

АНОТАЦІЯ

Троцький Є. М. Особливості структурних переходів у низьковимірних органічних речовинах. — Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 — «Фізика та астрономія» (10 — Природничі науки). — Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України, Харків, 2026.

Дисертацію присвячено дослідженню кристалографічних та динамічних характеристик низьковимірних органічних речовин під впливом ван-дер-ваальсової та електростатичної взаємодії з боку окремих атомів/молекул, введених у структуру речовини. Було проведено аналіз з розробкою порівняно простих та наочних, але ефективних моделей для опису допованих органічних кристалів типу тетратіафульваленів (ТТФ) та органічних молекул (бензол) на моношарі графену. Відповідно, дисертаційне дослідження охоплює два напрями: 1) структурні переходи в органічних кристалах типу ТТФ при допуванні меншими за розміром молекулами; для опису міжмолекулярної взаємодії використано формулу для усередненого потенціалу Леннард-Джонса, а також електростатичної та квадрупольної взаємодії; 2) структурні переходи молекул бензолу на графені з введенням векторів трансляції молекули бензолу, що дозволяє описати напрямки руху бензольного кільця у енергетично вигідні положення, типів доменів, які виникають після трансляції, переходів між доменами та визначенням можливих типів доменних меж. Ці дві різні речовини характеризуються наявністю π -електронної взаємодії, яка відповідає за міжмолекулярну взаємодію всередині стопки із молекулами типу ТТФ, взаємодію цих молекул з допантами та за адсорбцію органічних молекул на графені.

У вступі коротко обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету та основні завдання дослідження, об'єкт, предмет та методи дослідження. Сформульовано наукову новизну та описано практичне значення отриманих результатів. Також у цьому розділі наведено інформацію про публікації, особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертації. Наведено інформацію про структуру та обсяг дисертації.

Розділ 1 присвячено огляду та аналізу літератури за темою дисертації. В огляді викладено відомі результати, які стосуються структурних переходів в органічних речовинах; огляд поділено на дві частини, кожна з яких присвячена одній з двох груп низьковимірних систем: молекулярних кристалів на основі TTF та органічних молекул, адсорбованих на графені. У першій частині огляду розглядаються органічні провідники та надпровідники, отримані при хімічному з'єднанні з π -електронними донорними молекулами тетратіафульваленового (TTF) типу. Існує багато робіт з дослідження солей на основі TTF, зокрема BEDT-TTF, фізичні властивості яких сильно визначаються молекулярною упаковкою, димеризацією, структурою аніонної підґратки та електрон-електронними взаємодіями. Раніше було отримано дані щодо різних структурних типів, включаючи α -, β -, δ -, κ - та θ -фази. Було описано приклади того, як невеликі зміни в молекулярному розташуванні можуть створювати металеві, діелектричні, зарядово-впорядковані, моттівські, магнітні або надпровідні стани.

У першій частині огляду підкреслюється, що матеріали на основі TTF, зокрема BEDT-TTF, є важливими модельними системами для вивчення низьковимірної корельованої електронної фізики. Сильно димеризовані солі κ -типу обговорюються як системи, в яких можуть виникати моттівська ізолююча поведінка, антиферомагнетизм, квантові спин-рідкі стани та надпровідність. Обговорюються роботи, де показано, що слабо димеризовані системи є більш сприятливими для зарядового упорядкування, ніж сильно димеризовані.

Узагальнено кілька експериментальних методів, що використовуються для вивчення цих сполук, включаючи рентгенівську дифракцію монокристалів, вимірювання електропровідності, раманівську та інфрачервону спектроскопію, ядерний магнітний резонанс, вимірювання теплоємності та експерименти під високим тиском. Ці дослідження показують, що структурні перебудови, впорядкування зарядів, спотворення решітки та електронні фазові переходи тісно пов'язані в органічних молекулярних провідниках.

Також обговорюються теоретичні та обчислювальні підходи, що використовуються для опису міжмолекулярних взаємодій та фазової поведінки в таких системах. Потенціал Леннард-Джонса, моделювання методом Монте-Карло та молекулярна динаміка представлені як корисні інструменти для моделювання взаємодій ван дер Ваальса та термодинамічних властивостей. Ці методи є актуальними, оскільки слабкі міжмолекулярні сили відіграють важливу роль у визначенні стабільності та структурних переходів в органічних кристалах.

