

Целые числа и вычеты

АЛ1♦1. Найдите все целые решения уравнения $28x + 30y + 31z = 365$.

АЛ1♦2. Найдите все натуральные числа, кратные тридцати и имеющие ровно тридцать различных натуральных делителей¹.

АЛ1♦3. В кольце $\mathbb{Z}/(360)$ найдите все решения уравнений а) $x^2 = 1$ б*) $x^3 = 1$ в*) $x^2 = 49$.

АЛ1♦4 (функция Эйлера). Обозначим через $\varphi(n)$ количество обратимых элементов в кольце $\mathbb{Z}/(n)$. Покажите, что а) $\varphi(mn) = \varphi(m)\varphi(n)$ для взаимно простых m, n

б) $\varphi(m) = m \cdot (1 - p_1^{-1}) \cdots (1 - p_n^{-1})$ для $m = p_1^{k_1} \cdots p_n^{k_n}$, где все p_i просты и различны.

в) Найдите все $n \in \mathbb{N}$ с $\varphi(n) = 10$.

АЛ1♦5. Какой остаток от деления на 179 имеет число $2021^{2022^{2023}}$?

АЛ1♦6 (порядки вычетов). Покажите, что вычет $a \in \mathbb{Z}/(n)$ обратим если и только если существует такое $k \in \mathbb{N}$, что $a^k = 1$ в $\mathbb{Z}/(n)$. Наименьшее такое k называется *порядком* обратимого вычета a . Найдите порядок произведения $a = a_1 \dots a_n$ обратимых вычетов попарно взаимно простых порядков k_1, \dots, k_n и для любых двух обратимых вычетов a и b порядков k и t постройте вычет порядка $\text{НОК}(k, t)$.

АЛ1♦7 (первообразные корни). Обратимый вычет порядка $\varphi(n)$ в $\mathbb{Z}/(n)$ называется *первообразным корнем* по модулю n . а) Существует ли первообразный корень в $\mathbb{Z}/(21)$?

б*) Докажите существование первообразного корня по любому простому модулю.

в*) Пусть r — первообразный корень по простому модулю $p > 2$. Докажите, что существует такое $t \in \mathbb{N}$, что $(r + pt)^{p-1} = 1$ в $\mathbb{Z}/(p)$, но $(r + pt)^{p-1} \neq 1$ в $\mathbb{Z}/(p^2)$, и вычет $r + pt$ является первообразным корнем в $\mathbb{Z}/(p^k)$ для всех $k \in \mathbb{N}$.

г*) Докажите существование первообразного корня в $\mathbb{Z}/(2p^k)$ для простых $p > 2$ и $k \in \mathbb{N}$.

АЛ1♦8 (простое поле). Рассмотрим поле $\mathbb{F}_p \stackrel{\text{def}}{=} \mathbb{Z}/(p)$, где $p > 2$ — целое простое число.

а) Решите в \mathbb{F}_p уравнение $x^2 = 1$, вычислите произведение всех ненулевых элементов из \mathbb{F}_p и докажите *теорему Вильсона*: натуральное $m \geq 2$ просто если и только если оно делит $(m - 1)! + 1$.

б) Опишите множества значений многочленов $x^p - x$, x^{p-1} и $x^{(p-1)/2}$ на всём поле \mathbb{F}_p и на множестве квадратов поля \mathbb{F}_p .

в) Сколько в \mathbb{F}_p квадратов? Всегда ли в \mathbb{F}_p разрешимо уравнение $x^2 + y^2 = -1$?

г) При каких p в \mathbb{F}_p разрешимы уравнения $x^2 = -1$ и $x^2 = 2$?

д*) (лемма Гаусса о квадратичных вычетах) Выпишем элементы поля \mathbb{F}_p в виде «числовой прямой»: $-(p - 1)/2, \dots, -1, 0, 1, \dots, (p - 1)/2$. Покажите, что $a \in \mathbb{F}_p$ является квадратом если и только если количество «положительных» точек, которые становятся «отрицательными» от умножения на a , чётно.

АЛ1♦9. Найдите все обратимые элементы в кольцах

а) $\mathbb{Z}[i] \stackrel{\text{def}}{=} \{a + bi \in \mathbb{C} \mid a, b \in \mathbb{Z}, i^2 = -1\}$ (Гауссовы числа)

б) $\mathbb{Z}[\omega] \stackrel{\text{def}}{=} \{a + b\omega \in \mathbb{C} \mid a, b \in \mathbb{Z}, \omega^2 + \omega + 1 = 0\}$ (числа Кронекера).

АЛ1♦10*. Есть ли среди фактор колец² кольца $\mathbb{Z}[i]$ поле характеристики а) 2 б) 3, и если да, то сколько элементов может быть в таком поле?

АЛ1♦11*. При каких простых p существует ненулевой гомоморфизм колец $\mathbb{Z}[i] \rightarrow \mathbb{Z}/(p)$?

АЛ1♦12*. Разложите 5 на неприводимые³ множители в кольце $\mathbb{Z}[i]$. Какие простые $p \in \mathbb{Z}$ остаются неприводимыми в $\mathbb{Z}[i]$?

¹Включая единицу и само число.

²Кольцо B называется *фактор кольцом* кольца A , если имеется сюръективный гомоморфизм колец $A \rightarrow B$.

³Элемент q коммутативного кольца с единицей называется *приводимым*, если он является произведением двух необратимых элементов.

№	дата	кто принял	подпись
1			
2			
3а			
б			
в			
4а			
б			
в			
5			
6			
7а			
б			
в			
г			
8а			
б			
в			
г			
д			
9а			
б			
10а			
б			
11			
12			