

# Кольцо. Кольцо полиномов

## Содержание

§1 Два закона композиции на множестве	1
§2 Примеры колец	2
§3 Кольцо многочленов	2

## §1. Два закона композиции на множестве

**NtB 1.1.** Пусть на множестве  $M$  задано два всюду определенных закона композиции, которые мы обозначим через  $\circ$  и  $*$ .

**Опр. 1.1.** Закон композиции  $\circ$  называется **дистрибутивным слева** относительно закона  $*$ , если для любых элементов  $x, y, z \in M$  имеет место равенство

$$x \circ (y * z) = (x \circ y) * (x \circ z).$$

**NtB 1.2.** Соответственно, **дистрибутивность справа** означает выполнение следующего равенства:

$$\forall x, y, z \in M \quad (y * z) \circ x = (y \circ x) * (z \circ x).$$

Если закон дистрибутивен и слева и справа, то он называется **двояко дистрибутивным**.

**Пример 1.1.** Если в  $M$  существует *нейтральный элемент*  $e$  относительно  $*$  и  $\circ$  двояко дистрибутивен относительно  $*$ , тогда элемент  $e$  является *поглощающим* относительно закона  $\circ$ :

$$x \circ y = x \circ (e * y) = (x \circ e) * (x \circ y) = e * (x \circ y).$$

**NtB 1.3.** Вообще говоря, из выведенного равенства не следует, что  $(x \circ e) = e$ , так как не доказано свойство всеобщности - мы показали лишь, что это верно для подмножества  $M_z$  композиций вида  $z = x \circ y$ . Чтобы  $M_z = M$  достаточно потребовать существования групповой структуры на  $M$  относительно закона  $\circ$ .

**Опр. 1.2.** Кольцом  $R$  называется множество замкнутое относительно двух согласованно заданных на нем бинарных операций (обычно обозначаемых через  $+$  и  $\cdot$ ), удовлетворяющих следующим требованиям:

- $R$  - абелева группа относительно  $+$  (0 - нейтральный элемент);
- $R$  - коммутативный моноид относительно  $\cdot$  (1 - нейтральный элемент);
- Законы  $+$  и  $\cdot$  согласованы (" $\cdot$ " дистрибутивен относительно  $+$ ):

$$x \cdot (y + z) = x \cdot y + x \cdot z.$$

## §2. Примеры колец

**Пример 2.1.** Примеры колец:

(а) Нулевое кольцо:

$$R: \quad 0 = 1 \quad \Rightarrow \quad \forall x \in R \quad x = 1 \cdot x = 0 \cdot x = 0.$$

(б) Целые числа:

$$\mathbb{Z} = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm m, \dots\}.$$

(в) Пифагорово кольцо:

$$\mathbb{Z}[\sqrt{2}] = \{x + \sqrt{2}y : x, y \in \mathbb{Z}\}. \quad (1)$$

(г) Кольцо  $\mathbb{Z}_m$  вычетов по модулю  $m \in \mathbb{Z}$ :

$$x \equiv y \pmod{m}, \quad y \in \{0, 1, \dots, m-1\}.$$

## §3. Кольцо многочленов

**Опр. 3.1.** Многочленом от одной переменной с коэффициентами из кольца  $R$  будем называть формальную бесконечную сумму следующего вида:

$$p(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n + \dots,$$

где отличны от нуля только *некоторые коэффициенты*  $a_0, a_1, a_2, \dots \in R$ , а  $x$  является **формальной переменной**.

**НтВ 3.1.** Операции на множестве многочленов  $R[x]$  определяются стандартно и *индуцируют* на нем структуру кольца, при этом

$$\theta(x) = 0, \quad 1(x) = 1.$$

### Делимость многочленов

**Опр. 3.2.** Говорят, что многочлен  $p(x)$  **делится на многочлен**  $q(x)$  (пишут  $p : q$ ), если существует такой многочлен  $g(x)$ , что  $p(x) = g(x) \cdot q(x)$ .

**Лемма 3.1.** *Свойства делимости многочленов:*

- если  $p(x) : q(x)$  и  $q(x) : r(x)$ , тогда  $p(x) : r(x)$ ;
- пусть  $p(x), q(x) : g(x)$ , тогда

$$\forall a(x), b(x) \in R[x] \quad a(x)p(x) + b(x)q(x) : g(x)$$

**Опр. 3.3.** Два многочлена  $p(x)$  и  $q(x)$  называются **ассоциированными**, если  $p(x) = \alpha \cdot q(x)$ , где  $\alpha \in R$ ,  $\alpha \neq 0$ .

**NtB 3.2.** Тот факт, что  $p(x)$  и  $q(x)$  ассоциированы обозначают  $p(x) \sim q(x)$ .

**Лемма 3.2.** Пусть  $p(x) \vdots q(x)$  и  $q(x) \vdots p(x)$ , тогда  $p(x) \sim q(x)$ .

### Степень многочлена

**Опр. 3.4.** Степенью  $\deg(p)$  многочлена  $p \in R[t]$  называется максимальный номер его ненулевого коэффициента. Если  $\deg p = n \in \mathbb{N}_0$  то коэффициент  $a_n$  называется **старшим коэффициентом** многочлена  $p$ .

**NtB 3.3.** Для нулевого многочлена  $\theta(t)$  положим  $\deg(\theta) = -\infty$ .

**Лемма 3.3.** Пусть  $p, q \in R[x]$  тогда имеют место следующие свойства:

$$\deg(pq) = \deg(p) + \deg(q), \quad \deg(p + q) \leq \max \{ \deg(p), \deg(q) \}.$$

**Лемма 3.4.** Свойства степени при делении многочленов:

- если  $f \vdots g, \quad f, g \neq 0 \quad \Rightarrow \quad \deg(f) \geq \deg(g)$ ;
- если  $f \vdots g, \quad \deg(f) = \deg(g) \quad \Rightarrow \quad f \sim g$ .

**Лемма 3.5.** Пусть  $p, q \in R[x]$ , причем  $q \neq 0$ , тогда существуют единственные  $g, r \in R[x]$ , такие что

$$p(x) = g(x)q(x) + r(x), \quad \deg(r) < \deg(q).$$

**Опр. 3.5.** Многочлен  $r(x) \in R[x]$  называется **остатком от деления** многочлена  $p(x)$  на многочлен  $q(x)$ .

### Корень многочлена

**Опр. 3.6.** Корнем многочлена  $p(x) \in R[x]$  кратности  $m$  называется число  $x_0 \in R$ , такое что

$$p(x) \vdots (x - x_0)^m, \quad p(x) \nmid (x - x_0)^{m+1}.$$

**Теорема 3.1.** Остаток от деления  $p(x) \in R[x]$  на  $(x - x_0)$  равен  $f(\alpha)$

**Доказательство.** По теореме от делении с остатком имеем:

$$p(x) = (x - x_0)g(x) + r(x), \quad \deg(r) \leq \deg(x - x_0) = 1$$

Следовательно,  $r(x) = r \in R$  и

$$p(x_0) = 0 \cdot g(x) + r = r.$$

□

**NtB 3.4.** Если  $x_0$  - корень многочлена  $p(x)$  тогда  $p(x_0) = 0$ .