Друга частина огляду стосується адсорбції органічних молекул на графені. Графен описується як двовимірний матеріал з нульовою шириною забороненої зони та високою рухливістю носіїв заряду, але практичні електронні застосування вимагають контролю над типом носіїв, концентрацією носіїв та шириною забороненої зони. Існують роботи, присвячені адсорбції електроно-акцепторних молекул, таких як тетраціаноетилен (TCNE) та 2,3,5,6-тетрафторо-7,7,8,8-тетраціаноквінодиметан (F_4 -TCNQ), обговорюється як можливий неруйнівний метод легування р-типу та модифікації електронної структури графену. В цій частині також розглядаються перенос заряду, спінова поляризація, молекулярне покриття та ентальпія адсорбції у системі молекула-графен.

Розділ 2 присвячено дослідженню моделі квазіодновимірного ланцюжка з молекул типу TTF. Дослідження починається з розгляду одновимірного ланцюжка,

у який потім вбудовуються атоми/молекули, значно менші за розміром, ніж молекула типу TTF. Далі представлено теоретичний опис структурних переходів в органічних молекулярних кристалах на основі TTF під впливом малих молекул легуючої домішки. Представлено квазіодновимірну модель, де молекули типу TTF утворюють молекулярні стоси та взаємодіють переважно через сили ван дер Ваальса. Показано, що у таких системах взаємодію між цілими молекулами можна описати за допомогою формули для усередненого потенціалу Леннард-Джонса. Взаємодія малих молекул легуючої домішки з сусідніми молекулами TTF представлена потенціалом з подвійним мінімумом, що дозволяє аналізувати поведінку переходу порядок-безлад, зменшення потенціального бар'єру та зміщення молекул в кристалічній ґратці.

Після цього порівнюється поведінка системи при додаванні нейтральних та заряджених допантів. Нейтральні домішки можуть призвести до локального впорядкування, подвоєння періоду ґратки та утворення флуктуаційних доменів, які інтерпретуються за допомогою моделі, подібної до Ізінга. Заряджені домішки роблять внесок в електростатичну взаємодію, призводять до переносу заряду, утворення диполів та впорядкування зарядів на великих відстанях. Ці ефекти можуть стабілізувати тривимірні впорядковані структури та створювати спонтанну поляризацію без зовнішнього електричного поля.

У розділі 3 розглядається двовимірна модель кристалів BEDT-TTF для опису декількох структурних типів: це структури β -, α -, θ - та κ -типу. У цьому розділі показано, що легування може змінювати рівноважну відстань, орієнтацію молекул та площу контакту між молекулами BEDT-TTF. Для пояснення переходу від паралельного вирівнювання молекул до нахилених структур використовується модифікований потенціал типу Леннард-Джонса, що включає сили ван дер Ваальса, квадрупольну та електростатичну взаємодії.

Розділ 4 присвячено вивченню особливостей доменної структури молекул бензолу на моношарі графену. У цьому розділі досліджуються домени та доменні межі в квазідвовимірній системі ван дер Ваальса, утвореній молекулами бензолу, адсорбованими на графені. У дослідженні описується, як молекули бензолу зміщуються з симетричного нестабільного положення до стабільних місць адсорбції, утворюючи ліві та праві домени, пов'язані з двоатомною елементарною коміркою графену. Ці зміщення описані за допомогою векторного параметру порядку. Вперше введено класифікації цих доменів та ідентифікації можливих доменних меж з відносною орієнтацією 180° , 120° , 60° та 0° . Сформульовано топологічні правила відбору для визначення критеріїв існування конкретних типів доменних меж. У розділі також аналізуються геометричні властивості, де визначено ступінь заповнення та енергія різних конфігурацій меж. Введено класифікацію 180° доменних меж на вертикальні, де лінія межі ділить навпіл сторони графенових шестикутників, та горизонтальні, де діляться навпіл кути. Згідно отриманих результатів розрахунків, горизонтальні 180° межі мають найнижчу лінійну густину енергії потенціальної взаємодії і тому є найбільш стабільними. Ці доменні структури можуть впливати на електронні, механічні та динамічні властивості органічних гібридних матеріалів на основі графену.

