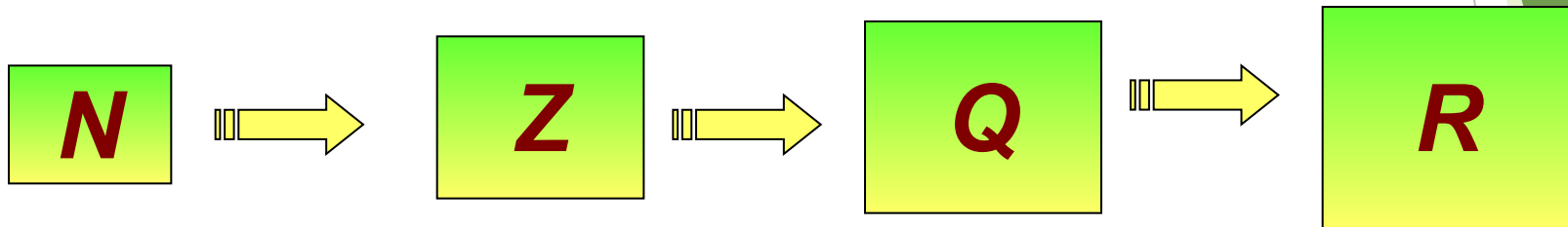


Комплексные числа

Какие числовые множества вам знакомы?



$$N \subset Z \subset Q \subset R$$

Числовая система	Допустимые алгебраические операции	Частично допустимые алгебраические операции
Натуральные числа, \mathbb{N}	Сложение, умножение	Вычитание, деление, извлечение корней
Целые числа, \mathbb{Z}	Сложение, вычитание, умножение	Деление, извлечение корней
Рациональные числа, \mathbb{Q}	Сложение, вычитание, умножение, деление	Извлечение корней из неотрицательных чисел
Действительные числа, \mathbb{R}	Сложение, вычитание, умножение, деление, извлечение корней из неотрицательных чисел	Извлечение корней из произвольных чисел
Комплексные числа, \mathbb{C}	Все операции	

Минимальные условия, которым должны удовлетворять комплексные числа:

C_1) Существует комплексное число, квадрат которого равен **-1** .

C_2) Множество комплексных чисел содержит все действительные числа.

C_3) Операции сложения, вычитания, умножения и деления комплексных чисел удовлетворяют обычным законам арифметических действий (сочетательному, переместительному, распределительному).

Выполнение этих минимальных условий позволяет определить все множество C комплексных чисел.

Мнимые числа

$$i^2 = -1, i \text{ — мнимая единица}$$

$i, 2i, -0,3i$ — чисто мнимые числа

Арифметические операции над чисто мнимыми числами выполняются в соответствии с условием СЗ.

$$3i + 13i = (3 + 13)i = 16i$$

$$3i \cdot 13i = (3 \cdot 13)(i \cdot i) = 39i^2 = -39$$

$$i^7 = (i^2)^3 \cdot i = -i$$

В общем виде правила арифметических операций с чисто мнимыми числами таковы:

$$ai + bi = (a + b)i;$$

$$ai - bi = (a - b)i;$$

$$a(bi) = (ab)i;$$

$$(ai)(bi) = abi^2 = -a$$

где a и b — действительные числа.

Определение 1. Комплексным числом называют сумму действительного числа и чисто мнимого числа.

$$i^2 = -1, i - \text{мнимая единица}$$

Определение 2. Два комплексных числа называют равными, если равны их действительные части и равны их мнимые части:

