

Волинський національний університет  
імені Лесі Українки

# **ФІЗИКА ТА ОСВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

Випуск 2



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2023

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

**Мирончук Галина Леонідівна** – доктор фізико-математичних наук, професор, директор навчально-наукового фізико-технологічного інституту Волинського національного університету імені Лесі Українки (головний редактор);

**Галян Володимир Володимирович** – доктор фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки;

**Головацький Володимир Анатолійович** – доктор фізико-математичних наук професор, професор кафедри теоретичної фізики та комп'ютерного моделювання Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича;

**Голодюк Лариса Степанівна** – доктор педагогічних наук, доцент, заступник директора з науково-методичної діяльності КЗ «Кіровоградський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти імені Василя Сухомлинського»;

**Заболотний Володимир Федорович** – доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри фізики і методики навчання фізики, астрономії Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського;

**Кажукаускас Вайдотас** – доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник групи дослідження фотоелектричних явищ Інституту фотоніки та нанотехнологій Вільнюського університету, м. Вільнюс, Литовська Республіка;

**Кевшин Андрій Григорович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, заступник директора з наукової роботи навчально-наукового фізико-технологічного інституту Волинського національного університету імені Лесі Українки;

**Озга Катаржина** – доктор наук, професор Ченстоховського політехнічного університету, м. Ченстохова, Республіка Польща;

**Пясецький Міхал Войцех** – доктор наук, професор Гуманітарно-природничого університету імені Яна Длугоша в Ченстоховій, м. Ченстохова, Республіка Польща;

**Рудиш Мирон Ярославович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, старший науковий співробітник кафедри загальної фізики Львівського національного університету імені Івана Франка;

**Савош Валентин Олексійович** – кандидат педагогічних наук, завідувач відділу фізико-математичних дисциплін Волинського інституту післядипломної педагогічної освіти;

**Сахнюк Василь Євгенович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри теоретичної та комп'ютерної фізики імені А.В. Свідзинського Волинського національного університету імені Лесі Українки;

**Сільвейстр Анатолій Миколайович** – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри фізики і методики навчання фізики, астрономії Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського;

**Сосницька Наталія Леонідівна** – доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри вищої математики і фізики Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного;

**Трифорова Олена Михайлівна** – доктор педагогічних наук, доцент, доцент кафедри природничих наук та методик їхнього навчання Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка

**Хижун Олег Юліанович** – доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу спектроскопії поверхні новітніх матеріалів Інституту проблем матеріалознавства імені І.М. Францевича Національної академії наук України;

**Шигорін Павло Павлович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної фізики імені А.В. Свідзинського Волинського національного університету імені Лесі Українки;

**Юхимчук Володимир Олександрович** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу оптики і спектроскопії напівпровідникових і діелектричних матеріалів Інституту фізики напівпровідників імені В.С. Лашкарьова;

**Яцюк Світлана Миколаївна** – кандидат педагогічних наук, доцент, декан факультету інформаційних технологій і математики Волинського національного університету імені Лесі Українки.

Журнал ухвалено до друку Вченою радою  
Волинського національного університету імені Лесі Українки  
**29 червня 2023 р., протокол № 8**

Науковий журнал «Фізика та освітні технології»  
zareєстровано Міністерством юстиції України  
(Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
серія КВ № 24970–14910Р від 30.08.2021 року)

«Фізика та освітні технології» включено до Переліку наукових фахових видань України категорії Б у галузі освіта/ педагогіка (спеціальності 014 – Середня освіта (за предметними спеціальностями); 104 – Фізика та астрономія; 105 – Прикладна фізика та наноматеріали) відповідно до Наказу МОН України № 1290 від 30 листопада 2021 року (додаток 3); Наказу МОН України № 530 від 06 червня 2022 року (додаток 2).

Офіційний сайт видання: [www.journals.vnu.volyn.ua/index.php/physics](http://www.journals.vnu.volyn.ua/index.php/physics)

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

ISSN 2786-5444 (print)  
ISSN 2786-5452 (online)

© Волинський національний університет імені Лесі Українки, 2023

УДК 519.7:37.011.2

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-1>

**Микола ГОЛОВІН**

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та кібербезпеки, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0003-4516-4677

**Ніна ГОЛОВІНА**

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0002-1152-1536

**Олег МАЗУРЧУК**

кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент кафедри здоров'я і фізичної культури, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**Бібліографічний опис статті:** Головін М., Головіна Н., Мазурчук О. (2023). Про транзити декларативних знань у процедурні вміння при тренуваннях у широкому діапазоні дисциплін. *Фізика та освітні технології*, 2, 3–12, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-1>

**ПРО ТРАНЗИТИ ДЕКЛАРАТИВНИХ ЗНАНЬ У ПРОЦЕДУРНІ ВМІННЯ ПРИ ТРЕНУВАННЯХ У ШИРОКОМУ ДІАПАЗОНІ ДИСЦИПЛІН**

Розглянута специфіка формування процедурних умінь, коли ці вміння детермінуються декларативними інструкціями. Увага приділена аспектам подібності цього процесу в сфері вивчення інформатики та в спортивних тренуваннях. Розглянута динаміка транзиту декларативного знання в процедурні навички та вміння на прикладі виконання послідовностей стандартних дій, кожне з яких не викликає координаційних труднощів. У ході дослідження були отримані і проаналізовані статистичні розподіли швидкостей дій виконання окремих завдань у роботі з файлами і текстами в інтерфейсі Windows. Порівнювались розподіли, відповідні різним спробам виконати пакети завдань великими групами учнів. Застосовано модельний підхід до аналізу статистичних розподілів швидкостей виконання завдань. Експериментальні розподіли в моделі представлено сумами нормальних контурів, зміщених один відносно одного у шкалі швидкості виконання завдання. Кожний нормальний контур в цій моделі відповідав деякому одному з чотирьох станів формування процедурного уміння. Площа під модельним контуром відповідає кількості людей у відповідному стані сформованості уміння. Крайні стани, в цьому контексті, це: стан повільного виконання, коли людина виконує дії усвідомлюючи кожний крок; та стан, який є цільовим у тренуванні, стан швидких дій, коли дії повністю автоматизовані, а сенсо-моторика працює майже без участі свідомості. Від спроби до спроби експериментальні розподіли зміщувались у бік високої швидкодії та звужувались. Аналіз динаміки цього процесу базується на метафорі перекачування площі з під нормальних контурів повільної роботи, під контури швидкісної роботи. Побудовані відповідні графіки. Зроблений аналіз трансформації площ розподілів на предмет динаміки тренувального процесу. Зроблено рекомендації стосовно специфіки тренувань у контексті отриманих результатів.

**Ключові слова:** декларативні знання, процедурні вміння та навички, тренування, модель процесу.

**Mykola HOLOVIN**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science and Cybersecurity, Volyn National University named after Lesya Ukrainka

<https://orcid.org/0000-0003-4516-4677>

**Nina HOLOVINA**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies, Volyn National University named after Lesya Ukrainka

<https://orcid.org/0000-0002-1152-1536>

**Oleg MAZURCHUK***Candidate of sciences in physical education and sports, Associate Professor of the Department of Health and Physical Culture, Volyn National University named after Lesya Ukrainka*

**To cite this article:** Holovin M., Holovina N., Mazurchuk O. (2023). Pro tranzyty deklaratyvnykh znan u protsedurni vminnia pry trenuvanniakh u shirokomu diapazoni dystsyplin [About transition of declarative knowledge in procedural skills while training in the wide spectrum of disciplines]. *Physics and Educational Technology*, 2, 3–12, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-1>

## ABOUT TRANSITION OF DECLARATIVE KNOWLEDGE IN PROCEDURAL SKILLS WHILE TRAINING IN THE WIDE SPECTRUM OF DISCIPLINES

*The specifics of the formation of procedural skills, when these skills are determined by declarative instructions, are considered. Attention is paid to aspects of the similarity of this process in the field of computer science and in sports training. The dynamics of the transit of declarative knowledge into procedural skills and abilities are considered on the example of performing sequences of standard actions, each of which does not cause coordination difficulties. In the course of the study, statistical distributions of the speed of actions of individual tasks in working with files and texts in the Windows interface were obtained and analyzed. The distributions corresponding to different attempts to complete task packages by large groups of students were compared. A model approach to the analysis of statistical distributions of task execution speeds is applied. Experimental distributions in the model are represented by the sums of normal contours shifted relative to each other in the scale of task performance. Each normal contour in this model corresponded to one of the four states of procedural skill formation. The area under the model contour corresponds to the number of people in the corresponding state of skill formation. Extreme states, in this context, are: a state of slow execution, when a person performs actions while being aware of each step; and the state that is targeted in training, the state of rapid action, when actions are fully automated and sensorimotor functions work almost without the involvement of consciousness. From trial to trial, the experimental distributions shifted toward high performance and narrowed. The analysis of the dynamics of this process is based on the metaphor of pumping areas from under the normal contours of slow work to under the contours of high-speed work. Corresponding graphs are constructed. An analysis of the transformation of distribution areas for the dynamics of the training process was made. Recommendations were made regarding the specifics of training in the context of the obtained results.*

**Key words:** declarative knowledge, procedural skills and abilities training, model of the process.

**Введення. Спортивний аспект перетворення декларативного знання в процедурне вміння.** Декларативна навчальна інформація часто допомагає сформувати складне процедурне вміння. Це спостерігається в різних сферах життєдіяльності. У чистому рафінованому вигляді перетворення декларативне-процедурне проявляється в спортивних тренуваннях. Тут складний координаційний рух, який необхідно засвоїти, розкладається тренером на окремі прості фази та формалізується вербальною інструкцією. Спортсмен запам'ятовує цю інструкцію. Повторює ланцюг компонентів складного руху, спираючись на цю інструкцію, з метою синтезу складно організованої цілісної дії. У процесі повільного початкового виконання тренувальних дій, спортсмен через свідомість контролює ключові фази складно організованого руху. Це сповільнює виконання дій. Далі, в міру формування процедурного вміння, потреба в контролі зменшуються, а відповідні складно організовані дії прискорюються та автоматизуються. У кінцевій фазі вони набувають

швидкого чисто сенсо-моторного вигляду з мінімальним контролем свідомості.

**Аналіз попередніх досліджень і публікацій.** Психологічні аспекти сумісної роботи декларативної і процедурної пам'яті в цілісному вигляді були розглянуті ще у моделі Фітца (Fitts, 1954). Передбачається, що ці два підрозділи пам'яті значною мірою є незалежними один від одного (Gade, 2014). Було висловлено припущення, що сліди декларативної і процедурної пам'яті обробляються по різному (Oberauer, 2009).

Модель набуття навичок Фітца (Fitts, 1954) передбачає: когнітивну, асоціативну і автономну фази. Впродовж когнітивної фази відбувається формування схеми дій у вигляді слів. Тут важливе значення має увага. Асоціативна фаза полягає в повторенні дій індивідуумом до появи сенсорно-моторних шаблонів цих дій. Автономна фаза є завершальною. Тут відбувається вдосконалення навичок. Сенсо-моторика, що реалізує схему дій, тестується на предмет важливості її окремих складових. Далі дії автоматизуються до стану, коли усвідомлений кон-

троль стає непотрібним. Необхідно відмітити, що концептуальним аспектом сумісної роботи декларативної і процедурної пам'яті є момент, пов'язаний з досить вузьким полем уваги (свідомості) людини, що складає  $7 \pm 2$  компоненти мислення (магічне число Міллера) (Канеман, 2021; Seth, 2022).

Цікавий пласт публікацій стосується біомеханіки процесів та спеціальної літератури за видами спорту, де розкладається техніка складних координаційних рухів на складові. Це особливо характерно для єдиноборств (Абдуллаєв, 2018) та ігрових видів спорту (Бурлака, 2022). Найбільшої детальності і об'ємності ці інструкції досягаються в методичних розробках східних єдиноборств (Нишияма, 1991). Актуальною темою для обговорень є також ідеомоторне тренування (Гринь, 2015), що полягає в мисленому виконанні дій, які мають бути впроваджені в недалекому майбутньому.

Частина публікацій, як наприклад, (Кутек, 2022) стосується основних аспектів спортивної підготовки, навичок організації та побудови навчально-тренувального процесу на різних етапах багаторічної підготовки.

**Актуальною проблемою** для дослідження, в щойно представленому контексті, є аналіз динаміки процесів формування процедурних вмінь, коли це формування детермінується відповідними вербальними інструкціями.

Необхідно відмітити, що в процесі підтримки формування процедурного вміння декларативними інструкціями можливе не тільки об'єднання (синтез) з кількох простих послідовних рухів одного складного синтетичного. Існують також і випадки, коли *всередину* домінантного руху додають послідовно ускладнюючі його елементи. Зрозуміло, що поступове формування складно організованої дії, потребує в процесі становлення все більш і більш узагальнених і лаконічних підтримуючих інструкцій. На кінцевому етапі синтетична процедурна дія стає повністю сенсомоторною автоматизованою і не вимагає вербальної підтримки з боку свідомості спортсмена.

*Усвідомлений контроль фаз сильно сповільнює складний рух.* Тому після формування складно організованого процедурного вміння необхідно позбутись від відповідного усвідомленого вербального контролю цих дій. Останнє не тільки прискорює складну дію, а і надає їй

гармонійну цілісність. Автоматизовані дії не тільки прискорюються під час свого виконання, а і легко і вчасно впроваджуються в потік інших технічних подій. Останнє є особливо актуальним в єдиноборствах, швидких ігрових видах спорту, гімнастиці, акробатиці, інших подібних спортивних дисциплінах. Включення в єдиноборствах сформованої технічної дії є *критичним* за часом та ситуацією. Вікно можливостей для проведення щойно відпрацьованої комбінації може відкриватись у процесі поєдинку протягом кількох десятків мілісекунд. Тому, відповідно і дії мають бути такі ж швидкі. Саме ці мілісекунди можуть відділяти виграш від програшу. Адже часто активна дія супроводжується "відкриттям" захисту нападаючого, що передбачає можливість перехоплення ініціативи і проведення контр дії. Хто має вищу сенсо-моторну чутливість та швидкість, той виграє. Необхідно відмітити, що саме на етапі впровадження відпрацьованої технічної дії відбувається її остаточне формування, оптимізація.

*Існує складність фіксації перетворення декларативного в процедурне у спортивних дисциплінах.* Ця складність фіксації пов'язана зі складністю формалізації процесів перетворення знання в уміння. Однак, є сфери діяльності в яких така динаміка може бути прослідкована та формалізована, наприклад, в навчальних діях у сфері інформатики, зокрема, при вивченні роботи в стандартному інтерфейсі Windows. Тут, як і в спортивних тренуваннях, вимагається вербальна підтримка дій учня з боку педагога у процесі формування відповідного синтетичного процедурного вміння.

**Метою** цієї роботи є розгляд динаміки транзитиву декларативного знання в процедурні навички, що відбувається, як в процесі спортивного тренування, так і при тренуваннях при вивченні інформатики, зокрема при виконанні завдань роботи з файлами та текстами в інтерфейсі Windows.

**Завданнями** роботи є

- Розгляд специфіки формування процедурних вмінь, коли вони детермінуються декларативними інструкціями; аспектів подібності цього процесу в сфері вивчення інформатики та в спортивних тренуваннях.

- Аналіз попередніх досліджень, сенсу експерименту, програмного інструменту для рутинного тренажу та дослідження процесу

формування процедурних умінь.

- Модельний розгляд динаміки процесу формування процедурних слідів пам'яті в режимі, коли цей процес підтримується відповідними декларативними інструкціями.

- Аналіз зміни форми експериментальних статистичних розподілів швидкостей дій групи учнів на різних етапах процесу їх тренування в контексті виявлення особливостей динаміки формування процедурних слідів пам'яті.

- Виявлення динаміки формування здатностей до швидких процедурних дій, що можуть бути актуальні в широкому діапазоні дисциплін в тому числі і спортивних.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

*Матеріали та методи.* Подібність транзитів декларативного знання в процедурне уміння в сфері вивчення інформатики та в спортивних тренуваннях мають наступні обставини. Матеріалізовані дії в інтерфейсі сучасного програмного продукту можуть бути достатньо різноманітними, комбінуватись і вибудовуватись в стандартні ланцюги дій мишкою та клавіатурою найбільш дивним чином. Відмінність ситуації із спортивним тренуванням полягає у тому, що дії в інтерфейсі не потребують, якось спеціальної координації рухів, а спортивні дисципліни вимагають цього. Засвоєння цієї спеціальної координації вимагає відповідного часу і зусиль.

Ситуація спортивного тренування стає подібною до ситуації засвоєння роботи в інтерфейсі Windows, коли спортсмен оволодів окремими елементами спеціальної техніки. Далі ці дії треба зв'язувати в технічні комбінації, що можуть бути у нагоді в різних стандартних спортивних ситуаціях. Зокрема в боксі, така ситуація виникає тоді, коли спортсмен вже вміє проводити окремі технічні спеціальні дії, наприклад, різноманітні удари. Далі ці дії треба зв'язувати в технічні комбінації, тобто в ланцюги дій. Зрозуміло, що тут зв'язуються не тільки засвоєні спеціальні дії, а і рухи загальної координації. Аналогічні ситуації виникають в інших видах спорту, наприклад, ігрових.

*Програмний інструмент для рутинного тренажу та дослідження.* Інтерфейс Windows є зручною платформою на якій цей транзит вербального у процедурне досить легко фіксувати та відповідно досліджувати результати. Зрозуміло, що така робота може бути реалізована

через спеціально створене для цього програмне забезпечення, яке в автоматизованому режимі видає учням завдання та контролює виконання завдань і час їх виконання. Комп'ютерне автоматизоване навчання може бути потужним джерелом діагностичної інформації не тільки стосовно пізнавальних процесів, тобто формування нових декларативних знань, але і стосовно трансформації цих вербальних знань в процедурні автоматизовані уміння і навички. Адже, наявність помилок в діях сигналізує про ще не сформовані декларативні знання, а скорочення часу виконання завдань, від спроби до спроби, при правильному їх виконанні, розкриває процес тренування, тобто, формування на основі декларативного знання процедурного уміння. Звичайно, що мова не може йти про пряме перетворення декларативного в процедурне, адже декларативні та процедурні сліди пам'яті в мозку людини локалізовані в різних місцях (Gade, 2014).

Треба відмітити, що на початковому етапі згадані вище ланцюги маніпуляцій мишкою і клавіатурою, для виконання завдань, повільні, вони переважно детермінуються вербальними декларативними інструкціями викладача. Учень контролює дії свідомістю. У процесі тренування дії стають повністю автоматизованими швидкими, сенсо-моторними, мало контрольованими свідомістю. Такі дії фіксуються в процедурній пам'яті людини. Зрозуміло, що перехід декларативного знання в процедурні уміння можливий після багатократного виконання відповідних пакетів завдань. Сам навчальний процес у цій його частині можна назвати тренувальним.

Рутинне тренування прийомам роботи в інтерфейсі Windows, було виведено авторами роботи з безпосереднього контролю викладача та автоматизовано, як в частині видачі завдань так і в частині фіксації правильності дій та часу виконання завдань. У цих умовах від викладача вимагалась підготовча робота із формалізації пакетів завдань, їх калібровки та формування інструкцій для виконання завдань. Робота досить великих груп учнів контролювалась спеціально створеним авторами статті програмним засобом, що видавав завдання, вів протокол роботи, фіксував правильність та швидкість виконання завдань. Нижче представлені результати досліджень формування слідів про-

цедурної пам'яті, що детермінувались декларативними інструкціями. Відповідні уміння та навички формувались у процесі виконання пакетів завдань у файловій системі та при редагуванні текстів. Навчаючою програмою контролювалась наявність файлів у визначених місцях файлової системи, внутрішнє наповнення текстових файлів, що піддавались редагуванню, швидкість виконання завдань.