Основні результати дисертаційної роботи: за допомогою легування стосу молекул типу ТТФ меншими за розміром домішками можна керувати формою потенціалу Леннард-Джонса, понижуючи висоту потенціального бар'єру зі збільшенням відношення варійованої відстані між допантом та великою молекулою до рівноважної відстані. Використовуючи квазіодновимірну ланцюгову модель з потенціальною взаємодією типу Леннард-Джонса, показано, що міжмолекулярні допанти можуть існувати лише тоді, коли відношення варійованої відстані між допантом та великою молекулою до рівноважної відстані, а також їхній розмір, достатньо малі. Якщо допant розташовано між великими молекулами

TTF, то виникає двоямний потенціал, що призводить до впорядкованої структури стосу за низьких температур, тобто до структурного переходу «порядок-безлад». При досягненні критичного значення співвідношення відстані до рівноважної відстані від допанта до молекули типу TTF та подальшому перевищенні відбувається вихід допанта за межі стосу. Структурні переходи типу зміщення, які полягають у зміні рівноважної відстані між молекулами та кута орієнтації відносно осі стосу, призводять до зміни структурних фаз BEDT-TTF та і пов'язані з міжмолекулярною електростатичною і квадрупольною взаємодією відповідно.

У випадку адсорбції молекул бензолу на графені, молекули бензолу при адсорбції здатні утворювати топологічні дефекти розташування – домени та міждоменні межі. Адсорбція у вигляді смуг з молекул, які чергуються з так званими «доменними стінками», утворює керовані потенціальні бар'єри або ями для носіїв заряду з налаштовуваною шириною та глибиною. Порушена симетрія на доменних межах може трансформувати фонони, що поширюються вздовж симетричних напрямків, в обертальні молекулярні моди, роблячи ці межі ефективними лініями розсіювання фононів, якими можна керувати.

Представлені у дисертації результати мають фундаментальне та прикладне значення, що полягає у зміні фізичних властивостей органічних речовин за рахунок додавання у їхню структуру значно менших за розміром молекул. Додавання допантів призводить до зміни структурного та зарядового впорядкування у стосі з молекул BEDT-TTF та адсорбованих молекулах бензолу на графені. Зміна впорядкування веде до суттєвої зміни характеристик та властивостей усього молекулярного комплексу — від структурних переходів у органічних молекулярних кристалах на основі BEDT-TTF до змін електро- та теплопровідних властивостей графену, що можна використовувати це для модифікації електронних та механічних властивостей досліджуваних систем.

Результати цього теоретичного дисертаційного дослідження можуть стати розширенням до практичного використання розглянутих структур, особливо з огляду на те, що ці структури широко застосовуються у нано- та біоелектроніці та пристроях для акумуляції зарядів.

Ключові слова: низькі температури, система ван дер Ваальса, молекулярний кристал, міжмолекулярна взаємодія, квазіодновимірна модель, домішки, геометрія молекул, структурні переходи, зарядове упорядкування, домени, доменні межі, бензол, адсорбція на графені, матеріали на основі вуглецю.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:

1. V. A. Lykah, V. A., E. S. Syrkin, and E. N. Trotskii. "Heavy doped organic crystals ordering." *Low Temperature Physics* 47.5 (2021): 406-411, DOI: 10.1063/10.0004235, Q3.
2. E. M. Trotskii, E. S. Syrkin, and V. O. Lykah. "Phase structures and interaction of BEDT-TTF molecules." *Low Temperature Physics* 49.5 (2023): 568-574, DOI: 10.1063/10.0017818, Q3.
3. Yevhenii M. Trotskyi , Evgeniy S. Syrkin , and Victor O. Lykah. "Benzene on graphene: Types of domain boundaries" *Low Temperature Physics* 52.8 (2026): 1028-1034, DOI: 10.1063/10.0044470, Q3.

Наукові праці, які засвідчують апробацію результатів:

4. International Advanced Study Conference “CONDENSED MATTER & LOW TEMPERATURE PHYSICS 2020” (June 8 – 14, 2020), Kharkiv, Ukraine “Structural transitions of complex organic crystals BEDT-TTF”, /Oral presentation, Section 7 – Materials science.
5. III International Conference “CONDENSED MATTER & LOW TEMPERATURE PHYSICS 2023” (June 5 – 11, 2023), Kharkiv (online) “Structural and phase transitions in BEDT-TTF” /Poster presentation, Section 7 – Materials science.
6. 11th International Conference “Nanotechnologies and Nanomaterials NANO-2023” (August 16 – 19, 2023), Bukovel (online) “BEDT-TTF molecular structural phases in dependence of doping molecule characteristics” /Poster presentation, Section "Physico-Chemical Nanomaterials Science.

