

PACS numbers: 64.60.De, 64.75.Op, 71.10.-w., 75.10.Dg, 75.10.Nr, 75.30.Et, 75.50.Lk

Ефекти «орбітального скла». 6. Розпад стопу

О. І. Міцек, В. М. Пушкар

*Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України,
бульв. Академіка Вернадського, 36,
03142 Київ, Україна*

Розпад стопу $A_{1-c}B_c$ виділяє структури з різним орбітальним склом (ОС). Число елементів у структурі — N_{GG} (група Галуа — GG). Це — сегрегація орбітальних моментів L_r йонів Со. Форма та величина структури залежить від L_r та їхньої взаємодії $\Gamma_r(L_r, L_{r+p})$. Виділення плоских GG($x0y$) періодичне. Період Δ_z розпаду залежить від твердості та $N_{GG}(z)$ плоских фаз і їхньої термострикції. Це описує експериментальні дані. Розпад FeC_x (булату) дає «кинджальчики», витягнуті паралельно осі Oz у м'якому Fe. Твердість «кинджальчика» зростає з ростом $[x, C_x]$, як (GG-3)-матеріалу ОС. Обертони «звучання» булату (частота ω звуку) визначаються доменою (GG-3) як фазою ОС. Розрахунок методом багатоелектронних операторних спінових дає скінчене значення твердості виділень фази (площини $Cu_{1-x}Co_x$, «кинджальчика» FeC_x та ін.) та її звучання (ω_n обертонів). Розпад ядер U^{232} й $U_{1-x}Pu_x$ пов'язуємо зі зменшенням числа нейтронів $N_n < 146$. Можливі 2 сценарії: відхід нейтронів n , порушення балансу Кулонової енергії N_p протонів і сегрегації орбітальних моментів L_r адронів; витіснення ($N_n \leq 146 - x$) збільшенням $N_p \geq (92 + x)$. Сценарії можливі за зближення півсфер стопу $U_{1-x}Pu_x$ до з'явлення умов ядерного вибуху.

Ключові слова: орбітальне скло, пластинчатий розпад, булатна криця, ядровий розпад U–Pu.

Corresponding author: Oleksandr Ivanovych Mitsek
E-mail: amitsek@gmail.com

*G. V. Kurdyumov Institute for Metal Physics, N.A.S. of Ukraine,
36 Academician Vernadsky Blvd., UA-03142 Kyiv, Ukraine*

Citation: O. I. Mitsek and V. M. Pushkar, 'Orbital Glass' Effects. 6. Alloy Decomposition, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **47**, No. 7: 667–673 (2025).
DOI: [10.15407/mfint.47.07.0667](https://doi.org/10.15407/mfint.47.07.0667)

© Publisher PH 'Akadempriodyka' of the NAS of Ukraine, 2025. This is an open access article under the CC BY-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0>)

Decomposition of $A_{1-x}B_x$ alloy picks out structures with different orbital glasses (OG). Quantity of elements in structure is N_{GG} (Galois group—GG). That is segregation of orbital moments L_r of Co ions. Form and size of structure depend on L_r and their interaction $\Gamma_r(L_r, L_{r+p})$. The separation of flat $GG(x0y)$ is periodical. Decomposition period Δ_z depends on hardness and $N_{GG}(z)$ of flat phases and their thermostriction. That describes experimental data. Decomposition of FeC_x (damask steel) gives ‘daggers’ stretched along Oz -axis in soft Fe. Daggers’ hardness increases with increase of $[x, C_x]$ as (GG-3) of OG material. Overtones of damask-steel sound are determined by domain (GG-3) as OG phase. Calculation by many-electron operator spinors method gives finite quantity of hardness of phase ($Cu_{1-x}Co_x$ plane, ‘dagger’ FeC_x and others) and their sound (ω_n of overtones). Nuclear decay of U^{232} and $U_{1-x}Pu_x$ is connected with decrease of neutron quality $N_n < 146$. Two versions are possible: going off n , breach of balance of Coulomb energy of N_p protons and segregation (OG) of hadron orbital moments L_r ; ousting ($N_n \leq 146 - x$) by increase of $N_p \geq (92 + x)$. These versions are possible under closing of semi-spheres of $U_{1-x}Pu_x$ alloy to appearance of nuclear explosion.

Key words: orbital glass, lamellar decomposition, damask steel, nuclear decay of U–Pu.

(Отримано 1 січня 2025 р.; остаточн. варіант — 13 березня 2025 р.)

1. ВСТУП

Упорядкування стопу (спінове [1], атомне [2]) аналогічне сегрегації орбітального скла (ОС) [3]. Розпади стопів також різноманітні. Найбільш важливим є поділ на домени з групами Галуа (GG) різної симетрії.

Сегрегація орбітальних моментів L_r приводить до нового матеріалу ОС з широким його застосуванням.

