

# Комплексные числа

$$Z = \operatorname{re} Z + i \cdot \operatorname{im} Z$$

## Сложение и умножение

$$(a + i \cdot b) + (c + i \cdot d) = (a + c) + i \cdot (b + d)$$

$$(a + i \cdot b) \times (c + i \cdot d) = (ac - bd) + i \cdot (ad + bc)$$

## Модуль и аргумент

$$|Z| = \sqrt{\operatorname{re} Z^2 + \operatorname{im} Z^2} \quad \operatorname{Arg}(Z) = \operatorname{arctg}\left(\frac{\operatorname{Im} Z}{\operatorname{Re} Z}\right)$$

## Сопряженные числа

$$\bar{Z} = \operatorname{re} Z - i \cdot \operatorname{im} Z$$

## Задание:

Создать структуру соответствующую комплексным числам и запрограммировать ряд функций для работы с ними:

- ❶ функцию для вывода комплексного числа на печать;
  - ❷ функции для сложения и умножения комплексных чисел;
  - ❸ функции для вычисления модуля и аргумента;  
(для вычисления аргумента следует использовать функцию `atan2(y, x)` которая возвращает угол вектора  $(x, y)$  относительно оси  $X$  в диапазоне  $[-\pi, \pi]$ )
  - ❹ написать две функции для комплексного сопряжения: первая возвращает новое число, а вторая делает комплексное сопряжение над передаваемой переменной.
- Выполнить тестирование всех функций на простых примерах.
  - Написать программу сортирующую массив комплексных чисел в порядке возрастания модуля (или аргумента, по выбору).

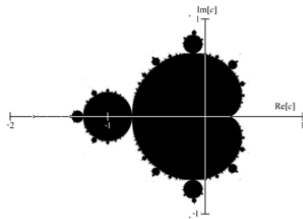
# Множество Мандельброта (задание повышенной сложности)

## Определение множества Мандельброта $\mathbb{M}$

Множество точек комплексной плоскости  $\mathbb{C}$  для которых последовательность:

$$Z_0 = 0; \quad Z_{i+1} = Z_i^2 + C$$

не уходит на бесконечность



## Некоторые свойства

- 1  $\mathbb{M}$  компактное множество, находящиеся внутри круга радиуса 2.  
Следствие: если  $|Z_i| > 2$  – точка **заведомо не входит** в  $\mathbb{M}$   
Пересечение  $\mathbb{M}$  с действительной осью – интервал  $[-2; 0.25]$
- 2  $\mathbb{M}$  связанное. Площадь оценивается как  $1.50659177 \pm 0.00000008$
- 3 Множество Мандельброта самоподобно (self-similar)
- 4 Самая большая часть  $\mathbb{M}$  это кардиоиды в пределах  $-\frac{3}{4} < \text{Re}(C) < \frac{1}{4}$ .  
Вторая большая область это круг:  $-\frac{5}{4} < \text{Re}(C) < -\frac{3}{4}$ .

## Задание:

- ❶ «Нарисовать» (с помощью `printf`) множество Мандельброта в пределах:  $-2 \leq \operatorname{Re}(C) \leq 1$ ;  $-1 \leq \operatorname{Im}(C) \leq 1$  с шагом 0.05 по  $\operatorname{Re}(C)$  и  $\operatorname{Im}(C)$ .  
«Черный» (\*) – входит в  $\mathbb{M}$ , «белый» (пробел) – не входит.  
Выполнить не менее 10000 итераций на 1 точку.
- ❷ Результат спасти в файл.
- ❸ Границы поиска, шаг и количество итераций сделать параметрами передаваемыми через аргументы `main`.

## Задание повышенной сложности:

- Использовать функцию `getopt()` для анализа параметров командной строки.
- «Раскрасить» множество в зависимости от числа выполненных итераций.