**Попередні дослідження та сенс експерименту.** Як вже зазначалось вище, всяку складно організовану діяльність людини можна представити, як процес, що має дві модальності: усвідомлену і ту, що мало контролюється свідомістю, тобто процедурну. Останню можна назвати ще автоматизованою, яка втілюється у відповідні уміння та навички. У статтях (Головін, 2018; Головін, 2011) представлені експериментальні матеріали процесу тренінгу в інтерфейсі Windows стереотипних умінь і навичок роботи з менеджером файлів і текстовим редактором великої групи студентів. Тут зроблений акцент на когнітивному механізмі процесу навчання. У цьому процесі контроль свідомості над ланцюгом сенсо-моторних дій супроводжується групуванням цих дій в смислові логічно завершені вербально позначені групи, кожна з яких

може мати не більше  $7 \pm 2$  компоненти (магічне число Міллера).

Зрозуміло, що при групуванні загальна кількість моментів усвідомленого контролю зменшується. Стосовно кожної логічно завершені групи дій, що поточно відбуваються, реалізується зміщення контролю від конкретизованих дій до контролю за їх відповідним більш абстрактним синтетичним замінником. Саме в цьому і є когнітивна складова механізму трансформації декларативного знання в процедурне. Зрозуміло, що динаміка цієї заміни детермінується процесом формування відповідного процедурного уміння. Як тільки складений з багатьох компонентів рух отримує цілісність, усвідомлений контроль за складовими компонентами припиняється.

**Експеримент.** На рис. 1 представлено чотири експериментальні графіки. Це розподіли швидкостей виконання завдань великих груп студентів. Кожний з розподілів відповідає окремій тренувальній спробі виконання пакету завдань (рис. 1.1 – перша спроба, і, відповідно, рис. 1.4 – четверта).

Точки на графіках (рис. 1) відповідають експериментальним даним. Товста лінія, яка з'єднує ці точки, це апроксимація розподілу сумою

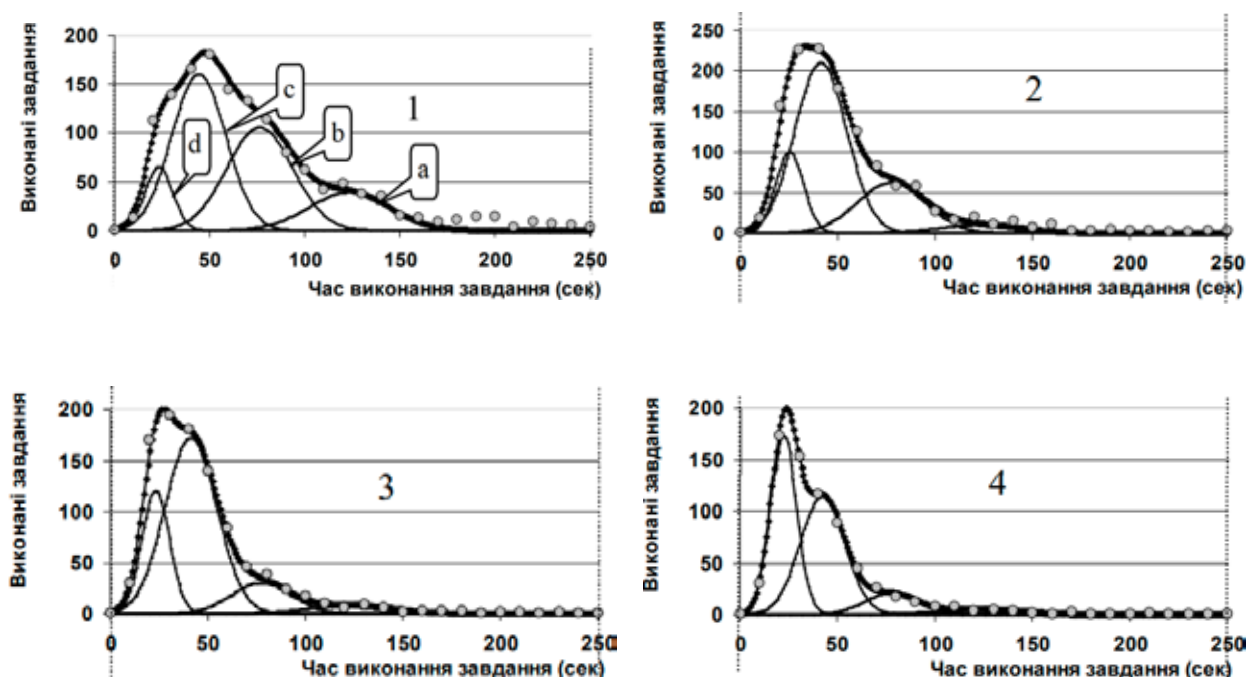


Рис. 1. Експериментальні розподіли кількостей виконаних завдань за часом їх виконання. Апроксимація експериментальних контурів сумою нормальних кривих

нормальних кривих, що розміщені під експериментальною кривою. Ці окремі нормальні контури **a**, **b**, **c**, **d** на рисунку позначені тонкими лініями.

Із рис. 1 випливає, що практичні навчальні дії дають широкі, асиметричні, експериментальні розподіли. У процесі навчання ці контури змінюють свою форму. У наслідок аналізу експерименту встановлено, що:

а) кожен з експериментальних розподілів зручно апроксимувати сумою нормальних (гаусових) кривих, зсунутих одна відносно одної за часом;

б) трансформація форми розподілу в процесі навчання вдало реалізується в межах механізму перерозподілу вкладів нормальних смуг без їх суттєвого зсуву та зміни дисперсії (ширини розподілу).

Представлені обставини дають перспективи для модельного розгляду процесу тренування.

**Модель.** Кожний нормальний контур зі складу тих, що утворюють сукупний розподіл у кожній зі спроб виконати завдання, в цій моделі, відповідає за конкретний якісний етап на шляху перетворення повільної усвідомленої діяльності до дій в повністю автоматизованому процедурному режимі. Вигляд кожного окремого нормального статистичного контуру розподілу показує міру варіативності швидкостей дій суб'єктів діяльності, що знаходяться на однаковому якісному етапі сформованості процедурних умінь, а площа під таким контуром дає кількість таких людей.

При апроксимації експериментальних кривих нормальними контурами, процес перерозподілу площ під цими нормальними контурами, в цій моделі, утворюють простий механізм, що характеризує трансформацію усвідомленої діяльності в процесі тренування в автоматизовану переважно сенсо-моторну без залучення у механізм дій свідомості. Нормальні контури на рис. 1 характеризують різні ступені контролю свідомістю дій. Так контроль за діями від контуру **a** до **b**, а потім від **b** до **c** і від **c** до **d** поступово зменшується. Мінімальний контроль свідомості відповідно приходить на контур **d**.

**Результати обробки експерименту.** Якщо прийняти викладені вище модельні уявлення, то в їх контексті можна розглянути саму динаміку формування змісту проце-

дурної пам'яті в процесі декларативної підтримки цього дійства.

На рис. 2. зображена динаміка зміни площ. Графік на рис. 2а відповідає за нормальний розподіл рис. 1а, що характеризується повним усвідомленим контролем за ланцюгом всіх дій. На рис. 2b графік відповідний розподілу рис. 1b, що характеризується переважним контролем за ланцюгом всіх дій. Однак, на цьому етапі вже з'являються дії, що відбуваються поза контролем свідомості. Графік на рис. 2c відповідає за нормальний розподіл рис. 1c, що характеризується ситуацією, коли більша кількість дій відбувається поза контролем свідомості в сенсо-моторній модальності. Зрештою, графік на рис. 2d відповідає за нормальний розподіл рис. 1d, що характеризується ситуацією, коли практично всі дії відбуваються в сенсо-моторній модальності тобто повністю автоматизовано поза контролем свідомості. Розглянемо специфіку ходу кривих на графіках, що зображені на рис. 2.

На початковому етапі тренування кількість людей, що володіють повністю автоматизованими уміннями і навичками діяльності в першій спробі рис. 2d склали не більше 10 відсотків загальної кількості респондентів. Цікавим є графік зображений на рис. 2c. Підгрупа людей, більша кількість дій яких у тренуванні відбувається поза контролем свідомості у першій спробі склали порядку 40 відсотків всієї кількості респондентів. Інша велика група, розміром трохи більше 35 відсотків осіб, на рис. 2b в першій спробі показала себе, як така, що робить пакет завдань з переважним контролем свідомості за ланцюгом всіх дій, що тренуються. Лише 15 відсотків респондентів у першій спробі показали себе такими, що всю сукупність дії виконують усвідомлюючи кожну з них (рис. 2a, перша спроба). Видно, що всі люди, що приступили до тренування знаходяться на різних стадіях формування умінь.

**Аналіз динаміки змін в процесі тренування.** *Монотонно зменшується (рис. 2a) категорія людей, які виконують вправи під повним контролем свідомості* на всьому ланцюгу спроб тренувальних дій. З цього графіку видно, що ця категорія зовсім зникає на п'ятій спробі. Їх робота автоматизувалась, і вони перейшли в інші категорії виконавців. Аналогічна монотонно спадна залежність спостеріга-



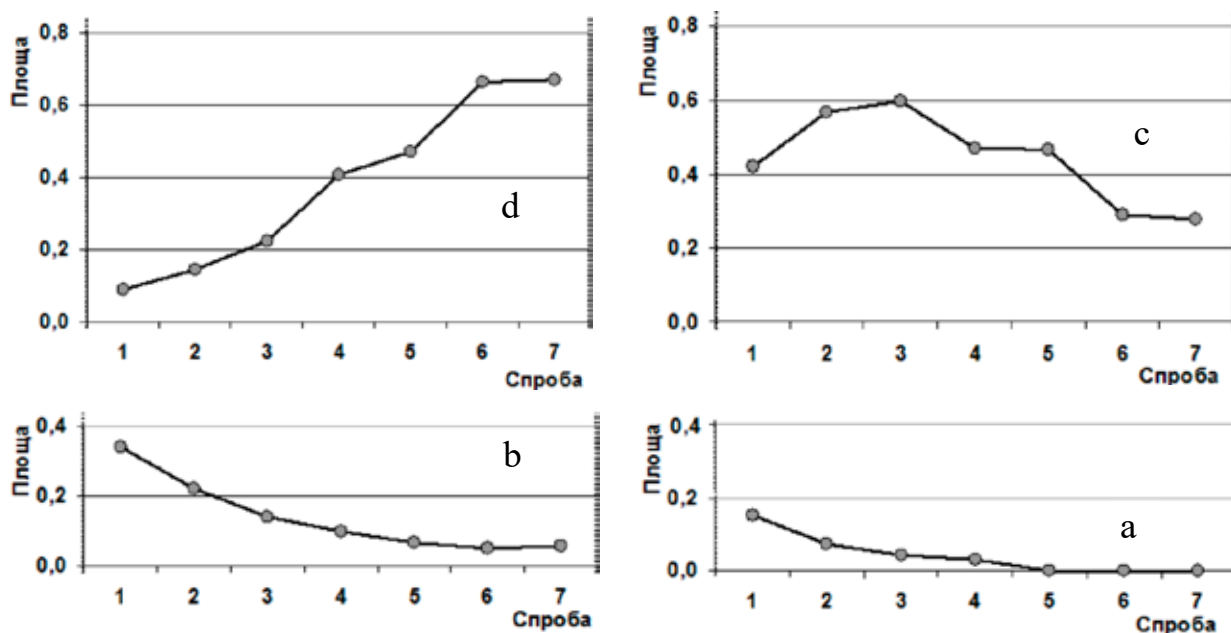


Рис. 2. Площі під нормальними складниками розподілів

ється для тих хто виконує тренувальні вправи у концепції переважного усвідомленого контролю всього ланцюга дій в процесі виконання завдань (рис. 2b).

**Монотонно збільшується (рис. 2d) категорія людей, які виконують вправи в повністю сенсо-моторній модальності дій** на всьому ланцюгу спроб тренувальних дій. Контроль свідомості в діях цих людей мінімізований. З цього графіку видно, що тренувальні спроби виконати пакети завдань приводять до сильного, майже лінійного (в межах похибки) збільшення кількості людей, що в результаті тренування набувають здатність діяти швидко, в сенсо-моторній модальності з мінімальним контролем свідомості за діями. Кількість таких людей збільшилась з 10 відсотків у першій спробі до 65 відсотків у шостій та сьомій спробі.

**Спостерігається ефект накопичення** суб'єктів тренування **в категорії тих, хто виконує вправи з мінімальним контролем свідомості, тобто в переважно сенсо-моторній модальності у всьому ланцюгу дій.** Ця категорія хоч і виконує тренувальні вправи переважно в сенсо-моторному режимі, однак, все ж таки, лишає мінімальний контроль свідомості за ланцюгом дій, що піддаються тренуванню. Це проявляється в цікавому ході кривих на рис. 2c в 1, 2, 3, 4, 5 спробі виконати пакет завдань. Так з рисунку видно, що на відрізьку 1, 2, 3 спроби

відбувається збільшення кількості людей, що діють переважно автоматизовано. Це і є якраз феномен накопичення. Джерело, цього накопичення це результати діяльності суб'єктів тренування, які працюють переважно або повністю усвідомлено на кожному кроці ланцюга дій. На спадній частині залежності відбувається «перекатка» акумульованої кількості в категорію тих, що працюють повністю автоматизовано. Цей феномен проявляється на відрізьку 3, 4, 5 спроб де спостерігається зменшення відповідної кількості суб'єктів тренування.

**Феномен стабілізації тренувального ефекту** проявляється на 6, 7 спробі виконати ланцюг дій, що піддаються тренуванню (рис. 2a, 2b, 2c, 2d). Всі залежності вийшли на полицьки і відповідні значення в цих залежностях суттєво не змінюються у процесі подальшого тренування. Так на 6, 7 спробі виконання завдань в категорії людей, що працюють швидко, повністю автоматизовано акумулювалось 68% з тих хто тренувався (рис. 2d), в категорії тих, що мінімально контролюють автоматизовані дії 28% (рис. 2b), а в категорії тих, що контролюють свідомістю переважно всі дії лишилось порядку 4% (рис. 2c).

Стабілізація результатів тренування на щойно представлених позиціях, на думку авторів, свідчить про те, що багатьом людям (32%, рис. 2b, 2c) психологічно важко позбутись усві-

домленого контролю за своїми діями в умовах, коли ситуація не є критична за швидкістю протікання. Для покращення швидкодії необхідно надалі встановлювати відповідні часові межі виконання ланцюга дій, що піддаються тренуванню. Якщо, ж такі часові межі встановлювати відразу, на відрізьку початкових спроб 1-7, то це, як правило, приводить до спорадичності та не ефективності дій на початковому етапі тренування.

Цінним у методиці тренування складної цілісної дії є диференціація тренером цієї дії за відповідними фазами виконання та формалізація цих фаз вербально у вигляді ланцюга елементарних дій. Така вербальна конструкція, згенерована тренером, при кількох етапах деталізації перетворюється в ієрархічну конструкцію, яка по суті є планом на освоєння складної дії.

Людина, що спирається на таку вербальну ієрархічну конструкцію в процесі свого тренування на початковому етапі виконує ланцюги простих дій, намагаючись синтезувати з них більш складні цілісності. Далі ці складніші синтетичні дії об'єднуються в процесі подальшого тренування в результуючу цілісність – складну процедурну дію, що і була метою тренування. Зрозуміло, що міра декларативного вербального усвідомленого контролю за протікання складної дії зменшується, як це показано вище, але не зникає повністю.

Наявність на фоні освоєної складної швидкоплинної процедурної дії декларативних знань стосовно структури цієї дії дає перспективу в тренуваннях на подальше покращення техніки виконання цієї дії, її корекції за місцем, часом і обставинами застосування (зворотний зв'язок в діях) та напрямку набуття варіативності цієї складної дії у відповідності до обставин.

Існує інша обставина, що робить важливим дублювання складних процедурних умінь декларативними знаннями про їх специфіку і структуру. Це особливо важливо для спортивних дисциплін, що передбачають контакт із суперником або суперниками. Так, часто супротивники в єдиноборствах, щоб створити сприятливі для себе умови, використовують рухи, що спрямовані не стільки на прямиий напад, скільки на те, щоб показати напад, та утворити розвилку можливих подальших дій. Результатом таких дій є зміщення супротивника або центру його тяжіння потрібним чином. Далі,

якщо супротивник захищаючись від фіктивної атаки змістився потрібним чином, проводиться справжня атака з використанням вже іншого технічного прийому. Це ж характерно не тільки для єдиноборств, а і для ігрових видів спорту. У цьому контексті цікавою є сенсомоторна критичність, що супроводжує події в спорті. Правильна, швидка оцінка ситуації і критична реакція на фіктивну атаку часто спасає від поразки. Викладене вище передбачає формування тренером не тільки лінійних ланцюгів швидких сенсомоторних дій, а багатомірного простору дій, які включають численні розгалуження можливих розвитків ситуацій. Такий складний простір ситуацій може бути побудований тільки тоді, коли декларативні інструкції з багатьма розгалуженнями детермінують формування процедурних слідів пам'яті.

#### **Висновки і перспективи подальших досліджень**

1. Розглянута динаміка транзиту декларативного знання в процедурні навички та уміння на прикладі виконання послідовностей стандартних дій, кожне з яких не викликає координаційних труднощів.

2. Процес тренування дає широкі, асиметричні, експериментальні розподіли швидкостей дій групи учнів. Ці розподіли змінюють свою форму в процесі тренування. Окремі розподіли зручно апроксимувати сумою нормальних кривих, зсунутих одна відносно одної за часом. Тоді зміна форми кожного з розподілів при тренуванні реалізується модельним механізмом перерозподілу площ вкладів нормальних контурів без їх суттєвого зсуву та зміни дисперсії.

3. Аналіз динаміки зміни форми розподілів при тренуванні, в контексті моделі, характеризується монотонним збільшенням категорії людей, які виконують вправи в повністю сенсомоторній модальності дій (рис. 2d) та монотонним зменшенням категорій людей, які виконують вправи під повним або переважним контролем свідомості (рис. 2a, 2b).

4. Зафіксований ефект тимчасового накопичення респондентів тренування (в межах 5 спроб виконати пакет завдань) в категорії тих, хто виконує вправи з мінімальним контролем свідомості (рис. 2c). На погляд авторів, цей феномен, в проміжному перед фінальному стані автоматизації дій, має психологічну

природу, базується на обмеженнях поля уваги людини (магічне числа Міллера) і полягає в усвідомленій перестраховці суб'єктів тренування в щойно автоматизованих діях.

5. Проявляється феномен зменшення тренувального ефекту на 6, 7 спробі у всіх категорій суб'єктів тренування. Всі залежності (рис. 2) вийшли на «полички». Зокрема, найшвидша категорія суб'єктів тренування склала 67 відсотків (рис. 2d). Долання цього бар'єру та вихід на вищий відсоток у цій категорії, на думку авторів, можливий при реалізації десятків тренувальних спроб в умовах критичних до швидкості виконання дій. Отже, формування спортивних умінь і навичок може гальмуватись саме цим психологічним феноменом і завдання тренера впродовж моделювання спеціальних спортивних ситуацій позбутись цього надлиш-

кового контролю для досягнення максимальної швидкості спеціальних дій.

6. Наявність на фоні щойно освоєної складної швидкоплинної процедурної дії декларативних знань стосовно структури цієї дії дає перспективу в тренуваннях на подальше покращення техніки виконання цієї дії, її корекції за місцем, часом і обставинами застосування. Така декларативна структура знань дає також перспективу на формування тренером не тільки лінійних ланцюгів швидких сенсомоторних процедурних дій, а багатомірного простору дій, які включають численні розгалуження можливих розвитків ситуацій. Такий складний простір ситуацій може бути побудований тільки тоді, коли декларативні інструкції з багатьма розгалуженнями детермінують формування процедурних слідів пам'яті.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Абдуллаєв А.К. (2018). Теорія і методика викладання вільної боротьби: Вид. 2-е, пероб. Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 299 с.
2. Бурлака І.В., Лукачина А.В. (2022). Фізичне виховання: Теніс [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 75 с.
3. Головін М.Б. (2018). Дослідження процесів навчання на основі аналізу моментів статистичних розподілів швидкостей навчальних дій (на матеріалах вивчення інформатики). Психологічні перспективи. Випуск 18. Луцьк, С. 72 – 82. URI: <https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/1743/>
4. Головін М.Б. (2011). Аналіз процесу навчання за допомогою статистичних розподілів швидкостей навчальних дій (на прикладі вивчення інформатики) *Вісник Волинського університету. Серія педагогічні науки*. Випуск 17. С. 4 – 9. [https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/4850/1/golovin\\_statrozp.pdf](https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/4850/1/golovin_statrozp.pdf)
5. Гринь О. Р. (2015). Психологічне забезпечення та супровід підготовки кваліфікованих спортсменів. Київ: Вид-во «Олімпійська література», 276с.
6. Канеман Деніел (2021). Мислення швидко й повільно / пер. з англ. Максим Яковлев. 5-те вид. К.: Наш Формат, 480 с.
7. Кутек Т. Б., Вовченко І. І. (2022). Основи теорії і методики спортивної підготовки: навч. посібн. Житомир: ЖДУ імені Івана Франка, 108 с.
8. Нишияма Х., Браун Р. (1991). Каратэ, или искусство борьбы пустой рукой. Часть 1. Харьков: РИО Облпографиздата, 120 с.
9. Gade, M., Druey, M., Souza, A., S. Oberauer, K. (2014). Interference within and between declarative and procedural representations in working memory, *Journal of Memory and Language*, 76, 174–194.
10. Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47 (6), 381–391.
11. Oberauer, K. (2009). Design for a Working Memory. *The Psychology of Learning and Motivation*, 51, 45–100.
12. Seth, Anil K.; Bayne, Tim (2022). Theories of consciousness. *Nature Reviews Neuroscience* (англ.) 23 (7). 439–452.