Спостережувані ефекти [4–11] розраховано методом багатоелектронних операторних спінорів (БЕОС) [3].

Орбітальне скло найбільш яскраво спостерігається в розпаді легкого стопу [12] та булатної криці [13]. В обох випадках виділяється тверда фаза з легкого розтопу. Вона об’єднує йони Co або C^{12} дифузіїєю через м’яку матрицю розтопу Co–Cu або Fe– C^{12} . (Дифузіїю в домені GG-3 через сегрегацію ОС буде розраховано в іншому місці.)

Твердість фази Co_xCu_{1-x} ($x \rightarrow 1$), що випадає, підвищується енергією сегрегації L_r -моментів йонів Co, яка об’єднує їх у домену GG-3 фази, що випадає. Форма GG-3 спостерігається пластинчатою [12]. Періодичність пластин Co_xCu_{1-x} ($x \gg 0,1$) розглядалася в рамках теоретичних моделей. Тут ми вважаємо вирішальним чинником твердість фази (з $x \gg 0,1$), що випадає, у порівнянні з м’якістю фази Co_xCu_{1-x} (з $x \ll 0,1$).

Булатна криця [13] складається з твердих включень доменів C^{12} у формі кинджальчиків GG-3, витягнутих під тиском σ_{zz} .

2. ПЕРІОДИЧНІСТЬ РОЗПАДУ $\text{Cu}_{1-x}\text{Co}_x$ ($x < 0,1$)

Великий теоретичний інтерес викликало спостереження періодичності фази, що випадає, зі стопу $\text{Cu}_{1-x}\text{Co}_x$. Слабке розчинення Co в м'якій матриці Cu супроводжується розпадом. Частинки $\text{Cu}_{1-x}\text{Co}_x$ мають підвищену твердість U_g . Найбільш ймовірно зв'язати її з сегрегацією ОС. Твердість ОС збільшено енергією сегрегації моментів L_r йонів Co_x у частинках розпаду.

Розрахуємо домену ОС (у формі пласкої частинки, витягнутої вздовж осі $0z$):

$$H_{\text{OG}} = \sum_{r, p} \Gamma_p(\mathbf{L}_r \uparrow) \times (\mathbf{L}_{r+p} \downarrow), \sum_r (\mathbf{L}_r \downarrow) = \sum_R (\mathbf{L}_R \uparrow) = N_G. \quad (2.1)$$

Процес дифузії дає зростання домени Γ алуа (ДГ)

$$H = \sum_{r, p} \Gamma_p(\mathbf{L}_r \uparrow) + (\rightarrow) - \Gamma_p(\mathbf{L}_R \uparrow) \times (\mathbf{L}_R \downarrow), N_G \rightarrow N_G + 1. \quad (2.2)$$

Сегрегація збільшує розмір ДГ ($x_D, y_D, z_D \rightarrow z_D + 1$) в напрямку $0z$. Ростає пласка ДГ ($y_D + 1, z_D + 1, x_D \cong \text{const}$).

Шукаємо період ДГ вздовж осі $0x$. Віддаль між ДГ — $L(x) = L_x$; товщина ДГ — $\Delta_x = D - L_x$. Варіюємо термодинамічний потенціал:

$$\Phi_D = -(D - L_x)\varepsilon_F - L_x\Gamma + \lambda L_x^2 / 2 \rightarrow 0, \quad (2.3)$$

звідки

$$D \cong \lambda L_x^2 / \varepsilon_F \quad (2.4)$$

з термострикцією $\lambda(T)$.

Розмір (площа $S_{xy}(T)$) включення Co (тобто ДГ) —

$$S_{xy}(T) \propto N_G(T) \propto (T_{\text{seg}} - T) \propto \Delta_x(T), L_x \propto N_G(T) \quad (2.5)$$

в наближенні «середнього поля» [8].

Період пластинчастості розпаду (виділення Co-частинок) —

$$(D - L_x)T = \Delta_x(T) \propto \lambda(T) \propto (N_G(T))^2 \propto (T_{\text{seg}} - T)^2. \quad (2.6)$$

Розміри Co-включень (пластин) $S_{xy}(T)$ та їхня періодичність сильно залежать від параметра сегрегації ОС, тобто від $N_G(T)$.

3. БУЛАТНА КРИЦЯ (РОЗПАД $\text{Fe}-\text{C}^{12}$)

Різноманітність булатів зумовлено різноманітністю методів лиття

та подальшого термострикційного оброблення криць Fe-C¹² [14].