7. IV International Conference “CONDENSED MATTER & LOW TEMPERATURE PHYSICS 2024” (June 3 – 7, 2024), Kharkiv (online)
“Conditions for the formation of new structural phases in BEDT-TTF” /Oral presentation, Section 7 – Materials science.
8. Bogolyubov Kyiv Conference “Problems of Theoretical and Mathematical Physics” (September 24 – 26, 2024), Kyiv
“Domains and domain boundaries structure of benzene adsorbed on graphene” /Oral presentation, Section 4 – Condensed matter physics.
9. V International Conference “CONDENSED MATTER & LOW TEMPERATURE PHYSICS 2025” (June 2 – 6, 2025), Kharkiv (online)
“Dynamics and structure of quasi-2D hybrid materials” /Oral presentation.
10. VI International Conference “CONDENSED MATTER & LOW TEMPERATURE PHYSICS 2026” (June 1 – 5, 2026), Kharkiv (online)
“Benzene on graphene surface: domains and domain boundaries” /Poster presentation.

ABSTRACT

Trotskyi Y. M. Characteristics of structural transitions in low-dimensional organic materials. — Qualification scientific paper printed as a manuscript.

Dissertation for the Ph. D. degree in the branch 104 — “Physics and Astronomy” (10 — Natural Sciences). — B. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, 2026.

This dissertation is devoted to the study of crystallographic and dynamic characteristics of low-dimensional organic materials under the influence of the van der Waals and electrostatic interactions from individual atoms/molecules introduced into the structure of the material. An analysis was performed with the development of relatively simple and clear, but effective models for description of doped organic crystals of the TTF type and organic molecules (benzene) on a graphene monolayer. Accordingly, the dissertation research covers two areas: 1) structural transitions in organic crystals of the tetrathiafulvalene (TTF) type when doped with smaller molecules; to describe the intermolecular interaction, the formula for the averaged Lennard-Jones potential, as well as electrostatic and quadrupole interactions, was used; 2) structural transitions of benzene molecules on graphene with the introduction of translation vectors of the benzene molecule, which allows describing the directions of movement of the benzene ring to energetically favorable positions, types of domains that arise after translation, transitions between domains and determining possible types of domain boundaries. These two different materials are characterized by the presence of π -electron interaction, which is responsible for the intermolecular interaction within the stack with TTF-type molecules, the interaction of these molecules with dopants and the adsorption of organic molecules on graphene.

The **introduction** briefly justifies the relevance of the topic of the dissertation, defines the goal and main objectives of the research, the object, subject and methods of

the research. The scientific novelty is formulated and the practical significance of the results obtained is described. This section also provides information on publications, the applicant's personal contribution and the approval of the dissertation results. Information on the structure and scope of the dissertation is provided.

Section 1 is devoted to a review and analysis of the literature on the topic of the dissertation. The review presents known results related to structural transitions in organic materials; the review is divided into two parts, each of which is devoted to one of two groups of low-dimensional systems: molecular crystals based on the tetrathiafulvalene (TTF) and organic molecules adsorbed on graphene. The first part of the review discusses organic conductors and superconductors obtained by chemical coupling with π -electron donor molecules of the TTF type. There exist a lot of papers on TTF-based salts, in particular BEDT-TTF, whose physical properties are strongly determined by molecular packing, dimerization, anionic sublattice structure and electron-electron interactions. Previously, data have been obtained on different structural types, including α -, β -, δ -, κ - and θ -phases. Examples have been described of how small changes in molecular arrangement can create metallic, dielectric, charge-ordered, Mott, magnetic or superconducting states. The first part of the review emphasizes that TTF-based materials, in particular BEDT-TTF, are important model systems for studying low-dimensional correlated electron physics. Strongly dimerized κ -type salts are discussed as systems in which Mott insulating behavior, antiferromagnetism, quantum spin-liquid states, and superconductivity can occur. The papers were discussed showing that weakly dimerized systems are more favorable for charge ordering than strongly dimerized ones. Several experimental methods used to study these compounds are summarized, including single-crystal X-ray diffraction, electrical conductivity measurements, Raman and infrared spectroscopy, nuclear magnetic resonance, heat capacity measurements, and high-pressure experiments. These studies show that structural rearrangements, charge

ordering, lattice distortion, and electronic phase transitions are closely coupled in organic molecular conductors.