#### REFERENCES

1. Abdulaev, A.K. (2018). Teaching and methods of teaching freestyle wrestling. – 2-nd edition. Melitopol: FOP Odnorog T.V., 299.
2. Burlaka, I.V., Lukachyn A.V. (2022) Physical Education: Tennis: study guide for bachelor students. Kyiv: National Technical University of Ukraine: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 75.
3. Holovin, M.B. (2018) Study of learning processes based on the analysis of the moments of statistical distributions of the speed of learning actions (based on materials for the study of computer science). *Psychological perspectives*, 18. 72 – 82. <https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/1743/>

4. Holovin, M.B. (2011). Analysis of the learning process using statistical distributions of the speed of learning actions (on the example of studying computer science. Herald of Lesya Ukrainka Volyn National University. Pedagogical Science series, 17, 4 – 9.
5. Hryn, O. P. (2015). Psychological support and training support for qualified athletes. Olympic Literature, 276.
6. Kaneman, D. (2021). Thinking Fast and Slow. Nash Format, 480.
7. Kutek, T. B., Vovchenko I.I. (2022). Foundations of theory and methodology of sport preparation. Zhytomyr: Zhytomyr Ivan Franko State University, 108.
8. Nyshyyama, H., Braun R. (1991). Karate or art of fight with empty hand Каратэ. Part 1. Kharkiv: RIO Oblpoligrafizdata, 1991, 120.
9. Gade, M., Druey M., Souza A. S., Oberauer K. (2014). Interference within and between declarative and procedural representations in working memory, Journal of Memory and Language, 76, 174–194.
10. Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. Journal of Experimental Psychology, 47 (6), 381–391.
11. Oberauer, K. (2009). Design for a Working Memory. The Psychology of Learning and Motivation, 51, 45–100.
12. Seth, A., Bayne T. (2022). Theories of consciousness. Nature Reviews Neuroscience, 23 (7), 439–452.

УДК 378.147:621.3

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-2>

**Андрій КЕВШИН**

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-3581-8852>

**SCOPUS-AUTHOR ID:** 35422272900

**Володимир ГАЛЯН**

доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0003-0066-7174>

**SCOPUS-AUTHOR ID:** 35422525700

**Вадим ОСТАПЮК**

студентк навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0009-0000-9345-6178>

**Вадим ДИМАРЧУК**

студент навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0009-0005-0833-873X>

**Дмитро СЕРЕДА**

студент навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0009-0001-2290-7899>

**Бібліографічний опис статті:** Кевшин, А., Галян, В., Остапюк, В., Димарчук, В., Серед, Д. (2023). Особливості використання панелі «Лінійні електричні кола» стенду «Електротехніка. Основи електроніки УТЛЕ-01» для експериментальної перевірки принципу накладання струмів. *Фізика та освітні технології*, 2, 13–19, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-2>

**ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАНЕЛІ «ЛІНІЙНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА»  
СТЕНДУ «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА. ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ УТЛЕ-01»  
ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ПЕРЕВІРКИ ПРИНЦИПУ  
НАКЛАДАННЯ СТРУМІВ**

Під електротехнікою розуміють область науки і техніки, що використовує електричні та магнітні явища для практичних цілей. Розвиток електротехніки завжди визначав тісний взаємозв'язок науково-технічних проблем з соціальними, економічними, екологічними та іншими задачами суспільства. Зважаючи на це, вивченню даної дисципліни повинна приділятися достатня увага.

При вивченні курсу Електротехніка у закладах вищої освіти, особливе місце займають розрахунки розгалужених електричних кіл постійного струму. Такі кола можуть містити декілька джерел живлення, контурів, вузлів, віток, розподіл струмів по яких необхідно визначити. Теорія електричних кіл передбачає декілька методів для вирішення такої задачі, одним із яких є принцип накладання струмів.

Суть цього принципу полягає в тому, що струм у вітці розгалуженого кола рівний алгебраїчній сумі часткових струмів, які виникають у ній від незалежної дії кожного джерела окремо. Тобто кожне джерело вносить свою частку у загальний струм вітки, а для знаходження цього струму потрібно алгебраїчно додати складові цих струмів. Розрахунок часткових струмів, як правило, здійснюють шляхом перетворення схеми. Отже, розв'язок одного складного кола зводиться до декількох простих кіл, які містять одне джерело. У статті проаналізовано особливості використання панелі вітчизняного виробника «Лінійні електричні кола», що входить до стенду «Електротехніка. Основи електроніки УТЛЕ-01» для експериментальної перевірки принципу накладання струмів під час проведення лабораторної роботи з курсу Електротехніка. Розроблені методичні вказівки для виконання такої роботи з макетами таблиць для внесення результатів дослідження. Також для кращого розуміння принципу накладання струмів розглядається теоретична задача із детальним її аналізом та розв'язком. Такий підхід поєднання теоретичних розрахунків з експериментальними дослідженнями сприяє кращому розумінню здобувачами освіти розглядуваної теми та сприяє набуттю ними необхідних фахових компетентностей.

**Ключові слова:** електричне коло, незалежний контур, електричний струм, принцип накладання.

#### **Andriy KEVSHYN**

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025*

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-3581-8852>

**SCOPUS-AUTHOR ID:** 35422272900

#### **Volodymyr HALYAN**

*Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025*

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0003-0066-7174>

**SCOPUS-AUTHOR ID:** 35422525700

#### **Vadym OSTAPYUK**

*Student of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025*

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0009-0000-9345-6178>

#### **Vadym DYMARCHUK**

*Student of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025*

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0009-0005-0833-873X>

#### **Dmytro SEREDA**

*Student of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025*

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0009-0001-2290-7899>

**To cite this article:** Kevshyn, A., Halyan, V., Ostapyuk, V., Dymarchuk, V., Sereda, D. Osoblyvosti vykorystannia paneli «Liniini elektrychni kola» stendy «Elektrotekhnika. Osnovy elektroniky UTLE-01» dlia eksperymentalnoi perevirky pryntsypu nakladannia strumiv [Features of using the «Linear electric circuits" panel of the stand «Electrical engineering. Fundamentals of electronics UTLE-01» for experimental verification of the principle of current imposition]. *Physics and Educational Technology*, 2, 13–19, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-2>

## FEATURES OF USING THE “LINEAR ELECTRIC CIRCUITS” PANEL OF THE STAND «ELECTRICAL ENGINEERING. FUNDAMENTALS OF ELECTRONICS UTLE-01» FOR EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE PRINCIPLE OF CURRENT IMPOSITION

*Electrical engineering refers to the field of science and technology that uses electrical and magnetic phenomena for practical purposes. The development of electrical engineering has always determined the close relationship of scientific and technical problems with social, economic, environmental and other tasks of society. Considering this, sufficient attention should be paid to the study of this discipline.*

*When studying the Electrical Engineering course in institutions of higher education, a special place is occupied by calculations of branched electric circuits of direct current. Such circuits may contain several power sources, circuits, nodes, branches, the distribution of currents along which must be determined. The theory of electric circuits provides several methods for solving such a problem, one of which is the principle of superimposing currents.*

*The essence of this principle is that the current in the line of a branched circuit is equal to the algebraic sum of the partial currents that arise in it from the independent action of each source separately. That is, each source contributes its share to the total line current, and to find this current, you need to algebraically add the components of these currents. The calculation of partial currents is usually carried out by transforming the scheme. Therefore, the solution of one complex circle is reduced to several simple circles that contain one source. The article analyzes the features of using the panel of the domestic manufacturer "Linear Electric Circuits", which is part of the "Electrical Engineering" stand. Basics of electronics UTLE-01" for experimental verification of the principle of superposition of currents during laboratory work from the Electrical Engineering course. Methodological guidelines for performing such work with table layouts for entering research results have been developed. Also, for a better understanding of the principle of superposition of currents, a theoretical problem with its detailed analysis and solution is considered. Such an approach of combining theoretical calculations with experimental research contributes to a better understanding by students of the subject under consideration and contributes to their acquisition of the necessary professional competences.*

**Key words:** *Electric circuit, independent circuit, electric current, superposition principle.*

### Актуальність проблеми.

Електротехніка на сьогодні є базовою дисципліною у вищих навчальних закладах, що формує знання з отримання, використання, перетворення і розподіл електричної енергії (Кевшин, 2022). Вона торкається усіх сфер життя, адже електротехнічні технології є основою роботи електроплиток, телевізорів, вентиляторів, телефонів, електродвигунів і т.д. Роль електротехніки також є важливою для безпеки людей і ефективного функціонування різних об'єктів інфраструктури.

Вміти правильно розраховувати розподіл струмів у вітках та спад напруги на ділянках електричного кола має велике значення для розуміння правильної експлуатації споживачів електричної енергії та розрахунку енергетичних перетворень, що відбуваються у них. Такі розрахунки можна здійснювати різними методами: методом рівнянь Кірхгофа, методом контурних струмів, методом вузлових напруг, методом еквівалентного генератора, але особливе місце займає принцип накладання струмів (Кевшин, 2021).

**Мета дослідження** – розглянути особливості використання принципу накладання струмів при розрахунку розгалуженого елек-

тричного кола під час виконання лабораторної роботи з курсу Електротехніка.

### Виклад основного матеріалу.

При застосуванні методу накладання струмів до розрахунку складних електричних кіл із кількома джерелами необхідно попередньо визначити внутрішні опори джерел. Потім вважають, що у електричному колі діє лише джерело і визначають часткові струми, створені ним. Всі інші джерела виключають із схеми, замінивши їх відповідними внутрішніми опорами. Потім залишають в електричному колі інше джерело ЕРС, виключають решту і знову визначають часткові струми. У такий спосіб знаходять по черзі часткові струми, створені кожною ЕРС окремо. Потім знаходять повний струм через алгебраїчне сумування розрахованих часткових струмів. При цьому частковий струм беруть із знаком “плюс”, якщо він збігається за напрямком з повним струмом, а із знаком “мінус”, якщо протікає у протилежному напрямку.

$$I = I' + I'' + \dots$$

де  $I$  – повний струм;  $I'$ ,  $I''$ , ... – часткові струми.

Метод накладання струмів ґрунтується на принципі незалежності дії електрорушійних

сил різних джерел (Кевшин, 2023). Він застосовується лише до лінійних кіл, опір яких не залежить від величини струму, що протікає, або прикладеної напруги. Процеси у цих колах описуються рівняннями першого ступеня. Якщо в ланцюзі є хоча б один нелінійний елемент або у виразі, що описує процеси в колі, є хоча б одна змінна величина зі ступенем вище за першу, то метод суперпозиції використовувати не можна.

Розглянемо особливості використання цього методу при розв'язанні наступної задачі.

**Задача.** Три батареї з внутрішнім опором 2 Ом кожна з'єднані однойменними полюсами та мають однакові внутрішні опори рівні 2 Ом та ЕРС 8 В, 3 В і 4 В, відповідно. Нехтуючи опорами з'єднувальних проводів визначити струми, що проходять через батареї.

Відповідно до умови задачі зобразимо електричне коло.

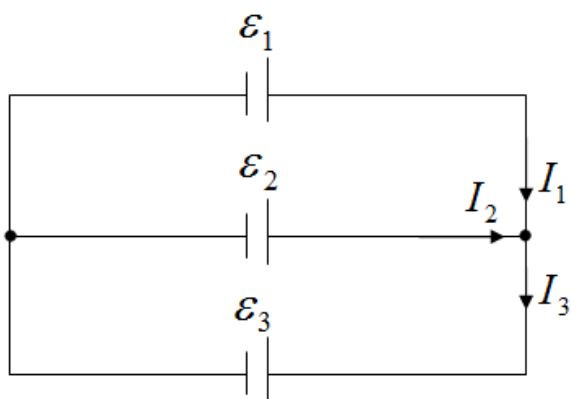


Рис. 1. Схема розгалуженого кола

Позначимо у колі струми  $I_1$ ,  $I_2$  та  $I_3$ , які проходять у відповідних вітках. Залишимо у колі лише одне джерело  $\epsilon_1$ , а інші два замінимо через їхні внутрішні опори (рис. 2).

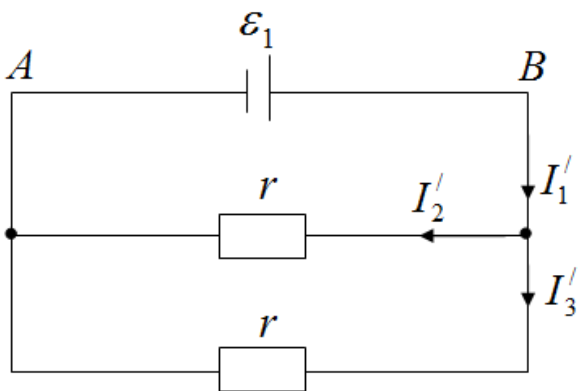


Рис. 2. Схема розгалуженого кола після заміни джерел  $\epsilon_2$  та  $\epsilon_3$  їхніми внутрішніми опорами

Знайдемо повний опір  $R$  зображеної схеми, враховуючи, що опір джерела  $\epsilon_1$  рівний  $r$ :

$$R = r + \frac{r \cdot r}{r + r} = r + \frac{r}{2} = 1,5r = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ Ом}$$

Знайдемо часткові струми  $I'_1$ ,  $I'_2$  та  $I'_3$ , які протікають у відповідних вітках:

$$I'_1 = \frac{\epsilon_1}{R} = \frac{8}{3} \text{ А}$$

Спад напруги на ділянці  $AB$  буде рівним:

$$U_{AB} = \epsilon_1 - I'_1 r = 8 - \frac{8}{3} \cdot 2 = \frac{8}{3} \text{ В}$$

Тоді:

$$I'_2 = \frac{U_{AB}}{r} = \frac{4}{3} \text{ А}; \quad I'_3 = \frac{U_{AB}}{r} = \frac{4}{3} \text{ А}$$

Залишимо у колі лише одне джерело  $\epsilon_2$ , а інші два замінимо через їхні внутрішні опори (рис. 3):

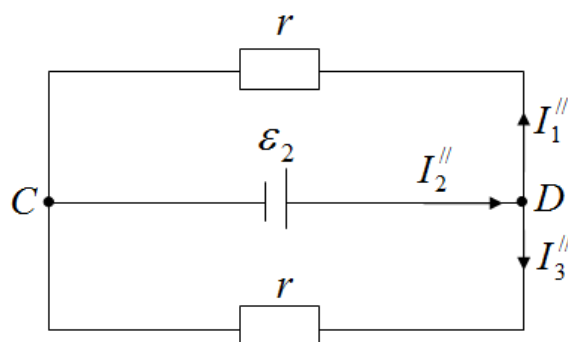


Рис. 3. Схема розгалуженого кола після заміни джерел  $\epsilon_1$  та  $\epsilon_3$  їхніми внутрішніми опорами

Неважко бачити, що повний опір  $R$  зображеної схеми теж рівний

$$R = r + \frac{r \cdot r}{r + r} = r + \frac{r}{2} = 1,5r = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ Ом}$$

Знайдемо часткові струми  $I''_1$ ,  $I''_2$  та  $I''_3$ , які протікають у відповідних вітках:

$$I''_2 = \frac{\epsilon_2}{R} = \frac{3}{3} = 1 \text{ А}$$

Спад напруги на ділянці  $CD$  буде рівним:

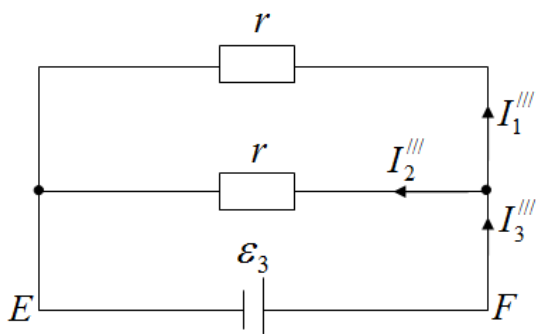
$$U_{CD} = \epsilon_2 - I''_2 r = 3 - 1 \cdot 2 = 1 \text{ В}$$

Тоді:

$$I''_1 = \frac{U_{CD}}{r} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ А}; \quad I''_3 = \frac{U_{CD}}{r} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ А}$$

Залишимо у колі лише одне джерело  $\epsilon_3$ , а інші два замінимо через їхні внутрішні опори (рис. 4):





**Рис. 4.** Схема розгалуженого кола після заміни джерел  $\varepsilon_1$  та  $\varepsilon_2$  їхніми внутрішніми опорами

Як і у попередніх випадках, повний опір  $R$  зображеної схеми рівний  $R = 3 \text{ Ом}$ . Знайдемо часткові струми  $I_1'''$ ,  $I_2'''$  та  $I_3'''$ , які протікають у відповідних вітках:

$$I_3''' = \frac{\varepsilon_3}{R} = \frac{4}{3} \text{ A}$$

Спад напруги на ділянці  $EF$  буде рівним:

$$U_{EF} = \varepsilon_3 - I_3''' r = 4 - \frac{4}{3} \cdot 2 = \frac{4}{3} \text{ B}$$

Тоді:

$$I_1''' = \frac{U_{EF}}{r} = \frac{2}{3} \text{ A}; \quad I_2''' = \frac{U_{EF}}{r} = \frac{2}{3} \text{ A}$$

Аналізуючи рис. 1, 2, 3 та 4, бачимо, що напрямки струму  $I_1'$  співпадає з напрямком струму  $I_1$ , а напрямки струмів струми  $I_1''$  та  $I_1'''$  не співпадають. Тому:

$$I_1 = I_1' - I_1'' - I_1''' = \frac{8}{3} - 0,5 - \frac{2}{3} = 1,5 \text{ A}$$

Аналогічно розмірковуючи, знаходимо:

$$I_2 = -I_2' + I_2'' - I_2''' = -\frac{4}{3} + 1 - \frac{2}{3} = -1 \text{ A}$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' - I_3''' = \frac{4}{3} + 0,5 - \frac{4}{3} = 0,5 \text{ A}$$

Знак «-» для струму  $I_2$  свідчить про те, що даний струм протікає у протилежному до вказаного на рис. 1 напрямку.

Як показує практика, теоретичні розрахунки доцільно перевірити експериментально, наприклад, при виконанні лабораторних робіт з курсу Електротехніка (Кевшин, 2022). Для цього зручно використати панель «Лінійні електричні кола», що входить до стенду «Електротехніка. Основи електроніки УТЛЕ-01». Оскільки виробник цієї панелі не надає інструкцій до

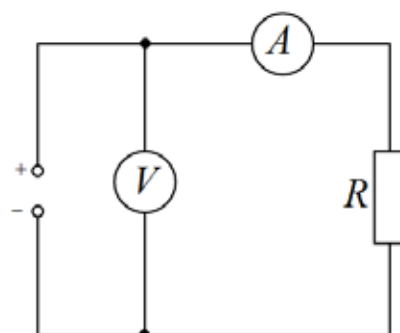
виконання лабораторних робіт, то виникає необхідність самостійно їх розробити. Можна розглянути схему із двома джерелами живлення та запропонувати наступну послідовність виконання лабораторної роботи із перевірки виконання принципу накладання струмів.

