

Добавимо, що якщо знищуються тільки хижаки, то немає необхідності накладати обмеження на інтенсивність знищення.

Можна зробити тільки одне другорядне зауваження: період малих флуктуацій зменшується, коли знищуються жертви, і збільшується, коли знищуються хижаки. Але в обох випадках відношення амплітуд збільшується.

Таким чином нами проаналізовано основні сценарії задачі хижак-жертва згідно [26].

### Література

1. Volterra V. *Lecçons sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie*. Paris:Gauthiers-Villars, 1931. 214 p.
2. Lotka, A.J.: *Elements of Physical Biology*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1925. 460 p.
3. Baccarè N. *Histoires de mathématiques et de populations*. Paris: Cassini, 2008. 211 p.
4. Haken H. *Synergetics. An Introduction. Nonequilibrium phase transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry and Biology*. Berlin a.o.: Springer-Verlag, 1977. 325 p.
5. Свідзинський А. В. *Математичні методи теоретичної фізики*. Т.1. Київ: Ін-т теорет. фізики, 2009. 396 с.
6. Trokhimchuk P.P. About application kinetic Volterra equations and Haken method for the hierarchic dynamical processes modeling// *Management systems and information technologies*, №2(28), 2008. С.23–27.
7. Трохимчук П. П. *Математичні основи знань. Поліметричний підхід*. Луцьк: Вежа-Друк, 2014. 624 с.
8. Trokhimchuk P. P. *Theories of Everything: Past, Present, Future*. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2021. 260 p.

## ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ

### $Pb_4Ga_4GeSe_{12}-Pb_4Ga_4GeS_{12}$

Шигорін О.П., Новосад О.В., Гомілко В.В.

Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, 43025,  
e-mail: [Novosad.Oleksiy@vnu.edu.ua](mailto:Novosad.Oleksiy@vnu.edu.ua)

У роботі досліджувались термоелектричні властивості твердих розчинів  $Pb_4Ga_4GeSe_{12}-Pb_4Ga_4GeS_{12}$  з вмістом 10, 20 та 30 мол.%  $Pb_4Ga_4GeS_{12}$ . Методика одержання твердих розчинів  $Pb_4Ga_4GeSe_{12}-Pb_4Ga_4GeS_{12}$  та деякі фізичні властивості монокристалів  $Pb_4Ga_4GeSe_{12}$  та  $Pb_4Ga_4GeS_{12}$  представлені в роботах [1,2]. Слід відмітити, що халькогеніди свинцю ( $PbX$ , де  $X=S, Se, Te$ ) використовуються як матеріали для термоелектричних перетворювачів енергії [3,4]. Почетверені напівпровідникові сполуки  $Pb_4Ga_4GeSe(S)_{12}$  є перспективними для розробки нових нелінійно-оптичних матеріалів [5].

Методика досліджень термоелектричних властивостей твердих розчинів  $Pb_4Ga_4GeSe_{12}-Pb_4Ga_4GeS_{12}$  описана в [6].

Термоелектричними методами встановлено, що досліджувані тверді розчини є напівпровідниками  $n$ -типу провідності. Значення коефіцієнтів Зеєбека ( $\alpha$ ) становили 205 мкВ/К, 220 мкВ/К, 240 мкВ/К для сполук  $Pb_4Ga_4GeSe_{12}-Pb_4Ga_4GeS_{12}$  з вмістом 10, 20 та 30 мол.%  $Pb_4Ga_4GeS_{12}$  відповідно. Найвищими значення питомої електропровідності при  $T \approx 300$  К володіли кристали  $Pb_4Ga_4GeSe_{12}-Pb_4Ga_4GeS_{12}$  з вмістом 20 мол.%  $Pb_4Ga_4GeS_{12}$ . Високі значення питомої електропровідності ( $\sigma \approx 170 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ ) можуть свідчити про стан досліджуваних напівпровідникових матеріалів, близький до виродженого. Найвищі значення термоелектричної потужності ( $\alpha^2 \cdot \sigma = 8,2 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}^2$ ) властиві сполукам  $Pb_4Ga_4GeSe_{12}-Pb_4Ga_4GeS_{12}$  з вмістом 20 мол.%  $Pb_4Ga_4GeS_{12}$ .

