

Algebrai Számelmélet

3. gyakorlat

2014. március 4.

1. (3 pont) Igazoljuk a Kínai maradéktételt Dedekind gyűrűkre. Tehát ha $A \triangleleft \mathcal{O}$ egy ideál az \mathcal{O} Dedekind gyűrűben, melynek prímeideálok szorzatára való bontása $A = P_1^{\nu_1} \dots P_t^{\nu_t}$, akkor

$$\mathcal{O}/A \cong \bigoplus_{i=1}^t \mathcal{O}/P_i^{\nu_i}.$$

-
2. (2 pont) Igazoljuk, hogy egy $\Gamma \subset V$ rács pontosan akkor teljes, ha V/Γ kompakt.
3. (2 pont) Legyenek $L_i(x_1, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j$ ($i = 1, \dots, n$) valós homogén lineáris polinomok, melyekre $\det((a_{ij}))_{ij} \neq 0$ és c_1, \dots, c_n pozitív valós számok, melyekre $c_1 \dots c_n > |\det((a_{ij}))_{ij}|$. Mutassuk meg, hogy vannak olyan $m_1, \dots, m_n \in \mathbb{Z}$ egész számok, melyekre $|L_i(m_1, \dots, m_n)| < c_i$ ($i = 1, \dots, n$).
-

4. (2+2 pont) Igazoljuk, hogy a

$$\begin{aligned} \mathbb{C} \otimes_{\mathbb{Q}} K &\rightarrow K_{\mathbb{C}} \\ z \otimes \alpha &\mapsto z \cdot (j\alpha) \end{aligned}$$

leképezés egy gyűrűizomorfizmus. Igazoljuk továbbá, hogy a megszorítása $\mathbb{R} \otimes_{\mathbb{Q}} K$ -ra szintén izomorfizmus $K \otimes_{\mathbb{Q}} \mathbb{R}$ és $K_{\mathbb{R}}$ között.

5. (1 pont darabja) Igazoljuk, hogy \mathbb{Q} azon másodfokú bővítéseiben, melyeknek diszkriminánsa rendre 5, 8, 11, -3, -4, -7, -8, -11, igaz az elemekre a számelmélet alaptétele.
6. (a) (4 pont) Egy $0 < t$ valós számra legyen $X_t := \{z \in K_{\mathbb{R}} \mid \sum_{\tau} |z_{\tau}| < t\}$. Igazoljuk, hogy $\text{vol}(X_t) = 2^r \pi^s \frac{t^n}{n!}$.
- (b) (4 pont) Igazoljuk, hogy ha $|K/\mathbb{Q}| = n$, akkor $|d_K|^{1/2} \geq \frac{n^n}{n!} \left(\frac{\pi}{4}\right)^{n/2}$. (Segítség: Válasszuk meg t -t úgy, hogy $\text{vol}(X_t) > 2^n \text{vol}(\Gamma)$ teljesüljön, ahol $\Gamma = j(\mathcal{O}_K) \subset K_{\mathbb{R}}$. Alkalmazzuk a számtani-mértani közép közti egyenlőtlenséget a $|\tau(\alpha)|$ számokra, ahol $0 \neq \alpha \in \mathcal{O}_K$ a Minkowski-féle rácsponttöétel alapján garantált elem, melyre $j(\alpha) \in X_t$. Majd vegyük észre, hogy $1 \leq |N_{K/\mathbb{Q}}(\alpha)|$.)
- (c) (1 pont) Igazoljuk, hogy ha a $|K : \mathbb{Q}|$ fokszám tart végtelenhez, akkor a d_K diszkrimináns is. Továbbá ha $n > 1$ (azaz $K \neq \mathbb{Q}$), akkor $d_K > 1$.
7. (a) (3 pont) Legyen $A \triangleleft \mathcal{O}_K$ egy olyan ideál, melynek rendje m az osztálycsoportban (azaz $A^m = (\alpha)$ főideál). Bizonyítsuk be, hogy $A\mathcal{O}_L = (\beta)$, ahol $L = K(\beta)$ és $\beta^m = \alpha$.

- (b) (1 pont) Igazoljuk, hogy minden K/\mathbb{Q} véges bővítéshez van olyan L/K véges bővítés, melyben minden \mathcal{O}_K -beli ideál főideállá válik.
- (c) (2 pont) Igazoljuk, hogy az algebrai egészek Ω gyűrűje egy *Bézout-gyűrű*, azaz minden végesen generált ideálja főideál (és integritási tartomány, de persze nem noether).
8. (a) (3 pont) Igazoljuk, hogy Bézout-gyűrű felett minden végesen generált torziómentes modulus szabad.
- (b) (2 pont) Igazoljuk, hogy $\bigcup_{n=1}^{\infty} \mathbb{C}[[x^{1/n}]]$ Bézout gyűrű.
- (c) (3 pont) Egy $0 < r < 1$ valós számra legyen R_r az $\{z \in \mathbb{C} \mid r < |z| < 1\}$ körgyűrűn komplex differenciálható függvények gyűrűje. Igazoljuk, hogy $\bigcup_{r < 1} R_r$ egy Bézout-gyűrű.
9. Az alábbi feladatban a Minkowski-elmélet multiplikatív verziója segítségével adjuk meg az \mathcal{O}_K^\times egységcsoport mint Abel-csoport rangját.
- (a) (3 pont) Legyen $K_{\mathbb{C}}^\times = \prod_{\tau} \mathbb{C}^\times$ a $K_{\mathbb{C}}$ gyűrű multiplikatív csoportja, továbbá $N: K_{\mathbb{C}}^\times \rightarrow \mathbb{C}^\times$ az a csoporthomomorfizmus, melyet a koordináták szorzatával értelmezünk. Továbbá definiáljuk a $l := \log |\cdot|: K_{\mathbb{C}}^\times \rightarrow \prod_{\tau} \mathbb{R}$ homomorfizmust koordinátánként. Igazoljuk, hogy $l \circ j: \mathcal{O}_K^\times \rightarrow \prod_{\tau} \mathbb{R}$ magja éppen az \mathcal{O}_K^\times torziórészcsoportja, azaz a K -ban levő egységgyökök $\mu(K)$ csoportja.
- (b) (2 pont) Igazoljuk, hogy ha $\alpha \in \mathcal{O}_K^\times$, akkor $l \circ j(\alpha)$ -t fixálja a komplex konjugálás $\prod_{\tau} \mathbb{R}$ -en (ezen a komplex konjugálás csak a τ -kat permutálja). Mutassuk meg továbbá, hogy $l \circ j(\alpha)$ koordinátáinak összege 0.
- (c) (5 pont) Igazoljuk, hogy $l \circ j(\mathcal{O}_K^\times)$ egy teljes rács a H altérben, ahol

$$H = \left\{ x_{\tau} \in \prod_{\tau} \mathbb{R} \mid \sum_{\tau} x_{\tau} = 0 \text{ és } x_{\sigma_k} = x_{\overline{\sigma_k}} \text{ (} k = 1, \dots, s \text{)} \right\}.$$

Speciálisan $\mathcal{O}_K \cong \mu(K) \times \mathbb{Z}^{r+s-1}$ (mint Abel-csoport).