#### Хід роботи

1. Ознайомитися з обладнанням стенду УТЛЕ01.

2. Підключивши вольтметр до кожного із двох джерел, які використовуються в даній лабораторній роботі, виміряти їх ЕРС  $\varepsilon_1$  та  $\varepsilon_2$  і записати їх значення у таблицю 1.

3. Скласти коло з кожним із джерел, для визначення їх внутрішнього опору.



Виміряти струм у колі і напругу на затискачах джерела. Обчислити внутрішній опір джерела за формулою:

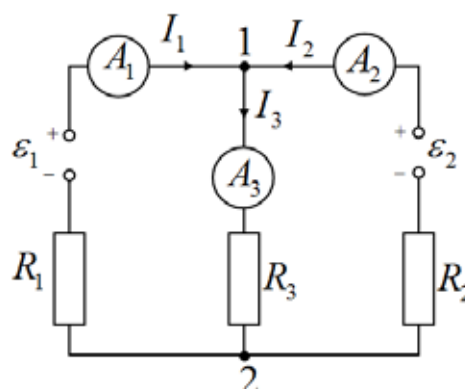
$$r = \frac{\varepsilon - U}{I}$$

Результати вимірювань записати у таблицю 1.

Таблиця 1

$\varepsilon_1, \text{ B}$	$r_1, \text{ Ом}$	$\varepsilon_2, \text{ B}$	$r_2, \text{ Ом}$

4. Скласти коло зображене на рисунку нижче.



Зовнішній вигляд панелі «Лінійні електричні кола» та схему для проведення лабораторної роботи показано на рис. 5.



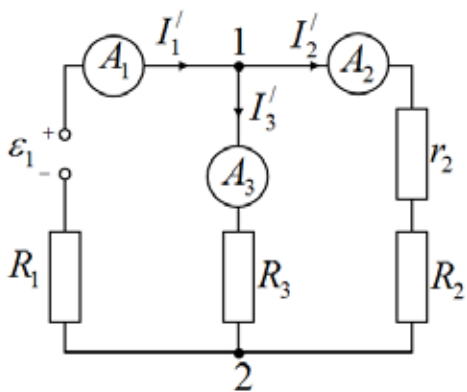
Рис. 5. Схема експериментальної перевірки принципу накладання струмів

5. Виміряти струми  $I_1$ ,  $I_2$  та  $I_3$ . Результати експерименту занести до таблиці 2.

Таблиця 2

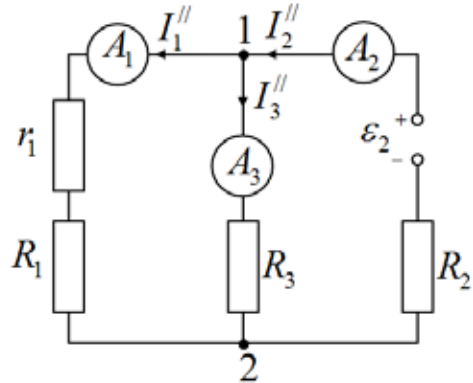
$I_1, \text{A}$	$I_2, \text{A}$	$I_3, \text{A}$

6. Замість джерела  $\varepsilon_2$  ввімкнути резистор  $r_2$ , величина опору якого дорівнює величині внутрішнього опору джерела  $\varepsilon_2$ .



7. Виміряти струми у кожній гілці, дотримуючись однакового підключення амперметра. Перевірити правильність вимірювань за першим законом Кірхгофа. Дані вимірювань занести до таблиці 3.

8. Замість джерела  $\varepsilon_1$  ввімкнути резистор  $r_1$ , величина опору якого дорівнює величині внутрішнього опору джерела  $\varepsilon_1$ .



Виміряти струми у кожній гілці, дотримуючись однакового підключення амперметра. Перевірити правильність вимірювань за першим законом Кірхгофа. Дані вимірювань занести до таблиці 3.

9. Розрахувати дійсні струми  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  у кожній гілці, як алгебраїчну суму струмів, спричинених дією  $\varepsilon_1$  і  $\varepsilon_2$  окремо.

10. Порівняти розраховані струми  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  із значеннями, виміряними в досліді з одночасною дією  $\varepsilon_1$  і  $\varepsilon_2$  (таблиця 2). Переконайтеся у справедливості принципу накладання.

**Висновки.** У статті розглянуто теоретичне використання принципу накладання струмів при розрахунку розгалуженого електричного кола та можливість експериментальної перевірки даного методу при виконанні лабораторної роботи. Поєднання теорії та практики сприятиме кращому засвоєнню знань та розуміння здобувачами освіти розглядуваного матеріалу. Результати даних досліджень можуть бути використані при викладанні курсу Електротехніка або інших інженерних дисциплін у вищих навчальних.

Таблиця 3

Режим роботи електричного кола	Результати вимірювань					
	$I'_1, \text{A}$	$I'_2, \text{A}$	$I'_3, \text{A}$	$I''_1, \text{A}$	$I''_2, \text{A}$	$I''_3, \text{A}$
$\varepsilon_1 \neq 0, \varepsilon_2 = 0$						
$\varepsilon_1 = 0, \varepsilon_2 \neq 0$						

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Кевшин А.Г., Галян В.В., Куршель Д.С. Особливості викладання курсу «Електротехніка» для студентів спеціальності «Прикладна фізика та наноматеріали» Волинського національного університету імені Лесі Українки : матеріали XI-ої Міжнар. наук. конф., м. Луцьк, 1-5 травня 2022 р. Луцьк, 2022. С. 90.
2. Кевшин А. Г., Новосад О. В., Федосов С. А. Електротехніка : навч. посіб. Луцьк, 2021. 127 с.
3. Кевшин А. Г. Електротехніка : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт. Луцьк, 2023. 51 с.
4. Кевшин А., Галян В., Третяк А., Артюх Ю., Шафарчук В., Никифоров О., Куршель Д. Використання практичних та лабораторних занять під час вивчення складних лінійних електричних кіл постійного струму в курсі електротехніки. Фізика та освітні технології. 2022. № 1. С. 27–33.

**REFERENCES:**

1. Kevshyn A.H., Halian V.V., Kurshel D.S. (2022). *Osoblyvosti vykladannia kursu «Elektrotekhnika» dlia studentiv spetsialnosti «Prykladna fizyka ta nanomaterialy» Volynskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky*. Lutsk, [in Ukrainian].
2. Kevshyn A. H., Novosad O. V., Fedosov S. A. (2021). *Elektrotekhnika : navch. posib*. Lutsk, [in Ukrainian].
3. Kevshyn A. H. (2023). *Elektrotekhnika : metodychni rekomendatsii do vykonannia laboratornykh robit*. Lutsk, [in Ukrainian].
4. Kevshyn A., Halian V., Tretiak A., Artiukh Yu., Shafarchuk V., Nykyforov O., Kurshel D. (2022). *Vykorystannia praktychnykh ta laboratornykh zaniat pid chas vyvchennia skladnykh liniinykh elektrychnykh kil postiinoho strumu v kursii elektrotekhniky. Fyzyka ta osvritni tekhnolohii*. Lutsk, [in Ukrainian].

УДК 378.011.3-051:004.738.5(043.3)

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-3>

**Микола КОРЕЦЬ**

доктор педагогічних наук, кандидат фізико-математичних наук, професор, проректор із науково-педагогічної та адміністративно-господарчої роботи, Український державний університет імені Михайла Драгоманова, вул. Пирогова, 9, м. Київ, Україна, 01601

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0001-5552-7481>

**Володимир ШЕВЧЕНКО**

кандидат педагогічних наук, професор, завідувач кафедри інженерії та технологій виробництва факультету технологій та дизайну, Український державний університет імені Михайла Драгоманова, вул. Пирогова, 9, м. Київ, Україна, 01601

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-8905-5483>

**Юрій НЕМЧЕНКО**

кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії та технологій виробництва факультету технологій та дизайну, Український державний університет імені Михайла Драгоманова, вул. Пирогова, 9, м. Київ, Україна, 01601

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0001-5081-3163>

**Олександр КУЧМЕНКО**

кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри інженерії та технологій виробництва факультету технологій та дизайну, Український державний університет імені Михайла Драгоманова, вул. Пирогова, 9, м. Київ, Україна, 01601

**Петро КОРОСТЕЛЬ**

аспірант кафедри інженерії та технологій виробництва факультету технологій та дизайну, Український державний університет імені Михайла Драгоманова, вул. Пирогова, 9, м. Київ, Україна, 01601

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0001-7869-9913>

**Бібліографічний опис статті:** Корець, М., Шевченко, В., Немченко, Ю., Кучменко, О., Коростель, П. (2023). Проєктування комплексного інтегрованого курсу з основ фундаментальних та прикладних наук для бакалаврів техніко-технологічних спеціальностей. *Фізика та освітні технології*, 2, 20–29, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-3>

## ПРОЄКТУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ІНТЕГРОВАНОГО КУРСУ З ОСНОВ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТА ПРИКЛАДНИХ НАУК ДЛЯ БАКАЛАВРІВ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Проблеми процесу технологізації, з якими стикнулася сучасна система освіти, можна виокремити залежно від кутів погляду на це питання, з одного боку, стрімким поширенням різноманітних інновацій, особливо нових педагогічних технологій, а з іншого боку, недостатніми знаннями та рівнем оволодіння ними педагогами.

Визначення мети процесу навчання як набуття певної суми знань не викликало б сумніву, коли йшлося про академічну освіту, про оволодіння теоретичними знаннями, формування широкого наукового кругозору та загальної культури сучасного фахівця.

Особливо це актуально для вчителя технологій у сучасних умовах, які швидко змінюються, коли педагогічні ЗВО мають готувати такого вчителя технології, який, крім ціннісних особистих якостей, повинен володіти на належному професійному рівні знаннями, уміннями та навичками технологічної діяльності.

Розпорошеність курсів освітньої програми системи підготовки педагогічних кадрів техніко-технологічних спеціальностей спрацьовує на переважання навчальних планів і відповідно студентів вивченням навчальних дисциплін нефахового спрямування. Так, для них обов'язково слід мати підготовку з матеріалознавства, основ техніки та технологій, опанування якими на належному рівні можливе лише за умови наявності відповідної матеріально-технічної бази та навчально-методичного забезпечення.

Тому найбільш оптимальним варіантом виходу із цієї ситуації є проведення інтегрування подрібнених курсів науково-предметної підготовки бакалаврів середньої і професійної освіти, а також навчальних дисциплін загально-технічного циклу, вивчення яких створює стартову основу для техніко-технологічної підготовки майбутніх педагогів професійного навчання, учителів трудового навчання та технологій.

Таким чином, інтеграція зумовлена потребою вищого рівня процесу систематизації технічних знань, їх уцільненості та економічності, передбачає усунення дублювання у викладанні навчального матеріалу суміжних навчальних дисциплін, а також необхідністю посилення професійної спрямованості системи технологічної освіти.

**Ключові слова:** рефлексія, інтегрування, вибір професії, кооперація, фундаментальні, прикладні дисципліни, готовність до вибору.

### **Mykola KORETS**

Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Vice-Rector for Scientific-Pedagogical and Administrative-Economic Work, Dragomanov Ukrainian State University, 9, Pirohova str., Kyiv, Ukraine, 01601

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0001-5552-7481>

### **Volodymyr SHEVCHENKO**

Candidate of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Engineering and Production Technologies of the Faculty of Technologies and Design, Dragomanov Ukrainian State University, 9, Pirohova str., Kyiv, Ukraine, 01601

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-8905-5483>

### **Yury NEMCHENKO**

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Engineering and Production Technologies of the Faculty of Technologies and Design, Dragomanov Ukrainian State University, 9, Pirohova str., Kyiv, Ukraine, 01601

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0001-5081-3163>

### **Oleksandr KUCHMENKO**

Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Engineering and Production Technologies of the Faculty of Technologies and Design, Dragomanov Ukrainian State University, 9, Pirohova str., Kyiv, Ukraine, 01601

### **Petro KOROSTEL**

Graduate Student at the Department of Engineering and Production Technologies of the Faculty of Technologies and Design, Dragomanov Ukrainian State University, 9, Pirohova str., Kyiv, Ukraine, 01601

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0001-7869-9913>

**To cite this article:** Korets, M., Shevchenko, V., Nemchenko, Yu., Kuchmenko, O., Korostel, P. (2023). Proiektuvannia kompleksnoho intehrovanoho kursu z osnov fundamentalnykh ta prykladnykh nauk dlia bakalavriv tekhniko-tekhnolohichnykh spetsialnostei [Design of a complex integrated course on the basics of fundamental and applied sciences for bachelors of technical and technological specialties]. *Physics and educational technologies*, 2, 20–29, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-3>

## **DESIGN OF A COMPLEX INTEGRATED COURSE ON THE BASICS OF FUNDAMENTAL AND APPLIED SCIENCES FOR BACHELORS OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL SPECIALTIES**

*The problems of the process of technologization faced by the modern education system can be distinguished depending on the angle of view on this issue, on the one hand, the rapid spread of various innovations, especially new pedagogical technologies, and, on the other hand, insufficient knowledge and the level of mastery of them by teachers.*

*Determining the purpose of the learning process as the acquisition of a certain amount of knowledge would not cause doubt when it came to academic education, the acquisition of theoretical knowledge, the formation of a broad scientific outlook and the general culture of a modern specialist.*

*This is especially relevant for a technology teacher in modern conditions that are rapidly changing, when pedagogical higher education institutions have to train such a technology teacher who, in addition to valuable personal qualities, must possess knowledge, abilities and skills of technological activity at an appropriate professional level.*

*Dispersion of the courses of the educational program of the system of training pedagogical staff of technical and technological specialties results in the overloading of curricula and, accordingly, students studying academic disciplines of a non-specialist direction. Yes, they must have training in materials science, the basics of engineering and technology, mastering which at the proper level is possible only if there is an appropriate material and technical base and educational and methodological support.*

*Therefore, the most optimal way out of this situation is the integration of fragmented courses of scientific and subject training of bachelors of secondary and professional education, as well as educational disciplines of the general technical cycle, the study of which creates a starting basis for the technical and technological training of future teachers of vocational training, teachers of labor training and technology.*

*Thus, integration is due to the need for a higher level of the process of systematization of technical knowledge, its consolidation and economy, involves the elimination of duplication in the teaching of educational material of related educational disciplines, as well as the need to strengthen the professional orientation of the technological education system.*

**Key words:** reflection, integration, higher education, choice of profession, cooperation, fundamental, applied disciplines, readiness for choice.

**Актуальність проблеми** зумовлена насамперед тим, що до кінця ХХ – початку ХХІ ст. різко зросли масштаби промислового виробництва, пов'язані з появою нових технологій і відповідних видів трудової діяльності, збільшенням кількості підприємств і т.п.

Такий інтегрований курс, як навчальна дисципліна, повинен ґрунтуватися на основах фундаментальних і прикладних та загально-технічних дисциплін; практичному застосуванні прикладного математичного апарату та використанні інформаційно-комунікаційних технологій, що є пропедевтикою вивчення спеціальних дисциплін, передбачених освітньо-професійною програмою підготовки таких фахівців за всіма спеціалізаціями.

Це передбачає засвоєння ними теоретичних основ та методів сучасних, фундаментальних, прикладних та спеціальних дисциплін, формування та набуття практичних навичок використання основних законів і методів у механіці, електродинаміці та електротехніці, математичного апарату у разі виконання робіт, пов'язаних із проектуванням деталей машин та механізмів, дослідження органічних та неорганічних закономірностей природи конструкційних матеріалів, що загалом сприятиме виконанню ними професійних обов'язків на належному науково-технічному рівні.

**Мета дослідження** полягає у виокремленні та наведенні основоположних особливостей процесу проектування комплексного інтегрованого курсу з основ фундаментальних та прикладних наук системи підготовки бакалаврів.

Для вирішення та досягнення мети дослідження використано такі **методи дослідження:**

– *теоретичні:* теоретичний аналіз філософської, психолого-педагогічної, науково-методичної і спеціальної літератури з проблеми дослідження, моделювання педагогічного процесу, узагальнення результатів дослідження з урахуванням конкретних умов і нових фактів;

– *емпіричні:* опитування; педагогічні спостереження, самооцінювання;

– *методи обробки результатів дослідження:* методи математичної статистики для проведення якісного і кількісного аналізу одержаних результатів.

**Методологічну основу дослідження** становили положення про складну структуру наукового світогляду, що включає філософський, онтологічний, гносеологічний, аксіологічний аспекти; психолого-педагогічні концепції поетапного формування розумових дій і теоретичних узагальнень; роль науки у сучасному суспільстві, закономірності й об'єктивні умови освіти в процесі професійного становлення особистості; психолого-педагогічні наукові теорії і методики в процесі інтеграції фундаментально-прикладної підготовки (Кремінь, 2013, с. 3).

Фундаментальна підготовка є одним з основних критеріїв системи освіти і значною мірою впливає на розвиток у студентів наукового теоретичного мислення, здатності до конкретної постановки нових задач і творчого їх розв'язання, передбачення наслідків прийнятих рішень і дій та вміння їх оцінювати, стимулює пізнавальну діяльність, спрямовану на розкриття законів фундаментального характеру, законів збереження у природі та їх проявів.

Немає сумніву, що прикладні науки, розвиваючись на базі фундаментальних, розробляють шляхи і методи застосування та впровадження у практику результатів фундаментальних досліджень. Показником ефективності дослідження в галузі прикладних наук, до яких належать усі технічні науки, виступає не стільки отримання істинного знання, скільки безпосереднє практичне значення та застосування, бо фундаментальні дослідження ставлять за мету відкриття об'єктивних законів реального всесвіту, а прикладні ведуть пошук і їх використання на практиці. Отже, здійснюючи симбіоз хімії, механіки, електротехніки, електродинаміки, оптики, аналітичної та нарисної геометрії, статичного аналізу та електроніки обґрунтуємо необхідність створення такого інтегрованого курсу.

Міждисциплінарна інтеграція покликана забезпечити єдиний підхід викладачів різних навчальних дисциплін до вирішення загальних освітніх завдань на основі світоглядного узагальнення знань. Тому викладач повинен мати не лише глибокі теоретичні знання зокрема взятої навчальної дисципліни, а й володіти сучасними методами консультування щодо вирішення різних суміжних професійних проблем, що передбачає відповідну професійну підготовку викладачів, у тому числі й шляхом самоосвіти.

**Аналіз останніх досліджень.** Питання інтеграції навчальних дисциплін технічного і графічного циклу досліджували А.В. Касперський, Д.Е. Кільдеров, М.С. Корець, Д.О. Тхоржевський, В.К. Сидоренко, але це були локальні дослідження. На основі застосування інтернет-технологій як інтегруючого компонента фундаментальних та прикладних дисциплін В.В. Шевченко досліджував активізацію навчальної діяльності студентів, В.Ф. Шангін визначив методичні основи пізнавальної діяльності студентів. Роботи вищевказаних авторів стали методологічною основою нашого дослідження.

Тому загальною метою цієї роботи є обґрунтування і проектування створення інтегрованого курсу з основ фундаментальних і прикладних наук для системи підготовки бакалаврів технологічної і професійної освіти.

**Виклад основного матеріалу.** Є всі підстави стверджувати, що фундаментальні науки визначають доцільність і спрямованість дослі-

джень, а прикладні дослідження корегуються і підживлюють зміст, тематику прикладних наук, впровадження яких є основою розвитку сучасного виробництва. Зв'язок прикладних наук з фундаментальною є необхідним і органічним, бо у кожній фундаментальній науці є «гілка» наукових положень, принаймні потенційно звернених до прикладних задач. Сучасна фундаментальна наука вже не обмежується конструюванням ідеальних прикладів явищ, що відбуваються в природі, а виявляє межі можливого у самій природі з метою використання цих можливостей (Касперський, 2016, с. 160).

