

Упражнение 1. Пусть  $d = \sqrt[3]{2}$ . Рассмотрим кольцо порожденное элементами  $1, d$ . Показать, что данное кольцо представимо в виде

$$R = \{a + bd + cd^2 \mid a, b, c \in \mathbb{Z}\}.$$

Разрешимо ли в рамках кольца  $R$  уравнение:

$$(1 - 3d + 5d^2)x = -18 + 10d + 20d^2$$

Присутствуют ли в данном кольце делители нуля?

Решение. Очевидно, что  $\langle 1 \rangle = \mathbb{Z}$ ,  $\langle d \rangle = d\mathbb{Z}$ . В  $\langle 1, d \rangle$  лежит их сумма, т.е.  $\mathbb{Z} + d\mathbb{Z}$ .  $\mathbb{Z} \cdot (d\mathbb{Z}) = d\mathbb{Z}$ , что не добавляет новых элементов.  $(d\mathbb{Z}) \cdot (d\mathbb{Z}) = d^2\mathbb{Z}$  и тогда промежуточный результат это  $\mathbb{Z} + d\mathbb{Z} + d^2\mathbb{Z}$ .  $\mathbb{Z} \cdot d^2\mathbb{Z} = d^2\mathbb{Z}$ ,  $d\mathbb{Z} \cdot d^2\mathbb{Z} = \mathbb{Z}$ ,  $d^2\mathbb{Z} \cdot d^2\mathbb{Z} = d\mathbb{Z}$ , поэтому больше нечего добавлять.

$$\begin{aligned} (1 - 3d + 5d^2)(a + bd + cd^2) &= -18 + 10d + 20d^2 \\ a + bd + cd^2 - 3ad - 3bd^2 - 6c + 5ad^2 + 10b + 10cd &= -18 + 10d + 20d^2 \end{aligned}$$

$$\begin{cases} a - 6c + 10b = -18 \\ b - 3a + 10c = 10 \\ c - 3b + 5a = 20 \end{cases}$$

Система не вырождена, решение есть.

Делители нуля:

$$\begin{aligned} xy &= 0 \\ (a_1 + b_1d + c_1d^2)(a_2 + b_2d + c_2d^2) &= 0 \\ a_1a_2 + a_1b_2d + a_1c_2d^2 + b_1a_2d + b_1b_2d^2 + 2b_1c_2 + c_1a_2d^2 + 2c_1b_2 + 2c_1c_2d &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{cases} a_1a_2 + 2b_1c_2 + 2c_1b_2 = 0 \\ a_1b_2 + b_1a_2 + 2c_1c_2 = 0 \\ a_1c_2 + b_1b_2 + c_1a_2 = 0 \end{cases}$$

Что делать с этой системой нелинейных диофантовых уравнений не очень понятно.

□

Упражнение 2. Рассмотрим кольцо многочленов  $R = \mathbb{R}[x]$  и множество:

$$J = \{p \mid p: x^2 + 1\}$$

Показать, что  $J$  есть идеал. Построить  $R/J$ . Существуют ли в  $R/J$  делители нуля?

*Решение.* То, что  $J$  является подкольцом, очевидно.

$$\triangleleft a \in R, p \cdot (x^2 + 1) \in J.$$

$$a \cdot p \cdot (x^2 + 1) \in J$$

Таким образом,  $J$  — идеал.

В каждом классе из  $R/J$  есть ровно один элемент вида  $ax + b$ , потому что если коэффициент при  $x^{n+2}$  ненулевой и  $n \geq 0$ , то такой многочлен можно представить как  $(x^2 + 1) \cdot x^n \cdot a + p$  и тогда любой многочлен лежит в  $[ax + b]$  для каких-то  $a$  и  $b$ .

Заметим, что в  $R/J$   $[x^2 + 1] = [0]$ , следовательно,  $[x^2] = [-1]$ . Итого  $R/J = \{ax + b \mid a, b \in \mathbb{Z}\}$  со стандартным сложением и умножением таким, что  $x^2 = -1$ . Несложно также заметить, что  $R/J \cong \mathbb{C}$  по гомоморфизму  $[ax + b] \mapsto b + ia$ .

В  $\mathbb{C}$  нет делителей нуля, так что и в  $R/J$  их нет. □

*Упражнение 3.* Вычислить

1.  $\varphi(360)$
2.  $\varphi(125)$
3.  $\varphi(\varphi(12))$

*Решение.*

1.  $\varphi(360) = \varphi(8) \cdot \varphi(9) \cdot \varphi(5) = 4 \cdot (2 - 1) \cdot 3 \cdot (3 - 1) \cdot 4 = 96$
2.  $\varphi(125) = \varphi(5^3) = 5^2 \cdot (5 - 1) = 100$
3.  $\varphi(\varphi(12)) = \varphi(|\{1, 5, 7, 11\}|) = \varphi(4) = |\{1, 3\}| = 2$

□

*Упражнение 4.* Пусть  $a, n \in \mathbb{Z}$  два взаимно простых числа  $(a, n) = 1$ . Показать, что:

$$a^{\varphi(n)} \equiv 1 \pmod{n}$$

*Решение.* Рассмотрим мультипликативную группу  $A$  взаимно простых с  $n$  чисел по модулю  $n$ . Очевидно это действительно группа.  $|A| = \varphi(n)$ . По теореме Лагранжа  $|A| \mid |\langle a \rangle|$ , т.е.  $|\langle a \rangle| \cdot k = \varphi(n)$ .

$$a^{\varphi(n)} = a^{|\langle a \rangle| \cdot k}$$

Из структуры  $A$  понятно, что  $\langle a \rangle$  это простой цикл и тогда  $a^{|\langle a \rangle|} \equiv 1 \pmod{n}$ .

$$a^{\varphi(n)} \equiv 1 \pmod{n}$$

□