$$a + bi = c + di \Leftrightarrow a = c, b = d.$$

Арифметические операции над комплексными числами

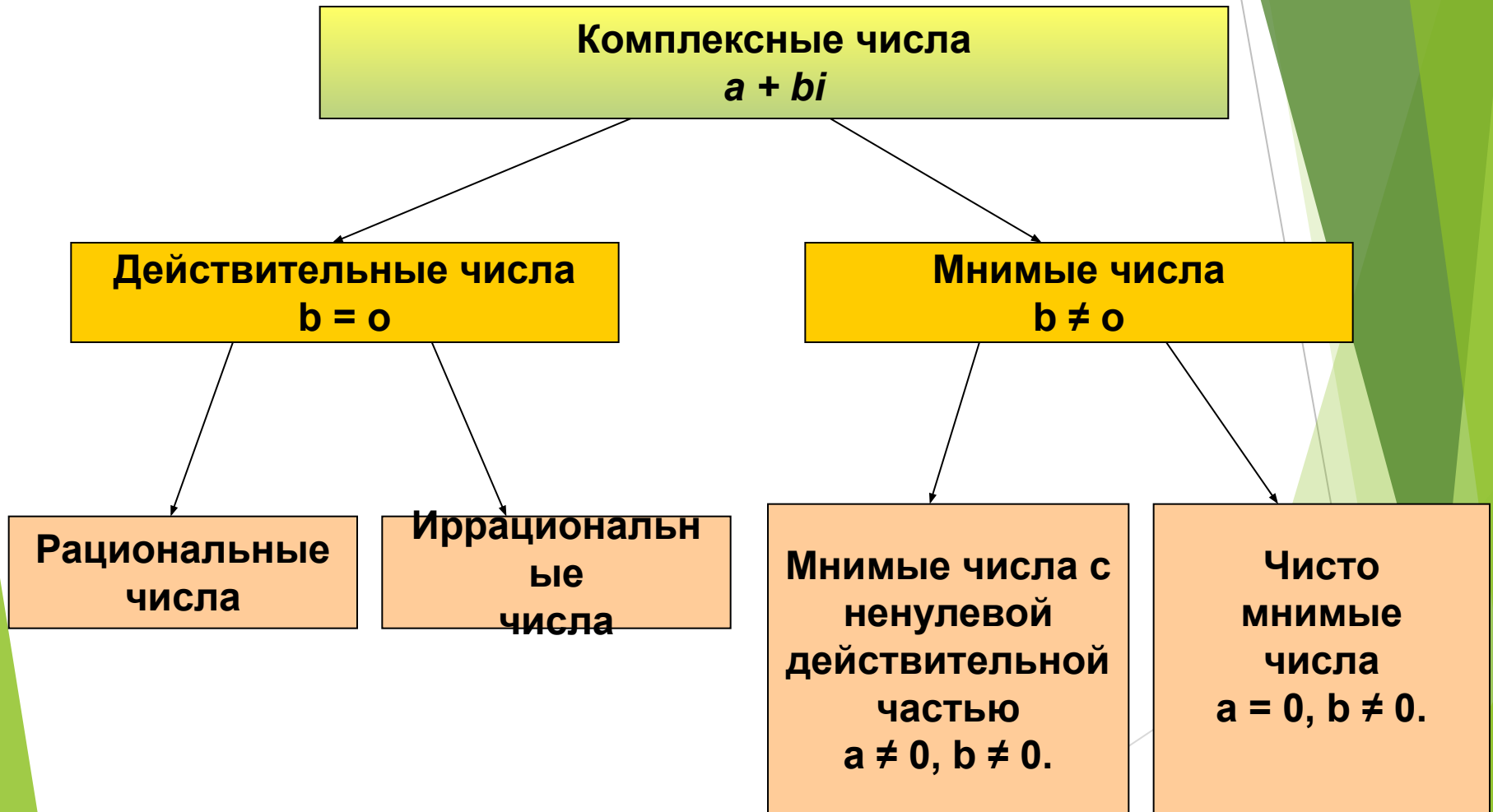
$$(a + bi) + (c + di) = (a + c) + (b + d)i$$

$$(a + bi) - (c + di) = (a - c) + (b - d)i$$

$$(a + bi) \cdot (c + di) = (ac - bd) + (ad + bc)i$$

$$\frac{a + bi}{c + di} = \frac{(a + bi)(c - di)}{(c + di)(c - di)} = \frac{ac + bd}{c^2 + d^2} + \frac{bc - ad}{c^2 + d^2}i$$

Классификация комплексных чисел



Сопряженные комплексные числа

Определение: Если у комплексного числа сохранить действительную часть и поменять знак у мнимой части, то получится комплексное число, **сопряженное данному**.

Если данное комплексное число обозначается буквой z , то сопряженное число обозначается \bar{z} :

$$z = x + yi \Rightarrow \bar{z} = x - yi$$

Из всех комплексных чисел действительные числа (и только они) равны своим сопряженным числам.

Числа $a + bi$ и $a - bi$ называются взаимно сопряженными комплексными числами.

Свойства сопряженных чисел

1. Сумма и произведение двух сопряженных чисел есть число действительное.

$$z + \bar{z} = (a + bi) + (a - bi) = 2a$$

$$z \cdot \bar{z} = (a + bi)(a - bi) = a^2 - (bi)^2 = a^2 + b^2$$

2. Число, сопряженное сумме двух комплексных чисел, равно сумме сопряженных данным числам.

$$\overline{z_1 + z_2} = \bar{z}_1 + \bar{z}_2$$

3. Число, сопряженное разности двух комплексных чисел, равно разности сопряженных данным числам.

$$\overline{z_1 - z_2} = \bar{z}_1 - \bar{z}_2$$

4. Число, сопряженное произведению двух комплексных чисел, равно произведению сопряженных данным числам.

$$\overline{z_1 z_2} = \bar{z}_1 \bar{z}_2$$

Свойства сопряженных чисел

5. Число, сопряженное n -ой степени комплексного числа z , равно n -ой степени числа, сопряженного к числу z , т.е.

$$\overline{z^n} = (\bar{z})^n, \quad n \in \mathbb{N}$$

6. Число, сопряженное частному двух комплексных чисел, из которых делитель отличен от нуля, равно частному сопряженных чисел, т.е.

$$\overline{\left(\frac{a + bi}{c + di} \right)} = \frac{\overline{(a + bi)}}{\overline{(c + di)}}$$

Степени мнимой единицы

По определению первой степенью числа i является само число i , а второй степенью – число -1 :

$$i^1 = i, i^2 = -1$$

Более высокие степени числа i находятся следующим образом:

$$i^4 = i^3 \cdot i = -i^2 = 1;$$

$$i^5 = i^4 \cdot i = i;$$

$$i^6 = i^5 \cdot i = i^2 = -1 \text{ и т.д.}$$

Очевидно, что при любом натуральном n

$$i^{4n} = 1;$$

$$i^{4n+2} = -1$$

$$i^{4n+1} = i;$$

$$i^{4n+3} = -i.$$

Извлечение квадратных корней из комплексных чисел в алгебраической форме.

