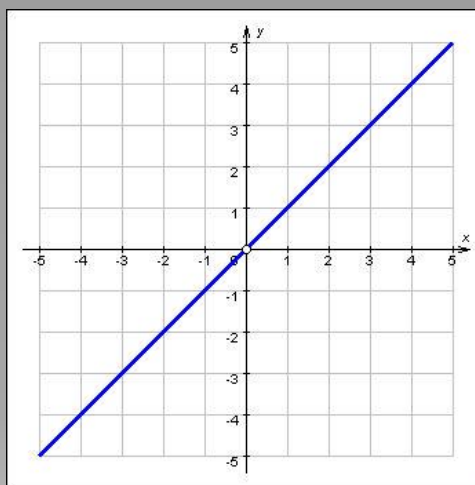
Примеры функций, имеющих предел в точке



$$y = x^2$$

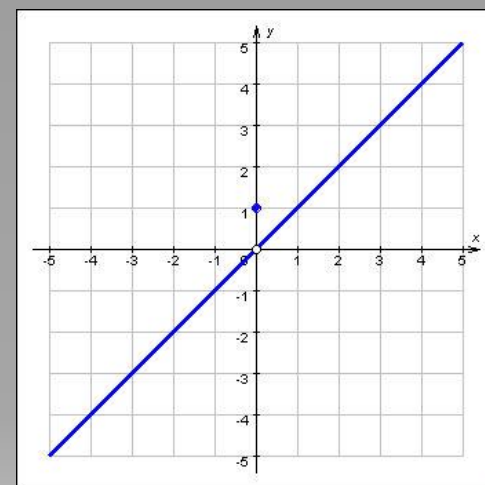
$$\lim_{x \rightarrow 2} y = 4$$

Предел функции
при $x \rightarrow 2$ равен 4
(при $x \rightarrow 2$ значения
функции $\rightarrow 4$).



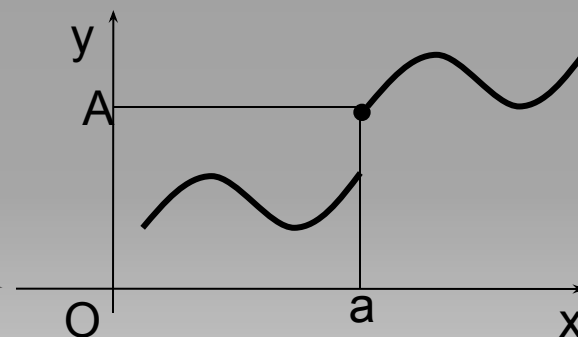
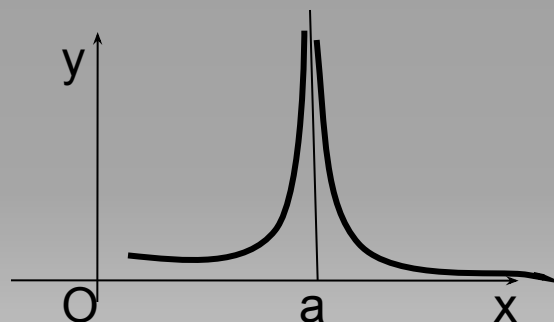
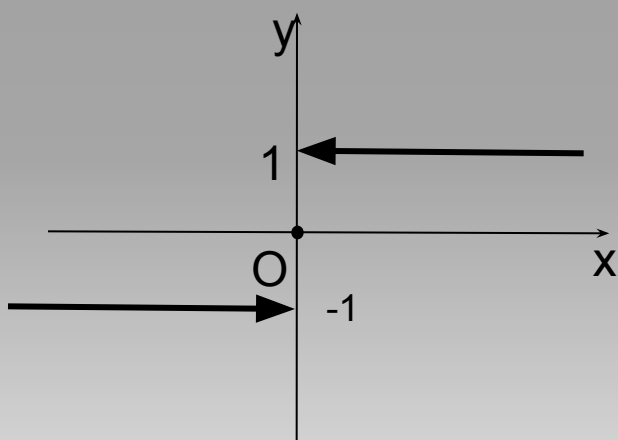
$$y = \frac{x^2}{x}$$

Предел функций при $x \rightarrow 0$ равен 0.



$$y = \begin{cases} x, & \text{если } x \neq 0; \\ 1, & \text{если } x = 0. \end{cases}$$

Примеры функций, не имеющих предел в точке



Свойства предела функции в точке

Если функции $f(x)$ и $g(x)$ имеют конечные пределы в точке a ,
причем

$$\lim_{x \rightarrow a} f(x) = A, \quad \lim_{x \rightarrow a} g(x) = B,$$

То

$$\lim_{x \rightarrow a} (f(x) + g(x)) = A + B$$

$$\lim_{x \rightarrow a} (f(x)g(x)) = AB,$$

$$\lim_{x \rightarrow a} \left(\frac{f(x)}{g(x)} \right) = \frac{A}{B},$$

если $B \neq 0$ и если $g(x) \neq 0$ в δ -окрестности точки a .