Примітно, що у самому технічному знанні відбувається аналогічний процес виділення таких напрямів та галузей дослідження, які з повним правом можна назвати фундаментальними. Багато результатів основних технічних наук, таких як прикладна механіка, опір матеріалів, електротехніка, радіоелектроніка та інші, не можуть використовуватися безпосередньо на практиці, бо вони оперують ідеальними об'єктами і теоретичними схемами. Отже, тепер не можна вже розглядати технічні науки просто як зв'язуючу ланку між природознавством та виробництвом.

Вирішення складних і комплексних технічних проблем також сприяє постановці нових завдань для теоретичного дослідження та стимулює появу низки нових галузей та цілих напрямів фундаментального дослідження. Досить згадати хоча б про кібернетику та близькі до неї теорії інформації та кодування, алгоритми, моделювання та інші. Все це показує, що між фундаментальними та прикладними дослідженнями існує тісний взаємозв'язок та взаємодія.

У структурі технічного знання можна виділити, своєю чергою, такі загальнотехнічні дисципліни та теорії, які за рівнем абстрактності понятійного апарату та моделей, що використовуються, мало чим відрізняються від теорій і дисциплін загальної підготовки. Так, наприклад, теоретичні основи електротехніки, електроніки або радіотехніки, хоч і спираються на закони та принципи електродинаміки, стосовно інших технічних дисциплін, таких як теорія електроприводу або електричних машин, виступають як фундаментальні галузі технічного знання. Відповідно до цього ми можемо виділити в технічній науці пошукові, фундамен-

тальні дослідження, прикладні дослідження та власне інженерні та проектні розробки, в яких науково-технічна думка отримує свою реалізацію у вигляді креслень, проектів, моделей, схем, розрахунків тощо (Корець, 2018, с. 99).

Навіть у такій абстрактній науці, як математика, стало загальноприйнятим говорити про суто теоретичні та прикладні дослідження. Все це показує, що теоретичний та прикладний аспекти притаманні кожній досить розвиненій галузі природничих наук.

Фундаментальні галузі наук можуть пов'язуватися з практикою не тільки й не так через прикладні дослідження у своїй галузі, як через спеціальні групи наук, найбільш близько пов'язані із запитами виробництва, економіки та інших галузей економіки. До таких наук належать передусім технічні та інженерні дисципліни, що спираються на результати фундаментальних та прикладних досліджень у галузі математики, механіки, фізики, хімії, геології та інших наук.

Звертаючись тепер до визначення місця та специфіки технічних наук у рамках наукового знання, ми повинні із самого початку підкреслити, що правильне уявлення про це можна отримати лише тоді, коли ці науки розглядаються, по-перше, у загальній системі, що пов'язує фундаментальні галузі знання з виробництвом. По-друге, у самому технічному знанні слід розрізняти пошукові, фундаментальні дослідження та загальнотехнічні науки, а також науки, які розробляють більш приватні та конкретні проблеми, на результати яких безпосередньо спираються інженерне проектування та розрахунки. Звичайно, технічні науки є прикладними за своїми цілями та методами дослідження, ціннісною орієнтацією та призначенням. Хоча вони, як і будь-які інші науки, безпосередньо працюють не з технічними об'єктами та пристроями, а з ідеалізованими моделями, проте ці моделі будуються з урахуванням специфічних особливостей інженерних об'єктів. Ми вже не говоримо про те, що більшість технічних дисциплін містять методи розрахунку та проектування технічних пристроїв та конструкцій. Спочатку технічні науки виникають для вирішення суто прикладних завдань з урахуванням застосування результатів таких фундаментальних наук, як механіка, гідравліка, фізика, хімія тощо.

Натепер зв'язок між технічними науками та фундаментальними опосередковується через прикладні дослідження.

Інтеграція навчальних предметів у сучасній системі освіти – один із напрямів активних пошуків нових педагогічних рішень, що сприяють усуненню наявних протиріч крізь призму розвитку творчого потенціалу студентів.

Інтеграція як явище з'явилася у науці як результат своєї протилежності – диференціації наук та їх галузей, зростаючого рівня знань та вимог до них у кожній галузі, що ведуть до поглиблення спеціалізації в науках і всередині науки загалом, неминучого у разі поглиблення звуження кола професійних інтересів вузьких фахівців, які часом розуміють один одного, народження на цій основі все нового і нового.

У цьому випадку ігнорується закономірність, яка полягає в тому, що інтеграція – не зміна діяльності та просте перенесення знань з однієї навчальної дисципліни до іншої, а процес створення нових дидактичних еквівалентів, що відображають тенденції інтеграції сучасного наукового знання.

Крім того, одна з обов'язкових та основних вимог інтегрованого викладання – підвищення ролі самостійності студентів, тому що інтеграція неминуче розширює тематику матеріалу, що викладається, викликає необхідність більш глибокого аналізу та узагальнення явищ, коло яких збільшується за рахунок інших дисциплін опановувати такий обсяг матеріалу. Студенти впораються з подібною роботою тільки, якщо володіють прийомами дослідницької діяльності та вміють правильно організувати свій навчальний час. Модератором тут є викладач, який ґрунтовно повинен розуміти проблему інтеграції змісту курсу на конкретному етапі навчання.

Розглянемо основні підходи до інтегрування змісту нового курсу «Основи фундаментальних і прикладних наук».

Нижче представлена схема інтеграційних компонентів основ фундаментальних та прикладних наук (рис. 1).

Багаторічний педагогічний досвід підтвердив, що студенти, а пізніше випускники, отримують підготовку з тих чи інших навчальних дисциплін, не можуть застосовувати здобуті знання та вміння стосовно іншої сфери. Їм не вистачає самостійності мислення, уміння переносити арсенал знань у подібні чи практично





Рис. 1. Інтеграційні компоненти основ фундаментальних та прикладних наук

інші ситуації. Все це відбувається через взаємну неузгодженість занять з різних навчальних дисциплін або недосконалість навчального плану підготовки.

Найбільш важливим компонентом інтеграційного процесу є цикл техніко-технологічних дисциплін професійної підготовки студентів, що включає основні відомості з таких автономних курсів, як: теоретична механіка, теорія механізмів та машин, опір матеріалів, деталі машин та підйомно-транспортні засоби. Основними завданнями цього курсу є:

- 1) вивчення загальних законів руху та рівноваги матеріальних тіл;
- 2) дослідження структури та класифікації механізмів, проектування кінематичних схем

механізмів, їх динамічний аналіз та синтез, врівноваження механізмів та пристроїв. Освоєння зазначених питань є основою техніко-технологічної освіти студентів, бо вони забезпечують формування необхідних компетентностей для постановки та вирішення багатьох інженерних завдань, що повсякденно трапляються у практичній діяльності фахівців;

3) вивчення методів розрахунку елементів конструкцій на міцність, жорсткість та стійкість;

4) ознайомлення з будовою пристроїв, конструктивними особливостями, галузями їх застосування, основами розрахунку та конструювання деталей машин та механічних пристроїв загального призначення.

У розділі з основ теоретичної механіки вивчаються загальні закони руху та рівноваги матеріальних тіл. Тут встановлюються прийоми та методи вирішення завдань, що належать до механічного руху. Складник із опору матеріалів дає інформаційний компонент про міцність, жорсткість та стійкість частин споруд і машин. У теорії механізмів та машин можна включити до процесу інтеграції методи дослідження, побудови, кінематики та динаміки, механізмів та машин. Дольова частина з деталей машин ознайомить студентів з методами розрахунку та конструювання деталей загального призначення, які виконують ту саму функцію в різних машинах та пристроях.

Технологічний та метеріалознавчий блок циклу техніко-технологічних дисциплін професійної підготовки покликані дати знання про конструкційні матеріали та їх властивості, методи їх виробництва, основні технологічні методи формоутворення деталей, ознайомити з можливостями сучасного машинобудування та перспективними технологіями обробки конструкційних матеріалів, відкриття фізичної сутності явищ, що проходять у матеріалах у разі впливу на них різних факторів в умовах виробництва та експлуатації, їх вплив на властивості матеріалів, навчання теорії термічної обробки та інших засобів зміцнення матеріалів, що дають високу надійність та довговічність деталям машин, інструменту та іншим виробам.

Показовою у цьому відношенні також є інтеграція хімічних знань дисциплін загальної підготовки із дисциплінами циклу техніко-технологічних дисциплін професійної підготовки. Вони містять багато спільних питань, які можна проаналізувати з позиції розвитку хімічних знань. Наприклад, існує взаємозв'язок щодо класифікації металів, їх атомно кристалічної будови, типів кристалічних решіток та типів хімічних зв'язків у твердих тілах. Тому тут можна простежити розвиток знань щодо визначення типів хімічних зв'язків, їхнього впливу на будову речовин. Під час розгляду властивостей заліза особлива увага звертається на особливості одержання, термічної обробки заліза, процесу цементації, виробництва чавуну, сталі, їх відмінності та маркування. Тісний зв'язок із матеріалознавством має тема «Корозія металів». Особлива увага звертається на засоби захисту металів від корозії, особливо

на хімічні способи: пасивування, оксидування, фосфатування і вороніння, значно поглиблюються поняття «система», «металевий сплав», «компонент», «фаза», які в курсі дисципліни «Хімія» розглядалися як елементи інтеграції фізичної хімії. Також мають отримати свій розвиток поняття «тверді розчини», «хімічні сполуки», «механічні суміші», які є невід'ємною частиною термінології технології конструкційних матеріалів та сплавів. В інтеграційних процесах також бере участь побудова діаграм стану сплавів залізо-вуглець та кривих охолодження, які в курсі загальної підготовки «Хімія» подаються лише як понятійний апарат.

У цьому контексті доречно відзначити той факт, що найважливішою особливістю будь-якого знання є універсальна можливість його застосування.

Звісно, у розвитку науки існують етапи, коли вона змушена займатися переважно накопиченням та систематизацією емпіричного матеріалу. Але навіть на цій стадії розвитку вчені прагнуть узагальнити наявний матеріал і встановити найпростіші емпіричні закони. Очевидно, що коли йдеться про протиставлення фундаментальних наук прикладним, то не мають на увазі їх порівняння за рівнем розвитку. Це особливий аспект розгляду, який характеризує ступінь теоретичної зрілості науки, глибину розкриття її сутності досліджуваних явищ. Кожна наука неминуче проходить різні етапи свого розвитку.

Цей інтегрований курс створює пропедевтичні засади вивчення циклу навчальних дисциплін фахової підготовки і тому доцільно вивчати його в I і II семестрах на першому курсі і завершувати екзаменом на II курсі в 3 семестрі.

Поточний і проміжний контроль слід проводити систематично і наприкінці кожного поточного заняття/дня або на початку наступного у формі усного опитування для перевірки підготовки до лабораторної роботи чи практичної, перевірки якості виконання завдань, їх обговорення (Шевченко, 2010, с. 239).

Перевірку результатів опрацювання теоретичних питань, що винесені на самостійне опрацювання, рекомендується проводити у формі тестових завдань, рефератів, статей або участі у конференціях, що носять саме фундаментально-прикладний характер відповідно до напрямку підготовки.

Однією із форм проведення контролю за перевіркою практичної підготовки є захист лабораторних та практичних робіт.

Захист лабораторних та практичних робіт являє собою усну відповідь на запитання викладача в межах теми роботи. В оцінці усної відповіді враховуються: знання теоретичного матеріалу з відповідної теми; цілісність та повнота відповіді на поставлені запитання; оперування науковими означеннями та поняттями; термінологічна та технічна грамотність відповіді; логічність та лаконічність викладу матеріалу; уміння довести свою думку; уміння супроводжувати відповідь графічними засобами.

Для ґрунтовного засвоєння курсу, формування практичних навичок програмою курсу передбачені практичні заняття. Практичні заняття проводяться в навчальних аудиторіях, під час яких студенти виконують завдання, передбачені тематикою навчальної програми. Під час самостійної роботи студенти здійснюють теоретичну підготовку з відповідних тем лекційного курсу та готуються до захисту модульних контрольних робіт.

Контроль самостійної роботи студентів спрямований на виявлення рівня розвитку пізнавальних здібностей та творчої ініціативи студентів, самостійності, відповідальності та організованості; рівня сформованого самостійного мислення, здібностей до саморозвитку, самовдосконалення та самореалізації; рівня опанування студентами елементів методики наукових досліджень.

Самостійна робота студента оцінюється за критеріями:

- вміння студентів орієнтуватися в інформаційних потоках; працювати з науковими джерелами;

- підбирати та узагальнювати матеріали, необхідні для вирішення визначеного кола завдань;

- уміння самостійно вибирати способи та засоби виконання роботи;

- здатність самостійно приймати раціональні рішення і нести за них відповідальність;

- здатність здійснювати ефективний самоконтроль і саморегулювання в навчальній діяльності.

**Висновки та перспективи подальших наукових розвідок.** У цій статті ми у жодному разі не робимо спроби протиставити фундаментальні науки прикладним, чи навпаки, нам лише хотілося підкреслити, що будь-яка наука, на якому б рівні розвитку вона не перебувала і які б завдання не ставила перед собою, завжди матиме справу із певною системою понять, законів і теоретичних уявлень, що і було продемонстровано у розробленому інтеграційному курсі «Основи фундаментальних та прикладних наук для студентів бакалаврів ЗВО».

Щодо перспектив подальших розвідок у цьому напрямі, то наукового вирішення потребують питання змісту та введення в обов'язковий цикл дисциплін навчального плану підготовки учнів загальноосвітніх навчальних закладів дисципліни «Креслення та рисна геометрія», а також інформаційного, методичного, матеріально-технічного забезпечення навчального процесу викладання вищезазначеної дисципліни, адже просторова уява в учнів перебуває на неналежному рівні, що унеможливує процес формування фахових компетентностей їх у ЗВО.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Андрущенко В.П. Інформаційний вимір сучасної освіти / В. Андрущенко, О. Кивлюк, О. Скубашевська. Київ : «МП Леся», 2017. 956 с.
2. Бех І.Д. Компетентнісний підхід у сучасній освіті. Педагогіка вищої школи: методологія, теорія. Київ : Генезис, 2009. С. 21–25.
3. Бодненко Т.В. Професійно-орієнтоване навчання технічних дисциплін майбутніх фахівців комп'ютерних систем : монографія. Черкаси : Вид-во «ІнтерлігаТОР», 2016. 372 с.
4. Війчук Т.І. Прикладна спрямованість змісту навчання як засіб формування статистичних уявлень учнів. *Дидактика математики: проблеми і дослідження*. Донецьк : ДонНУ, 2008. Вип. 30. С. 194–199.
5. Жерноклеєв І.В. Сучасний стан і реформа системи підготовки майбутніх учителів технології та професійного навчання у Швеції. *Проблеми трудової і професійної підготовки* : науково-методичний збірник. Слов'янськ, 2011. Вип. 16. С. 43–51.
6. Особливості інтегрованого тестового контролю технічних дисциплін і природничо-математичних дисциплін в середніх професійно-технічних навчальних закладах / А.В. Касперський, Ю.В. Немченко,

О.М. Кучменко, О.М. Дейнека. *Збірник наукових праць Херсонського державного університету. Педагогічні науки*. 2016. Вип. 69(1). С. 157–161.

7. Корець М.С. Фізико-математична підготовка фахівців технологічної та професійної освіти. *Актуальні проблеми методології та методики навчання фізико-математичних дисциплін* : Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена 85-річчю від дня народження кандидата фізико-математичних наук, завідувача кафедри методології та методики навчання фізико-математичних дисциплін вищої школи, професора Івана Тихоновича Горбачука. Київ : Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2018. С. 99–100.

8. Кремінь В.Г., Биков В.Ю. Категорії «простір» і «середовище»: особливості модельного подання та освітнього застосування. *Теорія і практика управління соціальними системами*. 2013. № 2. С. 3–16.

9. Марущак О.В. Інтеграція знань з матеріалознавства у професійній підготовці майбутніх фахівців швейного виробництва : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04. Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського. Вінниця, 2005. 260 с.

10. Сидоренко В.К. Інтеграція трудового навчання і креслення як засіб розвитку технічних здібностей школярів (дидактичний аспект) : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.01. Київ, 1995. 435 с.

11. Тхоржевський Д.О. Яким має бути зміст освітньої галузі «Технології». *Трудова підготовка у закладах освіти*. 2000. № 3. С. 7–10.

12. Шевченко В.В. Роль інформаційних компетенцій та компетентностей у професійній діяльності майбутнього вчителя. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія № 13. Проблеми трудової та професійної підготовки*. Випуск 6 : збірник наукових праць. Київ : Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2010. С. 236–242.

#### REFERENCES:

1. Andrushchenko, V.P. (2017). *Informatsiyni vymir suchasnoi osvity [Information dimension of modern education]*. Kyiv: «MP Lesia» [in Ukrainian].

2. Bekh, I.D. (2009). *Kompetentnisnyi pidkhid v suchasni osviti [Competency approach in modern education]*. Pedagogika vyshchoi shkoly: metodolohiia, teoriia. Kyiv: Henezys [in Ukrainian].

3. Bodnenko, T.V. (2016). *Profesiino-orientovane navchannia tekhnichnykh dystsyplin maibutnikh fakhivtsiv komp'uternykh system: monohrafiia [Professionally oriented training of technical disciplines of future specialists in computer systems: monograph]*. Cherkasy: Vyd-vo «InterlihaTOR» [in Ukrainian].

4. Viichuk, T.I. (2008). *Prykladna spriamovanist zmistu navchannia yak zasib formuvannia statystychnykh uivlen uchniv [Applied focus of learning content as a means of forming students' statistical ideas]*. *Dydaktyka matematyky: problemy i doslidzhennia – Didactics of mathematics: problems and research*. Donetsk: DonNU, 30, 194–199 [in Ukrainian].

5. Zhernoklieiev, I. V. (2011). *Suchasnyi stan i reforma systemy pidhotovky maibutnikh uchyteliv tekhnolohii ta profesiinoho navchannia u Shvetsii [Current state and reform of the system of training future teachers of technology and professional training in Sweden]*. *Problemy trudovoi i profesiinoy pidhotovky: nauk.-metod. zb. – Problems of labor and professional training: science and method. coll.*, 16, 43–51, Slov'iansk [in Ukrainian].

6. Kasperskyi, A.V., Nemchenko, Yu.V., Kuchmenko, O.M., Deineka, O.M. (2016). *Osoblyvosti intehrovanoho testovoho kontroliu tekhnichnykh dystsyplin i pryrodnycho-matematychnykh dystsyplin v serednikh profesiino-tekhnichnykh navchalnykh zakladakh [Peculiarities of integrated test control of technical disciplines and natural and mathematical disciplines in secondary vocational and technical educational institutions]*. *Zbirnyk naukovykh prats Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Pedagogichni nauky – Collection of scientific papers of Kherson State University*, 69(1), 157–161 [in Ukrainian].

7. Korets, M.S. (2018). *Fizyko-matematychna pidhotovka fakhivtsiv tekhnolohichnoi ta profesiinoy osvity. Aktualni problemy metodolohii ta metodyky navchannia fizyko-matematychnykh dystsyplin: Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia, prysviachena 85-richchiu vid dnia narodzhennia kandydata fizyko-matematychnykh nauk, zaviduvacha kafedry metodolohii ta metodyky navchannia fizyko-matematychnykh dystsyplin vyshchoi shkoly, profesora Ivana Tykhonovycha Horbachuka [Physical and mathematical training of specialists in technological and professional education. Actual problems of methodology and teaching methods of physical and mathematical disciplines: All-Ukrainian scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the birthday of the candidate of physical and mathematical sciences, head of the department of methodology and teaching methods of physical and mathematical disciplines of the higher school, professor Ivan Tikhonovich Horbachuk]*. Kyiv: Vyd-vo NPU imeni M.P. Drahomanova [in Ukrainian].

8. Kremin, V.H., Bykov, V.Yu. (2013). *Katehorii «prostir» i «sередovyshche»: osoblyvosti modelnoho podannia ta osvithnoho zastosuvannia [The categories “space” and “environment”: peculiarities of model presentation and educational application]*. *Teoriia i praktyka upravlinnia sotsialnyimi systemami – Theory and practice of social systems management*, 2, 3–16 [in Ukrainian].