Theoretical and computational approaches used to describe intermolecular interactions and phase behavior in such systems are also discussed. Lennard-Jones potential, Monte Carlo simulations and molecular dynamics are presented as useful tools for modeling van der Waals interactions and thermodynamic properties. These methods are relevant because weak intermolecular forces play an important role in determining the stability and structural transitions in organic crystals.

The second part of the review concerns the adsorption of organic molecules on graphene. Graphene is described as a two-dimensional material with zero band gap and high charge carrier mobility, but practical electronic applications require control over the type of carriers, carrier concentration and band gap. There are papers devoted to the adsorption of electron-withdrawing molecules, such as tetracyanoethylene (TCNE) and 2,3,5,6-tetrafluoro-7,7,8,8-tetracyanoquinodimethane (F₄-TCNQ), which are discussed as a possible non-destructive method for p-type doping and modification of the electronic structure of graphene. This part also considers charge transfer, spin polarization, molecular coverage, and adsorption enthalpy in the molecule-graphene system.

Section 2 is devoted to the study of a model of a quasi-one-dimensional chain of TTF-type molecules. The study begins with a consideration of a one-dimensional chain, into which atoms/molecules that are much smaller in size than a TTF-type molecule are then embedded. Next, a theoretical description of structural transitions in organic molecular crystals based on TTF under the influence of small dopant molecules is presented. A quasi-one-dimensional model is presented, where TTF-type molecules form molecular stacks and interact mainly through van der Waals forces. It is shown that in such systems the interaction between whole molecules can be described using the formula for the averaged Lennard-Jones potential. The interaction of small dopant

molecules with neighboring TTF molecules is represented by a potential with a double minimum, which allows us to analyze the behavior of the order-disorder transition, the reduction of the potential barrier, and the displacement of molecules in the crystal lattice.

The behavior of the system upon addition of neutral and charged dopants is then compared. Neutral impurities can lead to local ordering, doubling of the lattice period, and formation of fluctuation domains, which are interpreted using an Ising-like model. Charged impurities contribute to electrostatic interactions, lead to charge transfer, formation of dipoles, and long-range charge ordering. These effects can stabilize three-dimensional ordered structures and create spontaneous polarization without an external electric field.

In **Section 3**, a two-dimensional model of BEDT-TTF crystals is considered to describe several structural types: β -, α -, θ -, and κ -type structures. This section shows that doping can change the equilibrium distance, molecular orientation, and contact area between BEDT-TTF molecules. To explain the transition from parallel alignment of molecules to tilted structures, a modified Lennard-Jones type potential is used, which includes van der Waals forces, quadrupole and electrostatic interactions.

Section 4 is devoted to the study of the features of the domain structure of benzene molecules on a graphene monolayer. This section investigates the domains and domain boundaries in a quasi-two-dimensional van der Waals system formed by benzene molecules adsorbed on graphene. The study describes how benzene molecules shift from a symmetrical unstable position to stable adsorption sites, forming left and right domains associated with the diatomic unit cell of graphene. These shifts are described using a vector order parameter. For the first time, classifications of these domains and identification of possible domain boundaries with relative orientations of 180° , 120° , 60° and 0° are introduced. Topological selection rules are formulated to determine the criteria for the existence of specific types of domain boundaries. The section also analyzes the

geometric properties, where the degree of filling and energy of different boundary configurations are determined. A classification of 180° domain boundaries is introduced into vertical, where the boundary line bisects the sides of graphene hexagons, and horizontal, where the corners are bisected. According to the obtained calculation results, horizontal 180° boundaries have the lowest linear potential interaction energy density and are therefore the most stable. These domain structures can affect the electronic, mechanical and dynamic properties of organic hybrid materials based on graphene.

The main results of the dissertation research: by doping a stack of TTF-type molecules with smaller impurities, the shape of the Lennard-Jones potential can be controlled, lowering the height of the potential barrier with an increase in the ratio of the varied distance between the dopant and the large molecule to the equilibrium distance. Using a quasi-one-dimensional chain model with a Lennard-Jones type potential interaction, it is shown that intermolecular dopants can exist only when the ratio of the varied distance between the dopant and the large molecule to the equilibrium distance, as well as their size, are sufficiently small. If the dopant is located between large TTF molecules, a double-well potential arises, which leads to an ordered structure of the stack at low temperatures, i.e. to an order-disorder structural transition. When the critical value of the ratio of the distance to the equilibrium distance from the dopant to the TTF-type molecule is reached and further exceeded, the dopant escapes from the stack. Structural transitions of the displacement type, which consist in a change in the equilibrium distance between molecules and the orientation angle relative to the stack axis, lead to a change in the structural phases of BEDT-TTF and are associated with intermolecular electrostatic and quadrupole interactions, respectively.