Вычисление предела функции в точке

Сначала просто пытаемся подставить число в функцию

$$\lim_{x \rightarrow 3} (x^2 - 5x + 8) = 9 - 15 + 8 = 2$$

Найдем

$$\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2 - 5x + 8}{x^2 - x + 4}.$$

Предел числителя

$$\lim_{x \rightarrow 3} (x^2 - 5x + 8) = 9 - 15 + 8 = 2$$

Предел знаменателя

$$\lim_{x \rightarrow 3} (x^2 - x + 4) = 9 - 3 + 4 = 10$$

Используя теорему о пределе частного, получим

$$\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2 - 5x + 8}{x^2 - x + 4} = \frac{\lim_{x \rightarrow 3} (x^2 - 5x + 8)}{\lim_{x \rightarrow 3} (x^2 - x + 4)} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5}.$$

Найдем

$$\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2 - 5x + 8}{x - 3}.$$

Предел числителя

$$\lim_{x \rightarrow 3} (x^2 - 5x + 8) = 9 - 15 + 8 = 2$$

Предел знаменателя равен нулю, поэтому теорему о пределе частного применять нельзя.

Величина $1/(x-3)$ является бесконечно большой величиной при $x \rightarrow 3$.

Тогда

$$\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2 - 5x + 8}{x - 3} = \infty.$$

Раскрытие неопределенности

- При нахождении предела иногда сталкиваются с неопределенностями вида $\left(\frac{0}{0}\right), \left(\frac{\infty}{\infty}\right), (\infty - \infty), (1^\infty), (0^\infty), (0^0)(\infty^0)$.
- Отыскание предела в таких случаях называется раскрытием неопределенности.

Для того, чтобы раскрыть неопределенность ∞/∞ необходимо разделить числитель и знаменатель на x в старшей степени.

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2x^2 - 3x - 5}{1 + x + 3x^2} = \frac{\infty}{\infty} = (*) \quad \text{Разделим числитель и знаменатель на } x^2$$

$$(*) = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\frac{2x^2 - 3x - 5}{x^2}}{\frac{1 + x + 3x^2}{x^2}} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\frac{2x^2}{x^2} - \frac{3x}{x^2} - \frac{5}{x^2}}{\frac{1}{x^2} + \frac{x}{x^2} + \frac{3x^2}{x^2}} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2 - \frac{3}{x} - \frac{5}{x^2}}{\frac{1}{x^2} + \frac{1}{x} + 3} = \frac{2}{3}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{7x^3 + 15x^2 + 9x + 1}{5x^4 + 6x^2 - 3x - 4} = \frac{\infty}{\infty} = (*) \quad \text{Разделим числитель и знаменатель на } x^4$$

$$\begin{aligned}
 (*) &= \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\frac{7x^3 + 15x^2 + 9x + 1}{x^4}}{\frac{5x^4 + 6x^2 - 3x - 4}{x^4}} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\frac{7 \rightarrow 0}{x} + \frac{15 \rightarrow 0}{x^2} + \frac{9 \rightarrow 0}{x^3} + \frac{1 \rightarrow 0}{x^4}}{5 + \frac{6 \rightarrow 0}{x^2} - \frac{3 \rightarrow 0}{x^3} - \frac{4 \rightarrow 0}{x^4}} = \\
 &= \frac{0 + 0 + 0 + 0}{5 + 0 - 0 - 0} = \frac{0}{5} = 0
 \end{aligned}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2x^2 - 3x - 5}{x + 1} = \frac{\infty}{\infty} = (*) \quad \text{Разделим числитель и знаменатель на } x^2$$

$$(*) = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\frac{2x^2 - 3x - 5}{x^2}}{\frac{x + 1}{x^2}} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2 - \frac{3 \rightarrow 0}{x} - \frac{5 \rightarrow 0}{x^2}}{\frac{1}{x} \rightarrow 0 + \frac{1}{x^2} \rightarrow 0} = \frac{2}{0} = \infty$$

подразумевается не деление на ноль (делить на ноль нельзя), а деление на бесконечно малое число.

Таким образом, при раскрытии неопределенности может получиться *конечное число*, ноль или бесконечность.