Розчин Fe-C¹² розпадається на частинки Fe_{1-x}C_x у формі «кинджальчиків» вздовж осі Oz. Їхня твердість —

$$MH = (\sigma_0 + \Delta\sigma) / cC_{33}, \quad (3.1)$$

де c — швидкість звуку, C_{33} — модуль пружності. Він витягує «кинджальчики» вздовж осі Oz, створюючи клинок (P_z); його твердість задається (3.1). М'який чистий Fe металізується внутрішнім тертям:

$$\sigma_0 \approx 1 \text{ eV} \ll \Delta\sigma. \quad (3.2)$$

Внутрішня енергія ОС (сегрегації L_r ДГ) задається умовами:

$$\Delta\sigma \ll H^{\text{OC}}, H^{\text{OC}} = \sum_{r,p} \Gamma_r L_r L_{r+p}, T \approx 10 \text{ eV} \approx \bar{\Delta\sigma}. \quad (3.3)$$

Перехід «кинджальчика» в ОС оцінюємо природою «середнього поля» [1]:

$$\Delta\sigma \approx \Gamma N_G(T), \quad (3.4)$$

де густина сегрегації

$$N_G \approx (10 - 10^3) < L_r >, \quad (3.5)$$

тобто

$$\Delta\sigma \approx H^{\text{OC}} > \propto \Gamma, N_G \approx 10 \text{ eV} \rightarrow \sigma_0. \quad (3.6)$$

Звідси маємо

$$MH(\text{булат}) \approx MH(\text{алмаз}). \quad (3.7)$$

3.1. «Звучання булата» (обертони GG-3)

Гамільтоніян звуку (фононів b_k) —

$$H^b = \sum h \omega_k b_k b_k^+, [b_k, b_q^+] = \delta_{kq}; \quad (3.1.1)$$

його зв'язок з ОС —

$$H^{\text{in}} = -\sum \Gamma_r L_r u_z L_{r+p} = -\Gamma_0 L_0^z L_0^z (b_r + b_r^+) + \sum_{kq} \Gamma_q^1 L_k^+ b_q^+ L_{k+q}^- + \text{c.c.}, \quad (3.1.2)$$

$$l = G_q^2 = \langle\langle b_q | b_q^+ \rangle\rangle, (E - \omega_q) G_q^b + \sum_k \Gamma_q G_{kq}^1, \quad (3.1.3)$$

де

$$\Gamma_q^1 = \Gamma_\rho(\mathbf{qk})\mathbf{a}_3, G_{kq}^1 = \langle\langle L_{k'}^+ L_{k'+q}^- \big| b_q^+ \rangle\rangle. \quad (3.1.4)$$

Далі:

$$O = (E - \Gamma_k + \Gamma_{k+g})G_{k+g}^1 - \sum_q \Gamma_q G_{q'}^2, \quad (3.1.5)$$

де

$$G_{q'}^2 = \langle\langle L_k^+ b_q \delta_{q',k+q} L^z L_{k'+q'-q}^- \big| b_q^+ \rangle\rangle. \quad (3.1.6)$$

Використаємо апроксимацію

$$G_{qkq}^2 \cong \langle L_k^+ L_{k'}^- \rangle G_q^0, G_{kq}^1 \cong \sum_q \Gamma_q N_k^m G_q^0. \quad (3.1.7)$$

Густина сегрегонів —

$$N_k^m = \langle L_k^+ L_k^- \rangle \cong (e^{q\Gamma_q} + \xi)^{-1}. \quad (3.1.8)$$

З перенормуванням фононів (звуку) $\omega_k^0 = \omega$ маємо:

$$\omega_k \rightarrow \omega_k^0 + \Delta\omega_k, \Delta\omega_k = \sum_{qq'} (\Gamma_q^1 \Gamma_{q'}^1 / (E - \Gamma_k + \Gamma_{k+q}) N_{q'}^m), E \rightarrow \omega\hbar. \quad (3.1.9)$$

Оцінюємо

$$\Delta\omega_k \cong |\Gamma^1| / \Gamma \cong \Gamma \quad (3.1.10)$$

та суму

$$\sum_{q'} N_{q'}^m \cong N_G Q_G(T), Q_G(T) \propto (T_{\text{seg}} - T). \quad (3.1.11)$$

Висота «обертону булату» визначається числом N_G елементів групи Галуа («кинджальчика»): $\Delta\omega \propto N_G$.

4. РОЗПАД ЯДЕР ($U_{1-x}Pu_x$)

Розпаду сприяє Кулонове відштовхування протонів (заряд $q^+ > 0$):

$$H^{\text{coul}} = \sum Q_p q_r q_{r+p}. \quad (4.1)$$

Їхня енергія для $N = 92$ (із зарядом ядра U) у Боровому моделі —

$$Q_p = Q_0 e^{K_p/p} \quad (4.2)$$

оцінюється як

$$\langle H^{\text{coul}} \rangle = 92q^{-2} > 0. \quad (4.3)$$

Навпаки, сегрегація орбітальних моментів $L^{(p, n)}$, де N_n — число нейтронів (GG-3), стабілізує ядро U^{238} . Всього є $N_{\text{GG}} = 238$ елементів групи Галуа. Зменшення N_n до 140 (U^{232}) приводить до розпаду.