In the case of adsorption of benzene molecules on graphene, benzene molecules during adsorption are able to form topological defects of location - domains and interdomain boundaries. Adsorption in the form of stripes of molecules alternating with the so-called "domain walls" forms controllable potential barriers or wells for charge

carriers with adjustable width and depth. Broken symmetry at domain boundaries can transform phonons propagating along symmetric directions into rotational molecular modes, making these boundaries effective phonon scattering lines that can be controlled.

The results presented in the dissertation have a fundamental and applied significance, which consists in changing the physical properties of organic materials by adding much smaller molecules to their structure. The addition of dopants leads to a change in the structural and charge ordering in the stack of BEDT-TTF molecules and adsorbed benzene molecules on graphene. The change in ordering leads to a significant change in the characteristics and properties of the entire molecular complex - from structural transitions in organic molecular crystals based on BEDT-TTF to changes in the electrical and thermal conductivity properties of graphene, which can be used to modify the electronic and mechanical properties of the studied systems.

The results of this theoretical dissertation research can be an extension to the practical use of the considered structures, especially given that these structures are widely used in nano- and bioelectronics and charge storage devices.

Keywords: low temperatures, van der Waals system, molecular crystal, intermolecular interaction, quasi-one-dimensional model, impurities, molecular geometry, structural transitions, charge ordering, domains, domain boundaries, benzene, adsorption on graphene, carbon-based materials.

LIST OF APPLICANT'S PUBLICATIONS ON THE DISSERTATION TOPIC

Scientific papers in which the main dissertation results have been published:

1. V. A. Lykah, V. A., E. S. Syrkin, and E. N. Trotskii. "Heavy doped organic crystals ordering." *Low Temperature Physics* 47.5 (2021): 406-411, DOI: 10.1063/10.0004235, Q3.
2. E. M. Trotskii, E. S. Syrkin, and V. O. Lykah. "Phase structures and interaction of BEDT-TTF molecules." *Low Temperature Physics* 49.5 (2023): 568-574, DOI: 10.1063/10.0017818, Q3.
3. Yevhenii M. Trotskyi , Evgeniy S. Syrkin , and Victor O. Lykah. "Benzene on graphene: Types of domain boundaries" *Low Temperature Physics* 52.8 (2026): 1028-1034, DOI: 10.1063/10.0044470, Q3.

Approbation of dissertation results:

4. International Advanced Study Conference “CONDENSED MATTER & LOW TEMPERATURE PHYSICS 2020” (June 8 – 14, 2020), Kharkiv, Ukraine “Structural transitions of complex organic crystals BEDT-TTF”, /Oral presentation, Section 7 – Materials science.
5. III International Conference “CONDENSED MATTER & LOW TEMPERATURE PHYSICS 2023” (June 5 – 11, 2023), Kharkiv (online) “Structural and phase transitions in BEDT-TTF” /Poster presentation, Section 7 – Materials science.
6. 11th International Conference “Nanotechnologies and Nanomaterials NANO-2023” (August 16 – 19, 2023), Bukovel (online) “BEDT-TTF molecular structural phases in dependence of doping molecule characteristics” /Poster presentation, Section "Physico-Chemical Nanomaterials Science.

7. IV International Conference “CONDENSED MATTER & LOW TEMPERATURE PHYSICS 2024” (June 3 – 7, 2024), Kharkiv (online)
“Conditions for the formation of new structural phases in BEDT-TTF” /Oral presentation, Section 7 – Materials science.
8. Bogolyubov Kyiv Conference “Problems of Theoretical and Mathematical Physics” (September 24 – 26, 2024), Kyiv
“Domains and domain boundaries structure of benzene adsorbed on graphene” /Oral presentation, Section 4 – Condensed matter physics.
9. V International Conference “CONDENSED MATTER & LOW TEMPERATURE PHYSICS 2025” (June 2 – 6, 2025), Kharkiv (online)
“Dynamics and structure of quasi-2D hybrid materials” /Oral presentation.
10. VI International Conference “CONDENSED MATTER & LOW TEMPERATURE PHYSICS 2026” (June 1 – 5, 2026), Kharkiv (online)
“Benzene on graphene surface: domains and domain boundaries” /Poster presentation.

 Евгений Троцкий