Вычислить предел

$$\lim_{x \rightarrow -1} \frac{2x^2 - 3x - 5}{x + 1}$$

Сначала попробуем подставить -1 в дробь:

$$\frac{2(-1)^2 - 3 \cdot (-1) - 5}{-1 + 1} = \frac{0}{0}$$

В данном случае получена так называемая неопределенность 0/0

$$\lim_{x \rightarrow -1} \frac{2x^2 - 3x - 5}{x + 1} = \frac{0}{0} = (*)$$

Общее правило: если в числителе и знаменателе находятся многочлены, и имеется неопределенность вида 0/0, то для ее раскрытия **нужно разложить числитель и знаменатель на множители**.

$$(*) = \lim_{x \rightarrow -1} \frac{(x + 1) \cdot (2x - 5)}{x + 1} = (*) \quad \text{Очевидно, что можно сократить на } (x + 1)$$

$$(*) = \lim_{x \rightarrow -1} (2x - 5) = (*)$$

Теперь и подставляем -1 в выражение, которое осталось под знаком предела:

$$= 2 \cdot (-1) - 5 = -2 - 5 = -7$$

Метод умножения числителя и знаменателя на сопряженное выражение

Найти предел $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{\sqrt{x+6} - \sqrt{10x-21}}{5x-15}$

Сначала пробуем подставить 3 в выражение под знаком предела **это первое, что нужно выполнять для ЛЮБОГО предела.**

$$\lim_{x \rightarrow 3} \frac{\sqrt{x+6} - \sqrt{10x-21}}{5x-15} = \frac{0}{0} = (*)$$

Получена неопределенность вида 0/0 , которую нужно устранять

Когда в числителе (знаменателе) находится разность корней (или корень минус какое-нибудь число), то для раскрытия неопределенности используют **метод умножения числителя и знаменателя на сопряженное выражение.**

$$(*) = \lim_{x \rightarrow 3} \frac{(\sqrt{x+6} - \sqrt{10x-21}) \cdot (\sqrt{x+6} + \sqrt{10x-21})}{(5x-15) \cdot (\sqrt{x+6} + \sqrt{10x-21})} = (*)$$

$$\begin{aligned}
(*) &= \lim_{x \rightarrow 3} \frac{(\sqrt{x+6})^2 - (\sqrt{10x-21})^2}{(5x-15) \cdot (\sqrt{x+6} + \sqrt{10x-21})} = \\
&= \lim_{x \rightarrow 3} \frac{x+6 - (10x-21)}{(5x-15) \cdot (\sqrt{x+6} + \sqrt{10x-21})} = \\
&= \lim_{x \rightarrow 3} \frac{x+6-10x+21}{(5x-15) \cdot (\sqrt{x+6} + \sqrt{10x-21})} = \\
&= \lim_{x \rightarrow 3} \frac{-9x+27}{(5x-15) \cdot (\sqrt{x+6} + \sqrt{10x-21})} = (*)
\end{aligned}$$

$$(*) = \frac{1}{6} \lim_{x \rightarrow 3} \frac{-9(x-3)}{5(x-3)} = \frac{1}{6} \lim_{x \rightarrow 3} \frac{-9}{5} = \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{-9}{5} \right) = -\frac{3}{10}$$

Замечательные пределы

- первый замечательный предел

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1;$$

- второй замечательный предел

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = \lim_{x \rightarrow 0} (1 + x)^{\frac{1}{x}} = e.$$

Примеры

$$\begin{aligned}\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(2x)}{x} &= \left(\frac{0}{0}\right) = \\&= \lim_{x \rightarrow 0} \frac{2 \sin(2x)}{2x} = 2 \cdot \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(2x)}{2x} = \\&= 2 \cdot 1 = 2.\end{aligned}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{3x}\right)^{4x} = 1^\infty = \lim_{x \rightarrow \infty} \left(\left(1 + \frac{1}{3x}\right)^{3x} \right)^{\frac{1}{3x} \cdot 4x} = e^{\frac{4}{3}}$$

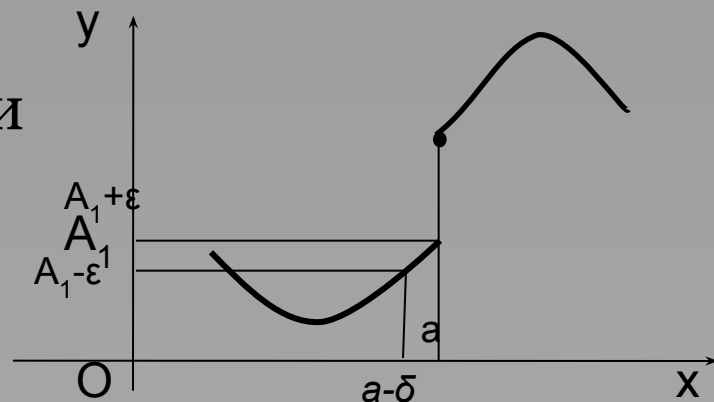
Односторонние пределы

Предел функции слева

- Число A_1 называется **пределом функции $f(x)$ слева** в точке a , если для каждого $\varepsilon > 0$ существует $\delta > 0$ такое, что для всех $x \in (a-\delta, a)$ выполняется неравенство