- ▶ **Определение.** Число w называют квадратным корнем из комплексного числа z , если его квадрат равен z : $w^2 = z$
- ▶ **Теорема.** Пусть $z = a + bi$ - отличное от нуля комплексное число. Тогда существуют два взаимно противоположных комплексных числа, квадраты которых равны z . Если $b \neq 0$, то эти два числа выражаются формулой:

$$w = \pm \left[\sqrt{\frac{\sqrt{a^2 + b^2} + a}{2}} + i \cdot \operatorname{sign} b \sqrt{\frac{\sqrt{a^2 + b^2} - a}{2}} \right], \text{ где}$$

$$\operatorname{sign} b = \begin{cases} 1, & \text{если } b > 0 \\ -1, & \text{если } b < 0 \\ 0, & \text{если } b = 0 \end{cases}$$

При $b = 0, a > 0$ имеем: $w = \pm\sqrt{a}$, при $b = 0, a < 0$ имеем: $w = \pm i\sqrt{|a|}$.

Геометрическое изображение комплексных чисел.

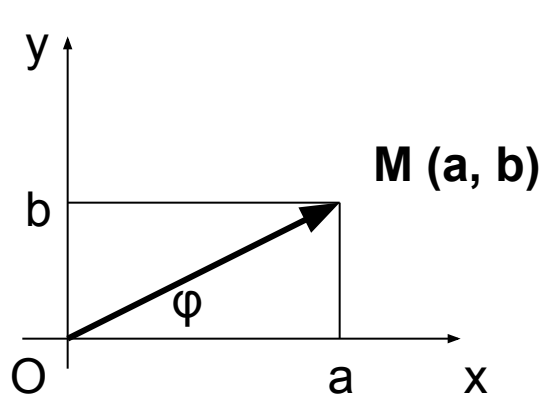
Комплексному числу z на координатной плоскости соответствует точка $M(a, b)$.

Часто вместо точек на плоскости берут их радиусы-векторы

Определение: Модулем комплексного числа $z = a + bi$

называют неотрицательное число $\sqrt{a^2 + b^2}$, равное расстоянию от точки M до начала координат

$$|z| = \sqrt{a^2 + b^2}$$



$$\cos \varphi = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad \text{и} \quad \sin \varphi = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

φ – аргумент комплексного числа

$$\varphi \in (-\pi; \pi]$$

Тригонометрическая форма комплексного числа

$$z = r(\cos \varphi + i \sin \varphi)$$

где φ – аргумент комплексного числа,

$r = \sqrt{a^2 + b^2}$ – модуль комплексного числа,

$$\cos \varphi = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad \text{и} \quad \sin \varphi = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

Умножение и деление комплексных чисел, заданных в тригонометрической форме

Теорема 1.

Если $z_1 \neq 0, z_2 \neq 0$ и
 $z_1 = r_1(\cos \varphi_1 + i \sin \varphi_1), z_2 = r_2(\cos \varphi_2 + i \sin \varphi_2)$, то:

а) $z_1 z_2 = r_1 r_2 (\cos(\varphi_1 + \varphi_2) + i \sin(\varphi_1 + \varphi_2))$

б) $\frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1}{r_2} (\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + i \sin(\varphi_1 - \varphi_2))$

Теорема 2 (формула Муавра).

Пусть z — любое отличное от нуля комплексное число, n — любое целое число.

Тогда

$$z^n = (r(\cos \varphi + i \sin \varphi))^n = r^n (\cos n\varphi + i \sin n\varphi).$$

Извлечение корня из комплексного числа.

- **Теорема.** Для любого натурального числа n и отличного от нуля комплексного числа z существуют n различных значений корня n -степени.

Если

$$z = r(\cos \alpha + i \sin \alpha),$$

то эти значения выражаются формулой

$$w_k = \sqrt[n]{r} \left(\cos \frac{\alpha + 2\pi k}{n} + i \sin \frac{\alpha + 2\pi k}{n} \right),$$

где $k = 0, 1, \dots, (n-1)$

После изучения темы «Комплексные числа учащиеся должны:

Знать:

- алгебраическую, геометрическую и тригонометрическую формы комплексного числа.

Уметь:

- производить над комплексными числами операции сложения, умножения, вычитания, деления, возведения в степень, извлечение корня из комплексного числа;
- переводить комплексные числа из алгебраической формы в геометрическую и тригонометрическую;
- пользоваться геометрической интерпретацией комплексных чисел;
- в простейших случаях находить комплексные корни уравнений с действительными коэффициентами.