9. Marushchak, O.V. (2005). Intehratsiia znan z materialoznavstva u profesiinii pidhotovtsi maibutnikh fakhivtsiv shveinoho vyrobnytstva: dys. ... kand. ped. nauk: 13.00.04 [Integration of materials science knowledge in the professional training of future garment industry specialists: Thesis ... Dr. Ped. Sciences]. Vinnytskyi derzhavnyi pedahohichnyi universytet im. M. Kotsiubynskoho. Vinnytsia [in Ukrainian].

10. Sydorenko, V.K. (1995). Intehratsiia trudovoho navchannia i kreslennia yak zasib rozvytku tekhnichnykh zdibnosti shkolariv (dydaktychnyi aspekt): dys. ... d-ra ped. nauk: 13.00.01 [Integration of labor training and drawing as a means of developing technical abilities of schoolchildren (didactic aspect): Thesis ... Dr. Ped. Sciences: 13.00.01]. Kyiv [in Ukrainian].

11. Tkhorzhevskiy, D.O. (2000). Yakym maie buty zmist osvitnoi haluzi "Tekhnolohii" [What should be the content of the educational field "Technology"]. *Trudova pidhotovka u zakladakh osvity – Labor training in educational institutions*, 3, 7–10 [in Ukrainian].

12. Shevchenko, V.V. (2010). Rol informatsiinykh kompetentsii ta kompetentnosti u profesiinii diialnosti maibutnoho vchytelia [The role of informational competences and competences in the professional activity of the future teacher]. *Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M.P. Drahomanova. Serii № 13. Problemy trudovoi ta profesiinnoi pidhotovky – Scientific journal of the National Pedagogical University named after M.P. Drahomanov. Series No. 13. Problems of labor and professional training*, 6, 236–242 [in Ukrainian].

УДК 621.362.1

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-4>**Олексій НОВОСАД**

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID: 0000-0002-9433-7776

SCOPUS-AUTHOR ID: 55595635700

**Бібліографічний опис статті:** Новосад, О. (2023). Теплопровідність та термоелектрична добротність твердих розчинів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ . *Фізика та освітні технології*, 2, 30–35, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-4>

## ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ ТА ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНА ДОБРОТНІСТЬ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$

У роботі досліджено залежність коефіцієнта теплопровідності та термоелектричної добротності монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  із вмістом 0, 20, 40, 60, 80 і 100 мол.%  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  від їх компонентного складу.

Мета роботи полягала в експериментальному визначенні коефіцієнта теплопровідності та розрахунку термоелектричної добротності твердих розчинів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ . Встановлено, що основний внесок у теплопровідність монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  дає ґраткова складова. Розраховано термоелектричну добротність твердих розчинів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ . Проаналізовано залежність цих параметрів від компонентного складу  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ . Для вимірювання коефіцієнта теплопровідності використовували багаторазово перевірене обладнання. Усі дослідження проводили при  $T \approx 300$  К.

Збільшення вмісту  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  у твердому розчині  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  призводить до зростання термоелектричної добротності твердих розчинів. Різке зростання коефіцієнта теплопровідності для монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  з вмістом  $\approx 20\text{-}80$  мол.%  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  може обумовлюватись зростанням дефектності кристалічної решітки монокристалів. Термоелектрична ефективність була найвищою в монокристалах  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  та становила  $ZT \approx 0,046$ . Найнижчі значення термоелектричної добротності ( $ZT \approx 0,02$ ) характерні для сполук  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$  та  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  з  $\approx 40$  мол.%  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ . Показано, що, змінюючи компонентний склад монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ , можна змінювати значення коефіцієнта теплопровідності та термоелектричної добротності. Плавна зміна коефіцієнта теплопровідності і термоелектричної добротності в монокристалах  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  із збільшенням вмісту атомів Cd може знайти практичне застосування в напівпровідниковому приладобудуванні, де використовують ся напівпровідникові матеріали  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$  та  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ .

**Ключові слова:** напівпровідники, тверді розчини, коефіцієнт теплопровідності, термоелектрична добротність.

**Oleksii NOVOSAD**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-9433-7776

SCOPUS-AUTHOR ID: 55595635700

**To cite this article:** Novosad, O. (2023). Teploprovodnist' ta termoelektrychna dobrotnist' tverdykh rozchyniv  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ . [Thermal conductivity and thermoelectric figure of merit of  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  solid solutions]. *Physics and Educational Technology*, 2, 30–35, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-4>

## THERMAL CONDUCTIVITY AND THERMOELECTRIC FIGURE OF MERIT OF $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ SOLID SOLUTIONS

This article is devoted to the studies of the dependence between the thermal conductivity coefficient and thermoelectric figure of merit in  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  single crystals with a content of 0, 20, 40, 60, 80 and 100 mol.%  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  on their composition.

*The purpose of the work is to investigate the thermal conductivity coefficient and thermoelectric figure of merit of  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  solid solutions. We found that the lattice component provides the main contribution to the thermal conductivity of  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  crystals. The thermoelectric figure of merit of  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  solid solutions was calculated. The dependence of these parameters on the  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  component composition was analyzed. To determine the thermal conductivity coefficient, repeatedly tested equipment were used. The research was conducted at  $T \approx 300$  K.*

*An increase in the content of  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  in the  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  solid solution leads to an increase in the thermoelectric figure of merit of the solid solutions. The growth of the thermal conductivity coefficient for  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  single crystals with a content of  $\approx 20$ -80 mol.%  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  can be caused by the growth of defects in the crystal lattice of single crystals. The thermoelectric figure of merit was the highest in  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  single crystals ( $ZT \approx 0,046$ ). The lowest values of thermoelectric figure of merit are characteristic of compounds  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$  and  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  with  $\approx 40$  mol.%  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  ( $ZT \approx 0,02$ ). It is shown that by changing the component composition of  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ , it is possible to change the value of the thermal conductivity coefficient and thermoelectric figure of merit. The smooth change of thermal conductivity coefficient and thermoelectric figure of merit  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  with a formation in the content of Cd atoms can find practical use in semiconductor instrumentation, where  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$  and  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  materials are used.*

**Key words:** *semiconductors, solid solutions, coefficient of thermal conductivity, thermoelectric figure of merit.*

**Актуальність проблеми.** Близько 60% енергії, що виділяється у вигляді теплової енергії, ніколи не використовується. Безпосереднє перетворення теплової енергії в електричну енергію забезпечують термоелектричні генератори, основою яких є термоелектричні матеріали. Дані матеріали можуть допомогти відновити значну частину енергії, втраченої у вигляді тепла. До речовин, з яких виготовляються високоефективні термоелектроперетворювачі, належать напівпровідники. Тому важливим завданням є дослідження фізичних властивостей нових напівпровідників, перспективних для термоелектричної генерації. Робота присвячена дослідженню коефіцієнта теплопровідності та термоелектричної добротності нових напівпровідникових сполук  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  з вмістом 0, 20, 40, 60, 80 і 100 мол.%  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ .

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно з (Alzahrani, 2021; Rinkle, 2019) напівпровідникові сполуки  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$  та  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  є перспективними матеріалами для термоелектричної генерації. У роботі (Alzahrani, 2021) повідомлялось, що термоелектрична добротність ( $ZT$ ) для сполук  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  становить 0,74. Монокристали  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$  завдяки їх низьким значенням решіткової складової коефіцієнта теплопровідності – 0,54 Вт/м·К при  $T=1000$  К (Rinkle, 2019) можна віднести до матеріалів, перспективних для термоелектричної генерації у високотемпературному інтервалі. У роботах (Новосад, 2022; Новосад, 2020) досліджувались електричні та термоелектричні властивості твердих розчинів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ . У результаті проведених досліджень показано, що найвищі значення термоелектричної потужності ( $\alpha^2 \cdot \sigma$ ) мають сполуки  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  з вмістом 60-80 мол.%  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ . Особливістю утворення досліджуваного твер-

дого розчину  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  є збільшення об'єму елементарної комірки при зростанні вмісту атомів Cd (Kozar, 2009).

**Мета дослідження.** Мета дослідження полягала в експериментальному вимірюванні коефіцієнта теплопровідності твердих розчинів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ , розрахунку електронної складової коефіцієнта теплопровідності та розрахунку термоелектричної добротності монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ , а також в аналізі отриманих результатів залежно від компонентного складу монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ .

**Методика та техніка експерименту.** Досліджували тверді розчини  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  відповідали компонентному складу 0, 20, 40, 60, 80 і 100 мол.%  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ . Синтез матеріалів, методика вирощування монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  та деякі їх кристалографічні параметри представлені в роботі (Kozar, 2009). Для експериментального визначення коефіцієнта теплопровідності використовувались ті ж самі зразки, що і при дослідженні термоелектричної потужності монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  в роботі (Новосад, 2022). У роботі (Новосад, 2022) описана методика підготовки зразків до вимірювань.

Методика визначення коефіцієнта теплопровідності та установка для вимірювання коефіцієнта теплопровідності більш детально описана в наших роботах (Новосад, 2021). У використуваному нами методі оцінки коефіцієнта теплопровідності тепловий потік, що діє на поверхню досліджуваного зразка, створювався променем світла. Слід відмітити, що під час вимірювання коефіцієнта теплопровідності монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  для зменшення втрат світлової енергії поверхня зразка, на яку потрапляло світло, робилась шорсткою та забарвлювалась у чорний колір. Чорний колір

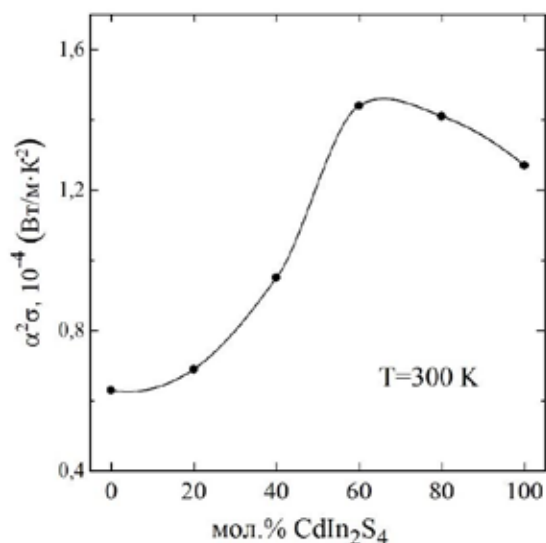
поверхні зразків дав можливість зменшити коефіцієнт відбивання світла практично до 0 та виключити вплив квантів світла на рівноважний розподіл носіїв заряду в монокристалах. Дослідження проводились при  $T \approx 300$  К.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Ефективність роботи термоелектрогенератора визначається термоелектричною добротністю використаних у ньому матеріалів, яка визначається формулою (Масія, 2015; Rowe, 1995):

$$Z \cdot T = \frac{\alpha^2 \cdot \sigma}{\chi_{tot}} \cdot T, \quad (1)$$

де  $Z \cdot T$  – термоелектрична добротність матеріалу,  $\alpha$  – коефіцієнт Зеєбека,  $\sigma$  – питома електропровідність,  $\chi_{tot}$  – коефіцієнт теплопровідності,  $T$  – абсолютна температура.

У формулі (1) величину  $\alpha^2 \cdot \sigma$  називають термоелектричною потужністю матеріалу. Числові значення  $\alpha^2 \cdot \sigma$  для твердих розчинів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ , взяті з роботи (Новосад, 2022), представлені в табл. 1 та графічно на рис. 1.



**Рис. 1.** Залежність термоелектричної потужності твердих розчинів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  від вмісту  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$

З представлених на рис. 1 та в табл. 1 даних видно, що максимальне значення  $\alpha^2 \sigma$  властиве сполукам з  $\approx 60$ -80 мол.%  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ , це відбувається за рахунок зростання  $\sigma$  та високих значень  $\alpha$  (Новосад, 2022). Як відмічалось в роботі (Новосад, 2022), маючи високі значення  $\alpha^2 \sigma$ , тверді розчини  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  з вмістом  $\approx 60$ -80 мол.%  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  можуть бути перспективними для подальших досліджень, зокрема для визначення  $\chi_{tot}$ .

Коефіцієнт теплопровідності напівпровідникового матеріалу, в найбільш загальному випадку, складається з фононної теплопровідності ( $\chi_{ph}$ ) та електронної теплопровідності ( $\chi_e$ ) (Масія, 2015; Третьак, 2007):

$$\chi_{tot} = \chi_{ph} + \chi_e. \quad (2)$$

З (Масія, 2015; Третьак, 2007) відомо, що для оцінки числового значення  $\chi_e$  можна використати закон Відемана-Франца:

$$\chi_e = L \sigma T, \quad (3)$$

де  $L$  – число Лоренца,  $T$  – абсолютна температура.

Згідно з (Масія, 2015; Третьак, 2007), для вироджених напівпровідників  $L$  можна розрахувати, використовуючи формулу

$$L = \frac{\pi^2}{3} \left( \frac{k}{e} \right)^2, \quad (4)$$

де  $k$  – стала Больцмана,  $e$  – елементарний заряд.

Про стан монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ , близький до виродженого, свідчать їх високі значення  $\sigma$  (Новосад, 2022), при  $T \approx 300$  К. Також на користь даного припущення свідчить висока концентрація вільних носіїв заряду в монокристалах  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$  ( $n = 1,49 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ ) (Rinkle, 2019).

З врахуванням формул (3) та (4) отримаємо вираз для розрахунку  $\chi_e$

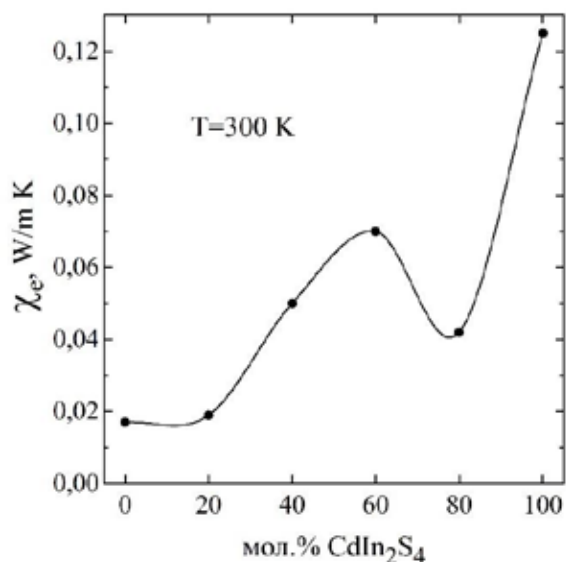
$$\chi_e = \frac{\pi^2}{3} \left( \frac{k}{e} \right)^2 \sigma T, \quad (5)$$

Таблиця 1

**Термоелектричні параметри твердих розчинів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$**

мол. % $\text{CdIn}_2\text{S}_4$	$\alpha^2 \sigma, 10^{-4} \text{ Вт/м}\cdot\text{K}^2$	$\chi_e, \text{ Вт/К}\cdot\text{м}$	$\chi_{tot}, \text{ Вт/К}\cdot\text{м}$	$ZT$
0	0,63	0,017	0,93	0,02
20	0,69	0,019	0,88	0,024
40	0,95	0,050	1,36	0,021
60	1,44	0,070	1,22	0,035
80	1,41	0,042	1,12	0,038
100	1,27	0,125	0,82	0,046





**Рис. 2.** Залежність електронної складової коефіцієнта теплопровідності монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  від вмісту  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$

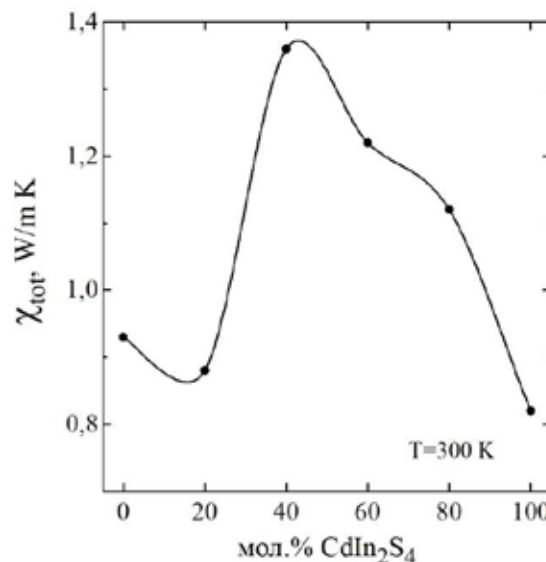
Одержані з формули (5) значення  $\chi_e$  для  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  представлені в табл. 1 та графічно на рис. 2. Значення  $\sigma$  монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ , які використовувались при розрахунках  $\chi_e$ , були взяті з роботи (Новосад, 2022).

Особливістю залежності  $\chi_e$  від складу монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  є різке зменшення  $\chi_e$  для монокристалів з 80 мол. %  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ . Очевидно, що це обумовлено низьким значенням  $\sigma$  ( $\sigma \approx 5,7 \cdot 10^3$  (Ом·м)<sup>-1</sup>) в порівнянні з монокристалами іншого компонентного складу. Причиною такої поведінки монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  з 80 мол. %  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  може бути зростання дефектності кристалічної решітки та, відповідно, ступеня скомпенсованості монокристалів, внаслідок чого зменшується концентрація вільних носіїв заряду.

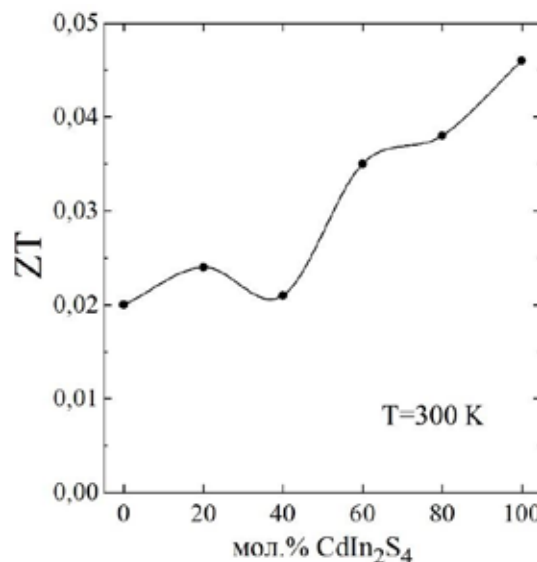
З наведених в табл. 1 даних слідує, що для монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$   $\chi_e/\chi_{tot} \approx 10^{-1} - 10^{-2}$ , тобто з певним наближенням можна стверджувати, що  $\chi_{tot} \approx \chi_{ph}$ , що свідчить про те, що основний внесок в  $\chi_{tot}$  даватиме  $\chi_{ph}$ . Подібні результати спостерігались в твердих розчинах  $(\text{AgSb})_{1-x}\text{Pb}_x\text{Se}_2$  (Novosad, 2022) та  $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{InSe}_2$  (Bozhko, 2010).

У табл. 1 представлені значення  $\chi_{tot}$  монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ , виміряні експериментально. Графічно залежність  $\chi_{tot}$  монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  від їх складу представлена на рис. 3. З представленої графічної залежності можна зробити висновки про різке зростання

$\chi_{tot}$  для сполук з вмістом  $\approx 20\text{-}80$  мол.%  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ . Оскільки для даних монокристалів  $\chi_e/\chi_{tot} \approx 10^{-1} - 10^{-2}$ , то зростання коефіцієнта теплопровідності обумовлене зростанням  $\chi_{ph}$ . Зростання  $\chi_{ph}$  в даному випадку може обумовлюватись зростанням дефектності кристалічної решітки монокристалів при переході до середини перерізу  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  як зі сторони  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ , так і зі сторони  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ .



**Рис. 3.** Залежність коефіцієнта теплопровідності монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  від вмісту  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$



**Рис. 4.** Залежність термоелектричної добротності монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$

На основі відомих значень термоелектричної потужності  $\alpha^2 \cdot \sigma$  та виміряних значень  $\chi_{tot}$  за формулою (1) розраховано зна-

чення  $ZT$ . Графічно залежність  $ZT$  від складу монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  показано на рис. 4. З представлених даних видно, що збільшення вмісту другої компоненти в монокристалах  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  призводить до зростання  $ZT$ .