$$|f(x) - A_1| < \varepsilon.$$

- При x приближающихся к a слева, значения функции стремятся к A_1



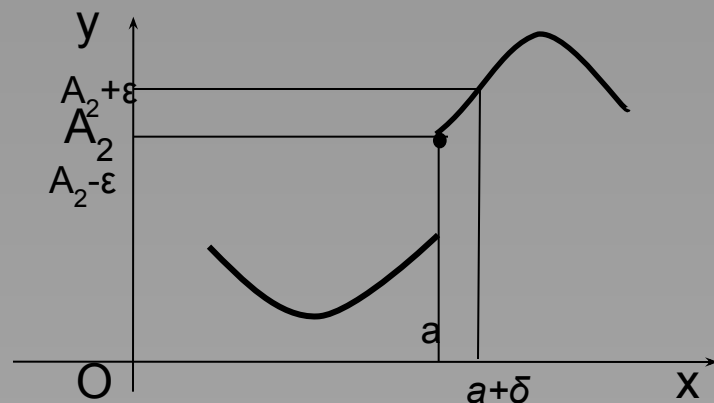
$$\lim_{x \rightarrow a-0} f(x) = A_1$$

Предел функции справа

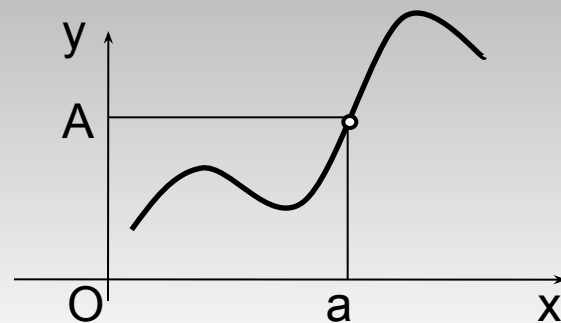
- Число A_2 называется **пределом функции $f(x)$ справа** в точке a , если для каждого $\varepsilon > 0$ существует $\delta > 0$ такое, что для всех $x \in (a, a+\delta)$ выполняется

неравенство
$$|f(x) - A_2| < \varepsilon.$$

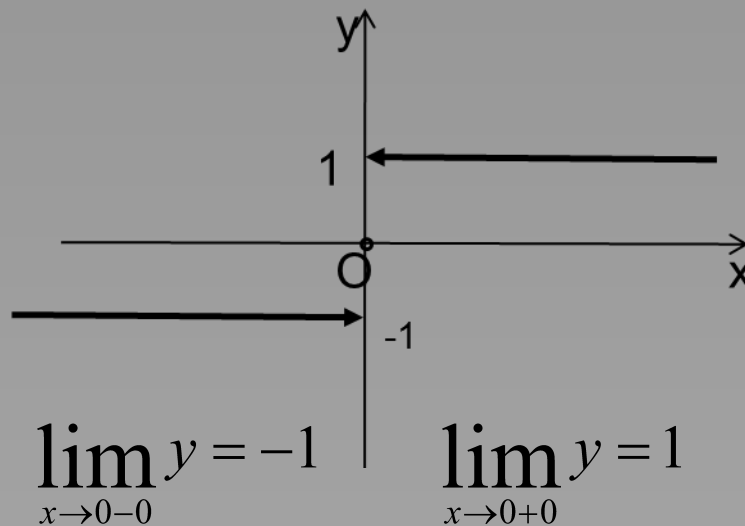
- При x приближающихся к a справа, значения функции стремятся к A_2
- Функция, определённая в некоторой окрестности точки, имеет предел в точке, если её предел справа равен пределу слева.



$$\lim_{x \rightarrow a+0} f(x) = A_2$$



$$y = \operatorname{sign} x = \begin{cases} -1, & \text{если } x < 0; \\ 0, & \text{если } x = 0; \\ 1, & \text{если } x > 0. \end{cases}$$



$$y = \begin{cases} x, & \text{если } x \neq 0; \\ 1, & \text{если } x = 0. \end{cases}$$

$$\lim_{x \rightarrow -0} y = 0$$

$$\lim_{x \rightarrow +0} y = 0$$