У стопі $U_{1-x}\text{Pu}_x$ зменшення N_n до $146 - x$ приводить до вибуху. Критичне число щодо вибуху ядра $U_{1-x}\text{Pu}_x$ — $c_{\text{cr}} \rightarrow 0,06$.

Оцінку енергії стабілізації нейтронами, —

$$H^{\text{st}} = \sum_p \Gamma_p L_r^n L_{r+p}^n < 0, — \quad (4.4)$$

бажано провести, використовуючи модель йонного зв'язку адронів, для обґрунтування якого потрібні спрямовані експерименти.

5. ВИСНОВКИ

1. Розпад $\text{Cu}_{1-x}\text{Co}_x$ дає пластини ОС (Co), періодичність яких залежить від термострикції твердих ОС-частинок.
2. Булат Fe–C народжується випаданням «кинджальчиків» високої твердості (за рахунок їхньої ОС-енергії), що також впливає на спектер їхнього «звучання».
3. Розпад ядер $U_{1-x}\text{Pu}_x$ ($x \ll 1$) пов'язаний зі зменшенням числа N_n сегрегації нейтронів, що утворюють групу Галуа (GG-3).

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. С. В. Вонсовский, *Магнетизм* (Москва: Наука: 1971).
2. А. А. Смирнов, *Теория сплавов внедрения* (Москва: Наука: 1979).
3. О. І. Міцек, В. М. Пушкар, *Металофіз. новітні технол.*, **42**, № 9: 1315 (2020).
4. О. І. Міцек, В. М. Пушкар, *Металофіз. новітні технол.*, **44**, № 2: 141 (2022).
5. О. І. Міцек, В. М. Пушкар, *Металофіз. новітні технол.*, **45**, № 6: 737 (2023).
6. О. І. Міцек, В. М. Пушкар, *Металофіз. новітні технол.*, **45**, № 7: 877 (2023).
7. О. І. Міцек, В. М. Пушкар, *Металофіз. новітні технол.*, **46**, № 1: 15 (2024).
8. О. І. Міцек, В. М. Пушкар, *Металофіз. новітні технол.*, **46**, № 7: 615 (2024).
9. А. В. Дерягин, А. В. Андреев, *ЖЭТФ*, **71**, № 9: 1166 (1976).
10. О. І. Міцек, В. М. Пушкар, *Металофіз. новітні технол.*, **42**, № 6: 755 (2020).
11. О. І. Міцек, *Металофіз. новітні технол.*, **23**, № 9: 1149 (2001).
12. Б. И. Николин, *Многослойные структуры и политипизм в металлических*

сплавах (Київ: Наукова думка: 1984).

13. П. П. Аносов, *О булатах* (1841).

14. С. В. Вонсовский, *Магнетизм микрочастиц* (Москва: Наука: 1973).

REFERENCES

1. S. V. Vonsovsky, *Magnetizm* [Magnetism] (Moskva: Nauka: 1971) (in Russian).
2. A. A. Smirnov, *Teoriya Splavov Vnedreniya* [Theory of Interstitial Alloy] (Moskva: Nauka: 1979) (in Russian).
3. O. I. Mitsek and V. M. Pushkar, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **42**, No. 9: 1315 (2020) (in Ukrainian).
4. O. I. Mitsek and V. M. Pushkar, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **44**, No. 2: 141 (2022) (in Ukrainian).
5. O. I. Mitsek and V. M. Pushkar, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **45**, No. 6: 717 (2023) (in Ukrainian).
6. O. I. Mitsek and V. M. Pushkar, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **45**, No. 7: 813 (2023) (in Ukrainian).
7. O. I. Mitsek and V. M. Pushkar, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **46**, No. 1: 15 (2024) (in Ukrainian).
8. O. I. Mitsek and V. M. Pushkar, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **46**, No. 7: 615 (2024) (in Ukrainian).
9. A. V. Deryagin and A. V. Andreev, *ZhETF*, **71**, No. 9: 1166 (1976) (in Russian).
10. O. I. Mitsek and V. M. Pushkar, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **42**, No. 6: 755 (2020) (in Russian).
11. O. I. Mitsek, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **23**, No. 9: 1149 (2001) (in Russian).
12. B. I. Nikolin, *Mnogosloynnye Struktury i Politipizm v Metallicheskih Splavakh* [Multilayer Structures and Polytypism in Metal Alloys] (Kyiv: Naukova Dumka: 1984) (in Russian).
13. P. P. Anosov, *O Bulatakh* [About Damask Steels] (1841) (in Russian).
14. S. V. Vonsovsky, *Magnetizm Mikrochastits* [Magnetism of Microparticles] (Moskva: Nauka: 1973) (in Russian).