Маючи високі значення коефіцієнта Зеєбека, тверді розчини  $Pb_4Ga_4GeSe_{12}-Pb_4Ga_4GeS_{12}$  з вмістом 10, 20 та 30 мол.%  $Pb_4Ga_4GeS_{12}$  є перспективними матеріалами для виготовлення чутливих термодатчиків. Про перспективність даних сполук як матеріалів для термоелектричної генерації можна буде стверджувати після досліджень їх коефіцієнта теплопровідності.

### Література

1. G. L. Myronchuk, O. Nyhmatullina, M. Y. Rudysh et al. Impact of Structural Defects on the Electronic and Optical Properties of  $Pb_4Ga_4Ge(S,Se)_{12}$  Crystals. *Physica B: Condensed Matter*. 2025. Vol. 699. P. 416834

2. Bellagra H. K., Nyhmatullina O., Kogut Yu. M. et al. Photoconductivity of the single crystals  $Pb_4Ga_4GeS_{12}$  and  $Pb_4Ga_4GeSe_{12}$ . *The 2nd International Online Conference on Crystals*. Crystals-2020, November 10–20, 2020. 62, 4.
3. D. M. Rowe, Handbook of thermoelectrics. New. York : CRC Press, 1995. 720 pp.
4. D.M. Freik, L.I. Nykyruy, R.O. Dzumedzey et al. Thermoelectric Figure of Merit Optimization of  $PbX$  ( $X = S, Se, Te$ ) Crystals. *Physics and chemistry of solid state*. 2013. vol. 14. P. 383–389.
5. Chen Y.K., Chen M.C., Zhou L.J., et al. Syntheses, structures, and nonlinear optical properties of quaternary chalcogenides:  $Pb_4Ga_4GeQ_{12}$  ( $Q = S, Se$ ). *Inorg. Chem.*, 2013. vol. 52, №15. P. 8334–41.
6. Oleksii Novosad, Pavlo Shygorin, Volodymyr Bozhko et al. Electrical and Thermoelectrical Properties of  $PbSe-AgSbSe_2$  Monocrystals. *Proceedings of 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering*, Lviv-Slavske, Ukraine, February 22–26, 2022, P. 798–801.

## ДЕЯКІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТРИГАРМОНІЙНИХ ФУНКЦІЙ

*Шутовський Арсен*

*Кафедра теоретичної та комп'ютерної фізики імені А.В. Свідзинського,  
Волинський національний університет імені Лесі Українки*

[sh93ar@gmail.com](mailto:sh93ar@gmail.com)

Добре відомо, що математична фізика є теорією диференціальних рівнянь у частинних похідних. Одним із найпоширеніших рівнянь такого типу є рівняння Лапласа, яке використовується з метою опису електростатичного поля в просторі без електричних зарядів, стаціонарного розподілу температури в просторовому тілі та багатьох інших систем. Однак, рівняння Лапласа належить до класу так званих полігармонійних рівнянь.

У даному ж дослідженні поставлено за мету отримати низку результатів, які дають змогу розглядати теорію ігрових задач динаміки як середовище для побудови оптимальних математичних об'єктів. А саме, знайдено розв'язок тригармонійного рівняння у декартових координатах для верхньої півплощини за наявності спеціально підібраних граничних умов. Як наслідок, побудовано так званий тригармонійний інтеграл Пуассона [1] для верхньої півплощини, який належить до класу інтегралів із додатними інтегральними ядрами. Розглянуто також і таку ситуацію, коли граничні значення тригармонійних функцій поблизу межі верхньої півплощини належать до класу періодичних функцій. Показано, що функціональна залежність тригармонійного інтеграла Пуассона від періодичної функції є інтегралом із дельтаподібним ядром, яке вдається представити у вигляді суми трьох знакосталих дробів [2]. Аналіз асимптотичної поведінки тригармонійного ядра демонструє узгодженість представлених результатів із раніше відомими результатами.

### *Література*

1. A.M. Shutovskyi, "Some asymptotic properties of solutions to triharmonic equations," *Cybernetics and Systems Analysis*, **60**(3), 472–479 (2024).
2. A.M. Shutovskyi, "Some representations of triharmonic functions," *Cybernetics and Systems Analysis*, **60**(6), 991–1000 (2024).