#### Висновки і перспективи подальших досліджень

Збільшення вмісту атомів Cd у твердому розчині  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  призводить до зростання термоелектричної добротності твердих розчинів. Змінюючи компонентний склад монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ , можна керувати їх термоелектричними властивостями. Основний внесок у теплопровідність монокристалів робить фононна складова. Різке зростання  $\chi_{ph}$

для монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  з вмістом  $\approx 20\text{-}80$  мол.%  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  може обумовлюватись зростанням дефектності кристалічної решітки монокристалів при переході до середини перерізу  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  як зі сторони  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ , так і зі сторони  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ . Найвище значення  $ZT$  при  $T \approx 300$  К мають монокристали  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ . Найменші значення  $ZT$  властиві сполукам  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$  та  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  з  $\approx 40$  мол.%  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ . Залежність фізичних властивостей  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  від компонентного складу даних сполук можна використовувати в напівпровідниковому приладобудуванні. Актуальним завданням залишається створення лабораторної термоелектричної комірки на основі даних сполук та визначення її ККД.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Alzahrani, J., Al-Qaisi, S., Mahmood, Q., & Ghrib, T. First Principle Study of Structural, Electronic, and Optical Properties of  $\text{XIn}_2\text{S}_4$  ( $X=\text{Zn, Cd, Hg}$ ). *Journal of Materials and Physical Sciences*. 2021. Vol. 2. № 2. P. 69–77.
2. Rinkle Juneja, Abhishek K. Singh Rattling-Induced Ultralow Thermal Conductivity Leading to Exceptional Thermoelectric Performance in  $\text{AgIn}_5\text{S}_8$ . *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2019. Vol. 11. P. 33894–33900.
3. Новосад, О., Шигорін, П., Венгрин, Б., Божко, В., Шигорін, О. Електричні та термоелектричні властивості твердих розчинів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ . *Фізика та освітні технології*. 2022. № 1. С. 56–61.
4. Новосад О.В., Божко В.В., Федосов С.А., Шигорін П.П. Термоелектричні властивості монокристалів  $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$ . *Перспективні технології та прилади*. 2020. № 17. С. 183–189.
5. Kozar V.R., Parasyuk O.V. Phase equilibria in the quasi-ternary system  $\text{Cu}_2\text{S-In}_2\text{S}_3\text{-CdS}$ . *Chem. Met. Alloys*. 2009. № 2. P. 102–107.
6. Новосад О., Пішова П., Божко В., Шпак В. Термоелектрична добротність монокристалів  $(\text{AgSb})_{1-x}\text{Pb}_x\text{Se}_2$ . *Фізика та освітні технології*. 2021. № 1. С. 39–45.
7. Enrique Macia. Thermoelectric Materials: Advances and Applications. CRC Press, 2015. 364 p.
8. Rowe D. M., Handbook of thermoelectrics. New York, CRC Press, 1995. 703 p.
9. Третяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників: Підручник. У 2 т. Т. 2. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2007. 338 с.
10. Novosad O., Shygorin P., Bozhko V., Pishova P., Venhryn B., Goldun V. Electrical and Thermoelectrical Properties of  $\text{PbSe-AgSbSe}_2$  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.
11. Bozhko V.V., Davydyuk G.Ye., Parasyuk O.V., Novosad O.V., Kozar V.R. Electrical and optical properties of solid solutions  $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{InSe}_2$  ( $x=0,05\text{-}0,2$ ). *Ukrainian Journal of Physics*. 2010. Vol. 55, № 3. P. 312–316.

#### REFERENCES:

1. Alzahrani, J., Al-Qaisi, S., Mahmood, Q., & Ghrib, T. (2021) First Principle Study of Structural, Electronic, and Optical Properties of  $\text{XIn}_2\text{S}_4$  ( $X = \text{Zn, Cd, Hg}$ ). *Journal of Materials and Physical Sciences*. 2, 69–77 [in English].
2. Rinkle Juneja, Abhishek K. Singh (2019) Rattling-Induced Ultralow Thermal Conductivity Leading to Exceptional Thermoelectric Performance in  $\text{AgIn}_5\text{S}_8$ . *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 11, 33894–33900 [in English].
3. Novosad, O., Shygorin, P., Venhryn, B., Bozhko, V., Shygorin, O. (2022). Elektrichni ta termoelektrychni vlastyivosti tverdykh rozchyniv  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  [Electrical and thermoelectrical properties of  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  solid solutions]. *Physics and Educational Technology*, 1, 56–61 [in Ukrainian].
4. Novosad O.V., Bozhko V.V., Fedosov S.A., Shygorin P.P. (2020) Termoelektrychni vlastyivosti monokrystaliv  $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$  [Thermoelectric properties of  $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$  single crystals]. *Prospective technologies and devices*. 17, 183–189 [in Ukrainian].
5. Kozar V.R., Parasyuk O.V. (2009) Phase equilibria in the quasi-ternary system  $\text{Cu}_2\text{S-In}_2\text{S}_3\text{-CdS}$ . *Chem. Met. Alloys*. 2, 102-107 [in English].

6. Novosad, O., Pishova, P., Bozhko, V. & Shpak, V. (2021) Termoelektrychna dobrotnist monokrystaliv  $(\text{AgSb})_{1-x}\text{Pb}_x\text{Se}_2$  [Thermoelectric figure of merit in  $(\text{AgSb})_{1-x}\text{Pb}_x\text{Se}_2$  single crystals]. *Physics and educational technology*, 1, 39–45 [in Ukrainian].
7. Enrique Macia. (2015) *Thermoelectric Materials: Advances and Applications*. CRC Press [in English].
8. Rowe D. M. (1995) *Handbook of thermoelectrics*. New York, CRC Press [in English].
9. Tretyak O.V., Lozovsky V.Z. (2007). *Osnovy fizyky napivtsiv: Pidruchnyk [Fundamentals of semiconductor physics: Textbook.]* Kyiv. Kyiv University Publishing and Printing Center. 338 s. [in Ukrainian].
10. Novosad O., Shygorin P., Bozhko V., Pishova P., Venhryn B., Goldun V. (2022) Electrical and Thermoelectrical Properties of  $\text{PbSe-AgSbSe}_2$  Monocrystals. *Proceedings of 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering* (pp. 798–801). Lviv-Slavske [in English].
11. Bozhko V.V., Davydyuk G.Ye., Parasyuk O.V., Novosad O.V., Kozer V.R. (2010) Electrical and optical properties of solid solutions  $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{InSe}_2$  ( $x=0,05-0,2$ ). *Ukrainian Journal of Physics*. 3, 312–316 [in Ukrainian].

УДК 371.3:377:004

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-5>

**Ірина САЛЬНИК**

доктор педагогічних наук, професор, в.о. завідувача кафедри природничих наук і методик їхнього навчання, Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка, вул. Шевченка, 1, м. Кропивницький, Україна, 25006

**ORCID ID:** 0000-0003-1117-9862

**Олена ФОМЕНКО**

аспірантка, Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка, вул. Шевченка, 1, м. Кропивницький, Україна, 25006

**ORCID ID:** 0000-0002-6407-1305

**Бібліографічний опис статті:** Сальник І., Фоменко О. (2023). Імерсивні технології в умовах дистанційного та змішаного навчання. *Фізика та освітні технології*, 2, 36–44, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-5>

## ІМЕРСИВНІ ТЕХНОЛОГІЙ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО ТА ЗМІШАНОГО НАВЧАННЯ

У статті розкриваються ключові аспекти використання імерсивних технологій в умовах дистанційного та змішаного навчання фізики. Дослідження останніх років, які проаналізовано, показують важливість імерсивних технологій у покращенні якості освіти та залученні учнів і студентів до вивчення природничих дисциплін, особливо в умовах, коли традиційні методи навчання обмежені або недостатні. Метою нашої роботи є визначення методичних особливостей використання технологій віртуальної та доповненої реальності. Для розв'язання завдань дослідження проаналізовано потенційні переваги використання даних технологій, зокрема їх здатність створювати реалістичні імітації реального світу, сприяти інтерактивності та співпраці між учнями, забезпечувати індивідуалізований підхід до навчання. У статті висвітлено переваги та проблеми, що виникають в процесі використання імерсивних технологій віртуальної реальності (VR), доповненої реальності (AR), мішаної реальності (MR) у контексті дистанційного та змішаного навчання.

Окрему увагу зосереджено на аналізі доступних для безкоштовного використання у навчальному процесі додатків доповненої реальності: *ArBook*, *Electricity AR*, *Phet Interactive Simulations*, *GO-LAB*, *Labster*. У статті наведені методичні прийоми використання технологій у навчанні фізики, які були апробовані авторами на практиці. Для з'ясування готовності здобувачів освіти використовувати імерсивні технології та встановлення рівня задоволеності навчанням у новому середовищі було проведено опитування. Результати показали: вивчення фізики з використанням імерсивних технологій викликає у студентів й учнів задоволення від процесу навчання і впливає на покращення загальних результатів. Зроблено акцент на необхідності подальших досліджень і розвитку імерсивних технологій з метою забезпечення доступності та вдосконалення їх освітнього потенціалу, оптимізації сучасного навчального процесу та здешевлення засобів навчання.

**Ключові слова:** імерсивні технології, навчання фізики, доповнена реальність, віртуальна реальність, дистанційне навчання, мішане навчання.

**Ірина SALNYK**

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Acting Head of the Department of Natural Sciences and Methods of Teaching, Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University, 1 Shevchenko Str., Kropyvnytskyi, Ukraine, 25006

**ORCID ID:** 0000-0003-1117-9862

**Olena FOMENKO**

Postgraduate student, Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University, 1 Shevchenko str., Kropyvnytskyi, Ukraine, 25006

**ORCID ID:** 0000-0002-6407-1305

**To cite this article:** Salnyk, I., Fomenko, O. (2023). Imersyvnı tekhnolohii v umovakh dystantsiinoho ta mishanoho navchannia [Immersive technologies in distance and blended learning]. *Physics and Educational Technology*, 2, 36–44, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-5>

## IMMERSIVE TECHNOLOGIES IN THE CONTEXT OF DISTANCE AND BLENDED LEARNING

*The article reveals the key aspects of the use of immersive technologies in distance and blended learning. Recent studies have shown the importance of immersive technologies in improving the quality of education and engaging students in the study of natural sciences, especially in conditions where traditional teaching methods are limited or insufficient. The purpose of our work is to determine the methodological features of using virtual and augmented reality technologies. The potential benefits of using these technologies are analyzed, in particular, their ability to create realistic simulations of the real world, promote interactivity and cooperation between students, and provide an individualized approach to learning. The article highlights the advantages and problems arising in the process of using immersive technologies of virtual reality (VR), augmented reality (AR) and mixed reality (MR) in the context of distance and blended learning.*

*Special attention is paid to the analysis of augmented reality applications available for free use in the educational process: ArBook, Electricity AR, PhET Interactive Simulations, GO-LAB, Labster. The article presents methodical methods of using technologies in teaching physics, which were tested by the authors in practice. To determine the readiness of students to use immersive technologies and their satisfaction with learning in the new environment, a survey was conducted, the results of which showed that studying physics using immersive technologies makes students and pupils enjoy the learning process and improves overall results. The emphasis is placed on the need for further research and development of immersive technologies in order to ensure accessibility and improve their educational potential, optimize the modern educational process and reduce the cost of teaching aids.*

*Immersive technologies have great potential to improve the learning process, which encourages teachers and researchers to actively research, implement and develop these technologies, create new methods of their application to ensure more effective learning.*

**Key words:** *immersive technologies, augmented reality, virtual reality, distance learning, blended learning, teaching physics.*

**Актуальність проблеми.** Сучасні реалії життя вносять корективи в методики навчання сьгоднішніх учнів та студентів. Поряд з розвитком інформаційних технологій та їх інтеграцією в навчальний процес, в умовах російської агресії на перший план виходить безпека усіх учасників освітнього процесу. Відповідно до Закону України "Про освіту" заклади освіти наділені автономією, і можуть самостійно, незалежно та відповідально приймати рішення щодо академічних (освітніх), організаційних, фінансових, кадрових та інших питань діяльності, що провадиться в порядку та межах, визначених законом. Тобто, заклади освіти, зважаючи на безпекову ситуацію в регіоні, самі обирають форму навчання. 2022-2023 навчальний рік у більшості закладів освіти розпочався дистанційно з подальшим переходом на змішану форму навчання. Постає питання: як за таких умов можна якісно сформуванати загальні, ключові та предметні компетенції, що необхідні сучасній людині, під час навчання таких дисциплін, як фізика, хімія, біологія, основою яких є експеримент.

Саме імерсивні технології (технології занурення) мають великий потенціал у формуванні

різнобічних компетентностей майбутнього випускника. В умовах дистанційного та змішаного навчання перспективним напрямком в освітньому процесі є використання наступних технологій:

– Доповнена реальність (AR) (AR – augmented reality), яка накладає цифрову інформацію на реальний світ, дозволяючи студентам взаємодіяти з віртуальними об'єктами в реальному контексті.

– Віртуальна реальність (VR) (VR – virtual reality), яка дозволяє студентам зануритися у віртуальне середовище, яке імітує реальний досвід.

– Змішана реальність (MR) (MR – mixed reality) технологія, яка об'єднує AR і VR, її також називають гібридною реальністю, на відміну від AR дана технологія дозволяє не тільки створювати віртуальні об'єкти в реальному світі, а й забезпечувати їх взаємодію в режимі реального часу.

– Гейміфікація передбачає використання елементів ігрового дизайну в неігрових контекстах для підвищення залученості та мотивації. Додаток для перевірки рівня засвоєння теоретичного матеріалу може використовувати

гейміфікацію, щоб зробити вивчення складних теорій більш цікавим і захоплюючим, перетворивши його на гру з нагородами і досягненнями.

– Симуляції, які дозволяють студентам практикувати реальні навички та сценарії в безпечному і контрольованому середовищі.

Ці імерсивні засоби навчання потенційно можуть стати основним інструментом в освіті й здійснити революцію в навчанні як учнів, так і студентів. Вчителі можуть використовувати віртуальну й доповнену реальність для взаємодії учнів з різними об'єктами в тривимірному просторі. Наприклад, під час вивчення Сонячної системи учні зможуть не просто розглядати нудні малюнки в підручнику, а по-справжньому зануритися у космічний простір завдяки шолому віртуальної реальності, або додатку доповненої реальності. Технології віртуальної і доповненої реальності дають учням та студентам можливість глибше вивчати предмети, аналізувати наслідки світових подій, брати участь в археологічних експедиціях і багато іншого, а головне, у розважальній формі AR і VR **дають змогу набути досвіду**, до якого учні зазвичай не мають доступу.

Розглянуті імерсивні технології допомагають проводити цифровізацію закладів освіти та дозволяють здійснювати моніторинг навчання в реальному часі. Імерсивні технології навчання можуть бути особливо корисні в умовах дистанційної освіти, де студенти відокремлені один від одного та від навчального закладу. Вони дозволяють створювати інтерактивні середовища, в яких студенти можуть навчатися та спілкуватися один з одним та викладачами в режимі реального часу. Дані технології дозволяють підвищити мотивацію студентів, оскільки надають можливість навчатися в цікавому та захоплюючому середовищі.

Усі названі вище переваги імерсивних технологій ще досить слабо використовуються в українських закладах освіти. Це пов'язано не лише з недостатніми матеріальними ресурсами, а й з необізнаністю викладачів та вчителів в питаннях нових технологій, відсутністю достатнього методичного забезпечення, що сприятиме поширенню технологій віртуальної та доповненої реальності у навчанні дисциплін природничого циклу, зокрема фізики.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Імерсивні технології – це напрям, який протягом багатьох років досліджували та розвивали різні люди, наукові та комерційні установи та організації по усьому світу. Слід назвати Івана Сазерленда, який заклав основи для технології AR; Стіва Манна, що зробив значний внесок у доповнену реальність завдяки своїй роботі над дисплеями, які можна носити на тілі та забезпечувати користувачам безперервне доповнене бачення світу; Том Коделл – інженер Boeing, якому приписують введення терміну «доповнена реальність» на початку 1990-х років; Марк Біллінгерст – відомий дослідник у галузі доповненої реальності, який зробив значний внесок у AR завдяки своїй роботі над різними системами та інтерфейсами, включаючи ARToolKit, бібліотеку програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом для створення досвіду AR. Численні університети та дослідницькі установи по всьому світу мають спеціальні групи та лабораторії, які зосереджені на дослідженнях технологій занурення: Стенфордський університет, Вашингтонський університет, Медіалабораторія Массачусетського технологічного інституту, Інститут творчих технологій Університету Південної Каліфорнії та багато інших, зокрема й Інститут цифровізації освіти НАПН України.

На сьогоднішній день опубліковано значна кількість робіт як в Україні, так і за кордоном, в яких детально описується розробка та впровадження інструментів занурення, а також демонструються переваги VR, AR та MR технологій в різних галузях (В.Ю. Биков, С.П. Величко, Ю.В. Єчкало, В.Ф. Заболотний, Н.А. Мисліцька, С.Г. Литвинова, О.П. Пінчук, С.О. Семеріков, Н.В. Сороко, В.В. Ткачук та ін.). Більшість науковців сходяться на думці, що імерсивні технології забезпечують широку взаємодію та розуміння під час навчання в поєднанні з механізмами зворотного зв'язку та можливостями проектування завдань різного рівня складності, тому мають значні перспективи в освіті. С.М. Цирульник наголошує, що можливості доповненої реальності є привабливими для сучасного покоління та мають покращити набуття професійних компетентностей (Цирульник, 2019). Н.В. Сороко зазначає, що додатки AR можуть покращити процес навчання, навчальну мотивацію та

ефективність; допомагати вчителям накладати інформацію, візуальні матеріали та різні форми вмісту на звичайну дошку, забезпечуючи контекстні та релевантні результати, щоб покращити навчання; покращують успішність учнів, допомагають зосередити увагу користувача на конкретних завданнях (Сороко, 2021). М.П. Бондаренко, О.І. Ковальчук, А.Г. Охрей, І.Ю. Прибитько, Є.М. Решетник, у своєму дослідженні по застосуванню імерсивних технологій (віртуальної і доповненої реальності) в медичній освіті та практиці дійшли висновку, що використання даних технологій є доцільним в медичній галузі, враховуючи щоденне застосування новітніх технологій у медичній практиці (Ковальчук та ін., 2020). Yi. Georgiou, O. Tsivitanidou, C. Eckhardt, A. Ioannou стверджують, що доповнена реальність допомагає студентам у вивченні складних наукових концепцій завдяки реалістичній графіці та візуалізації наукових явищ, які студенти навряд чи можуть побачити у повсякденному житті (Georgiou et al, 2020). Проблема візуалізації навчальної інформації через технологію доповненої реальності розглядається Н.О. Гончаровою, яка здійснила огляд AR-додатків, їх класифікацію, аналіз підручників, книг, розроблених в доповненій реальності, запропонувала методи роботи з ними (Гончарова, 2019).

Дослідження в різних сферах, таких як освіта (Frank and Kapila, 2017), маркетинг (Huang & Liao, 2017), розваги, та охорона здоров'я, показали, що використання імерсивних технологій покращує досвід навчання (Huang, Chen, & Chou, 2016), сприяє участі у спільній діяльності, а також підвищує креативність і залучення.

З огляду на вище означене **метою** нашого дослідження є визначення методичних особливостей використання технологій віртуальної та доповненої реальності, що дозволить побудувати ефективну систему навчання дисциплін природничого (наукового) циклу, зокрема фізики.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вважається, що технології занурення забезпечують педагогіку, засновану на конструктивістській теорії та експериментальному навчанні, створюючи середовище, яке допомагає учням та студентам навчатися на практиці, розвивати креативність і покращувати розуміння явищ і процесів, які є невидимими для людського

ока. Так, у навчанні природничих дисциплін імерсивні технології, зокрема засоби доповненої реальності мають численні переваги, що робить її цінним інструментом як для студентів, так і для викладачів:

- **Покращена візуалізація:** доповнена реальність дозволяє учням візуалізувати абстрактні наукові концепції та явища більш захоплюючим та інтерактивним способом. Він може накладати віртуальні об'єкти, моделі або симуляції на реальний світ, надаючи візуальне представлення, яке допомагає краще зрозуміти складні наукові ідеї.

- **Практичні дослідження:** доповнена реальність дозволяє учням брати участь у практичному навчанні, не потребуючи дорогого чи недоступного обладнання. Вони можуть взаємодіяти з віртуальними об'єктами, проводити віртуальні експерименти та маніпулювати спостереженнями. Така активна участь покращує розуміння та збереження наукових принципів.

- **Експериментальне навчання:** AR створює міст між теоретичними знаннями та практичним застосуванням. Студенти можуть відчути наукові явища, які можуть бути складними або неможливими для безпосереднього спостереження, наприклад, дослідження людського тіла на клітинному рівні або спостереження за геологічними процесами протягом тривалого часу. Це експериментальне навчання допомагає учням глибше зрозуміти наукові концепції.

- **Персоналізоване навчання:** AR може адаптуватися до індивідуальних стилів і темпу навчання, дозволяючи учням навчатися на власному комфортному рівні. Технологія забезпечує інтерактивне та самостійне навчання, що дозволяє студентам проводити дослідження у власному темпі та заглиблюватись у сфери власних наукових інтересів.

- **Співпраця та взаємодія:** технологія AR полегшує співпрацю та соціальне навчання. Студенти можуть працювати разом у віртуальному середовищі, обмінюватися інформацією, обговорювати ідеї та спільно вирішувати проблеми. Цей аспект співпраці сприяє спілкуванню, критичному мисленню та навичкам командної роботи, які є важливими в науковому дослідженні.

- **Доступність та інклюзивність:** доповнена реальність може допомогти подолати обмеження, пов'язані з фізичним простором,

ресурсами чи обмеженими можливостями. Це оживляє природничу освіту незалежно від наявного лабораторного обладнання чи обмежень. Доступ до доповненої реальності можна отримати за допомогою мобільних пристроїв або інших доступних технологій, що робить наукову освіту доступнішою для ширшого кола студентів.

- Реальні програми: AR може продемонструвати реальні застосування наукових знань. Студенти можуть досліджувати, як наукові принципи використовуються в різних галузях, таких як медицина, інженерія, екологія або дослідження космосу. Цей зв'язок із реальними додатками мотивує студентів, показуючи їм актуальність і практичність науки.

- Залучення та мотивація: Інтерактивний та захоплюючий характер AR привертає увагу студентів і стимулює їхню цікавість. Це робить процес навчання більш приємним і захоплюючим, що призводить до підвищення мотивації та ентузіазму для природничої освіти. Доповнена реальність може перетворювати абстрактні концепції на захоплюючий і відчутний досвід, виховуючи любов до науки.

Досвід тривалого дистанційного навчання показав, що відбулось істотне зниження рівня знань, а також зменшилась зацікавленість учнів та студентів у вивченні природничих дисциплін (особливо за відсутності доступу до навчальних лабораторій та неможливості виконувати реальні досліди та експерименти). Перед викладачем постають питання вибору таких технологій навчання, які є на сьогодні доступними та дієвими інструментами у формуванні професійних компетентностей та здатні підвищити якість надання освітніх послуг. Ми вважаємо, що технології віртуальної та доповненої реальності здатні допомогти викладачу досягти поставлених завдань.

Проведений нами аналіз та власний досвід викладання показали, що використання імерсивних технологій може бути фрагментарним або комплексним:

- до окремих етапів заняття з метою візуалізації;
- для окремих видів діяльності (виконання віртуальних лабораторних робіт);
- в навчальних проєктах (віртуальні експерименти, експериментальні задачі);
- 3D навчальні екскурсії;

- для розв'язування якісних задач, тощо.

В процесі підготовки до використання імерсивних технологій в навчанні викладач повинен ознайомитись з існуючими додатками віртуальної та доповненої реальності (AR, VR), вивчити їх особливості та з'ясувати методичні можливості, які будуть корисними під час запровадження. Аналіз актуальних додатків доповненої та віртуальної реальності з природничих дисциплін показав, що на даний момент для безкоштовного використання в Україні доступні такі:

- мобільний додаток BookVar (від КНП "Освітня агенція міста Києва"), розроблений для природничих дисциплін та математики, містить підтримку всього шкільного курсу фізики (інші дисципліни – в розробці), доступний для ознайомлення лише в тестовому форматі;

- мобільний додаток ArBook, розроблений для підтримки викладання природничих дисциплін, математики, фізкультури, та містить енциклопедію для учнів (знаходиться в процесі розробки);

- мобільний застосунок Electricity AR, який можна застосовувати під час вивчення фізики та електротехніки;

- симулятор PhET Interactive Simulations, проєкт University of Colorado Boulder, сайт розроблений у 2002 році Карлом Віманом для створення і використання безкоштовних інтерактивних симуляцій з математики і наук про природу;

- віртуальна лабораторія GO-LAB, яка надає можливості проводити наукові експерименти дистанційно в онлайн-середовищі.

- платформа віртуальних лабораторій Labster, що створена для вивчення природничих наук та допомагає залучати учнів і студентів до науки за допомогою інтерактивних сценаріїв навчання, симулює експерименти, тренує лабораторні навички та навчає теорії за допомогою візуального досвіду, який покращує довгострокові результати навчання.

Також для ілюстрації фізичних принципів та законів за допомогою інтерактивних моделей та симуляцій можна використати, наприклад, додаток Da Vinci Machines AR, який дозволяє вивчати винаходи Леонардо да Вінчі, що базуються на механічних силах та рухах. Для розвитку креативності та інженерного мислення учнів за допомогою проєктно-орієнтованого



підходу доцільно застосувати додаток Bridges AR, який допомагає учням проектувати та будувати мости з різних матеріалів та перевіряти їх міцність.

Протягом 2022-2023 н.р. на заняттях з фізики та астрономії студенти Кіровоградського медичного фахового коледжу ім. Є.Й. Мухіна та учні Комунального закладу «Ліцей «Науковий» Міської ради міста Кропивницького» брали участь у апробації додатку доповненої реальності BookVar, використовували додатки доповненої реальності ArBook, Electricity AR які зміщують акцент з предмету (об'єкту) навчання на суб'єкт навчання – студента, дають змогу індивідуалізувати навчання, виходячи з потреб самого студента, надають можливість проводити дороговартісні або небезпечні досліди та експерименти у безпечному віртуальному середовищі.



Рис. 1. Додаток доповненої реальності BookVar

За допомогою додатку BookVar (рис. 1) учні мали можливість пройти найцікавіші, найскладніші чи навіть найнебезпечніші експерименти у віртуальній або доповненій реальності. Цей безкоштовний додаток (Тестування додатку з фізики «BookVAR») розроблений для усього шкільного курсу фізики – з 7 по 11 клас, чітко структурований, відповідно до розділів підручників. BookVAR «оживив підручники» з природничих дисциплін, він відтворює різні експерименти, процеси і процедури максимально наближено до реального життя, а також

дає можливість користувачу керувати подіями. В процесі навчання фізики ми використовували додаток для вивчення нових фізичних понять, узагальнення та повторення матеріалу.

Для роботи з додатками нами розроблено систему запитань (рефлексію), за допомогою якої можна з'ясувати наскільки студент або учень розуміє фізичні теорії, явища та може пояснити їх застосування в техніці і побуті.

Наприклад, під час вивчення розділу «Основи термодинаміки» учням пропонується виконати таке завдання: Запустити додаток доповненої реальності BookVar, обрати: Фізика, розділ "Теплові явища", анімація "Випромінювання" (рис. 2).



Рис. 2. Робота з додатком BookVar

Перегляньте дослід та дайте письмову відповідь на питання:

- 1) Які тіла краще поглинають тепло: чорного кольору, білого кольору чи сріблястого кольору?
- 2) Чому лід під чорним ковпаком тане, а під білим ковпаком – ні?

Після перегляду анімації "Конвекція", учням пропонується дати відповідь на питання:

- 1) Де може відбуватися конвекція: в газах, рідинах чи твердих тілах?
- 2) Чому батареї центрального опалення не встановлюють під стелею?

- 3) Чому на морі вдень вітер дує зі сторони моря на сушу, а вночі – навпаки з суші на море?

Для з'ясування готовності до використання імерсивних технологій та задоволеності навчанням у новому середовищі, нами було проведено опитування учнів та студентів вказаних вище закладів освіти. Результати опитування показали, що учні та студенти готові до використання імерсивних технологій в навчанні (72%), а більшість з них відмітили, що:

- використання імерсивних технологій підвищує їх мотивацію до вивчення фізики (53%);

– імерсивні технології допомагають зрозуміти складні явища і теорії (81%);

– дані технології є мобільними (для роботи з ними не потрібна прив'язка до конкретної аудиторії, міста, країни) (46%). Це дає можливість працювати під час будь яких форм організації навчання: у дистанційному, або змішаному форматі.

Основне, що ми з'ясували, що вивчення фізики з використанням технологій доповненої реальності викликає у студентів та учнів задоволення від самого процесу навчання, що впливає на покращення загальних результатів.

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** Головною метою сучасної освіти є підготовка успішних, висококваліфікованих, конкурентоспроможних фахівців, що є затребуваними на ринку праці, спроможних ефективно використовувати набуті освітні компетенції в професійній діяльності. З метою оптимізації сучасного навчального процесу, зменшення тривалості підготовки до занять, здешевлення засобів навчання в освіті потрібно використовувати сучасні імерсивні технології навчання, які сприяють інтеграції інформаційних технологій в різні галузі

науки та техніки та допомагають сформувати професійні компетенції. Проведене нами дослідження, пов'язане із методикою запровадження імерсивних технологій у навчанні, показало, що не зважаючи на серйозні перешкоди та виклики, в українській освіті поступово відбувається впровадження технологій віртуальної та доповненої реальності, які вже тривалий час використовуються в освіті за кордоном. Аналіз доступних платформ доповненої та віртуальної реальності дозволив виділити BookVar, як найоптимальнішу, найбільш наповнену платформу для вивчення природничих дисциплін, яка розроблена у відповідності до навчальних програм та може бути ефективно використана як під час дистанційного, так і змішаного навчання.

Подальшого дослідження потребує аналіз наявних можливостей закладів освіти у використанні платних та безкоштовних додатків доповненої та віртуальної реальності в освітньому процесі, а також розроблення методики застосування імерсивних технологій у процесі навчання природничих дисциплін, зокрема фізики, та вивчення їх впливу на якість отриманих знань здобувачів освіти.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Гончарова Н.О. Технологія доповненої реальності в підручниках нового покоління. *Проблеми сучасного підручника*. 2019. Вип. 22. С. 46–56. <https://doi.org/10.32405/2411-1309-2019-22-46-56>
2. Ковальчук О.І., Бондаренко М.П., Охрей А.Г., Прибитько І.Ю., Решетник Є.М. Особливості використання імерсивних технологій (віртуальної і доповненої реальності) в медичній освіті та практиці. *Morphologia*. 2020. Том 14 (№ 3). С. 158–164. <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2020.3.158-164>
3. Литвинова С. Г., Соколюк О. М. Критерії та показники оцінювання якості навчальних об'єктів доповненої реальності в підручниках фізики. *Інформаційні технології та засоби навчання*, 88(2), 23–37. <https://doi.org/10.33407/itlt.v88i2.4870>
4. Сальник І.В. Підходи до організації лабораторного практикуму у підготовці вчителя фізики під час дистанційного навчання. *Науковий вісник Львівської академії. Серія: Педагогічні науки*. 2022. Вип. 12. С. 108-116. <https://doi.org/10.33251/2522-1477-2022-12-108-116>
5. Сальник І.В., Фоменко О.В. Використання технологій доповненої реальності в умовах дистанційного та змішаного навчання в закладах фахової передвищої освіти. *Імерсивні технології в освіті: збірник матеріалів II науково-практичної конференції з міжнародною участю*, 22 вересня 2022 року, м. Київ, Інститут цифровізації освіти НАПН України, с. 163-168.
6. Сироватський О. В., Семеріков С. О., Модло Є. О., Єчкало Ю. В., Зелінська С. О. Проектування програмних засобів доповненої реальності навчального призначення. *Computer Science & Software Engineering: proceedings of the 1st Student Workshop (CS&SE@SW 2018)*, Kyyvyi Rih, Ukraine, November 30, 2018. – С. 193–225.
7. Сороко Н.В. Підходи до використання імерсивних технологій в закладах загальної освіти. *Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності: науково-практична конференція з міжнародною участю*. 2 листопада 2021 р.– К.: НАУ, 2022 – С. 113-115.
8. Тестування додатку з фізики «BookVAR» для закладів освіти Києва. – <https://don.kyivcity.gov.ua/news/11129.html>
9. Ткачук В.В., Семеріков С.О., Єчкало Ю.В., Маркова О.М., Мінтій М.М. Засоби розробки доповненої реальності для Web: порівняльний аналіз. *Фізико-математична освіта*. 2020. Випуск 2(24). С. 159-167. [https://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/journals/2020-v2-24/2020\\_2-24-Tkachuk-Semerikov\\_FMO.pdf](https://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/journals/2020-v2-24/2020_2-24-Tkachuk-Semerikov_FMO.pdf)

10. Цирульник С.М. Застосування технологій доповненої реальності у процесі підготовки фахівців з радіоелектроніки. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*, 2019. с. 355-362. Електронне видання. URL: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2019s32>
11. Hsiu-Mei Huang, Ulrich Rauch, Shu-Sheng Liaw, Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach. *Computers & Education*, Volume 55, Issue 3, 2010, P. 1171-1182, <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.05.014>.
12. Jared A. Frank, Vikram Kapila. Mixed-reality learning environments: Integrating mobile interfaces with laboratory test-beds. *Computers & Education*, Volume 110, 2017, P. 88-104, <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.02.009>.
13. Soroko N. The augmented reality functions to support the STEAM education at general education institutions. *Physical and Mathematical Education*. 2021. Issue 3(29). P.24-30. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-029-3-004>
14. Tien-Chi Huang, Chia-Chen Chen, Yu-Wen Chou, Animating eco-education: To see, feel, and discover in an augmented reality-based experiential learning environment. *Computers & Education*, Volume 96, 2016, P.72-82, <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.008>.
15. Yiannis Georgiou, Olia Tsvitanidou, Christian Eckhardt, Andri Ioannou. A learning experience design for immersive virtual reality in Physics classrooms. *6th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN 2020)* Online, June 21-25, 2020. <https://doi.org/10.23919/iLRN47897.2020.9155097>

#### REFERENCES:

1. Honcharova, N.O. (2019) Tekhnolohiia dopovненоi realnosti v pidruchnykakh novoho pokolinnia. [Augmented reality technology in new generation textbooks]. *Problemy suchasnoho pidruchnyka. – Problems of a modern textbook*, 22, 46–56. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32405/2411-1309-2019-22-46-56>
2. Kovalchuk, O.I., Bondarenko, M.P., Okhrei, A.H., Prybytko, I.Iu., Reshetnyk, Ye.M. (2020). Osoblyvosti vykorystannia imersyvnnykh tekhnolohii (virtualnoi i dopovненоi realnosti) v medychnii osviti ta praktytsi. [Features of the use of immersive technologies (virtual and augmented reality) in medical education and practice]. *Morphologia*, 14 (№ 3), 158–164. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2020.3.158-164>
3. Lytvynova, S. H., Sokoliuk, O. M. (2022). Kryterii ta pokaznyky otsiniuvannia yakosti navchalnykh ob'ektiv dopovненоi realnosti v pidruchnykakh fizyky. [Criteria and indicators for assessing the quality of augmented reality learning objects in physics textbooks]. *Informatsiini tekhnolohii ta zasoby navchannia – Information technologies and learning tools*, 88(2), 23–37. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33407/itlt.v88i2.4870>
4. Salnyk, I.V. (2022). Pidkhody do orhanizatsii laboratornoho praktykum u pidhotovtsi vchytelia fizyky pid chas dystantsiinoho navchannia. [Approaches to the organization of a laboratory workshop in the training of a physics teacher in distance learning]. *Naukovyi visnyk Lotnoi akademii. Serii: Pedagogichni nauky. – Scientific Bulletin of the Flight Academy. Series: Pedagogical sciences*. 12, 108-116. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33251/2522-1477-2022-12-108-116>
5. Salnyk, I.V., Fomenko, O.V. Vykorystannia tekhnolohii dopovненоi realnosti v umovakh dystantsiinoho ta zmishanoho navchannia v zakladakh fakhovoi peredvyshchoi osvity. [The use of augmented reality technologies in the context of distance and blended learning in professional higher education institutions]. Proceedings from: *II naukovopraktychna konferentsiia z mizhnarodnoiu uchastiu «Imersyvni tekhnolohii v osviti» – II scientific and practical conference with international participation «Immersive technologies in education»* (p.163-168), m. Kyiv, Instytut tsyfrovizatsii osvity NAPN Ukrainy. [in Ukrainian].
6. Syrovatskyi, O. V., Semerikov, S. O., Modlo, Ye. O., Yechkalo, Yu. V., Zelinska. S. O. (2018). Proektuvannia prohramnykh zasobiv dopovненоi realnosti navchalnoho pryznachennia. [Designing augmented reality software for educational purposes]. *Computer Science & Software Engineering: proceedings of the 1st Student Workshop (CS&SE@SW 2018)*, Kryvyi Rih, Ukraine, November 30, (pp. 193–225) [in Ukrainian].
7. Soroko, N.V. (2021). Pidkhody do vykorystannia imersyvnnykh tekhnolohii v zakladakh zahalnoi osvity. [Approaches to the use of immersive technologies in general education institutions]. Proceedings from: *Naukovopraktychna konferentsiia z mizhnarodnoiu uchastiu «Multymediini tekhnolohii v osviti ta inshykh sferakh diialnosti» – Scientific and practical conference with international participation «Multimedia technologies in education and other spheres of activity»*. K.: NAU, (pp. 113-115). [in Ukrainian].
8. Testuvannia dodatku z fizyky «BookVAR» dlia zakladiv osvity. Kyieva. [Testing the "BookVAR" physics application for educational institutions in Kyiv]. Retrieved from <https://don.kyivcity.gov.ua/news/11129.html> [in Ukrainian].
9. Tkachuk, V.V., Semerikov, S.O., Yechkalo, Yu.V., Markova. O.M., Mintii. M.M. (2020). Zasoby rozrobky dopovненоi realnosti dlia Web: porivnialnyi analiz. [Augmented reality development tools for the Web: a comparative analysis]. *Fizyko-matematychna osvita. – Physical and Mathematical Education*, 2(24), 159-167. [in Ukrainian]. [https://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/journals/2020-v2-24/2020\\_2-24-Tkachuk-Semerikov\\_FMO.pdf](https://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/journals/2020-v2-24/2020_2-24-Tkachuk-Semerikov_FMO.pdf)

10. Tsyulnyk, S.M. (2019). Zastosuvannia tekhnolohii dopovnenoї realnosti u protsesi pidhotovky fakhivtsiv z radioelektroniky. [Application of augmented reality technologies in the process of training specialists in radio electronics]. *Vidkryte osvıtnie e-seredovyshche suchasnoho universytetu. – Open educational e-environment of a modern university*, 355-362. Retrieved from: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2019s32> [in Ukrainian].

11. Hsiu-Mei Huang, Ulrich Rauch, Shu-Sheng Liaw (2010). Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach. *Computers & Education*, 55, Issue 3, p. 1171-1182. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.05.014>.

12. Jared A. Frank, Vikram Kapila. (2017). Mixed-reality learning environments: Integrating mobile interfaces with laboratory test-beds. *Computers & Education*, Volume 110, P. 88-104. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.02.009>

13. Soroko, N. (2021). The augmented reality functions to support the STEAM education at general education institutions. *Physical and Mathematical Education*. Issue 3(29). P.24-30. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-029-3-004>

14. Tien-Chi Huang, Chia-Chen Chen, Yu-Wen Chou (2016). Animating eco-education: To see, feel, and discover in an augmented reality-based experiential learning environment. *Computers & Education*, Volume 96, P.72-82. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.008>.

15. Yiannis Georgiou, Olia Tsivitanidou, Christian Eckhardt, Andri Ioannou (2020). A learning experience design for immersive virtual reality in Physics classrooms. *6th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN 2020) Online*, June 21-25. <https://doi.org/10.23919/iLRN47897.2020.9155097>

УДК 538.9

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-6>**Людмила СОЛЯНИК**

кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, Інститут колоїдної хімії та хімії води імені А.В. Думанського Національної академії наук України, Вернадського Академіка бул, 42, м. Київ, Україна, 03142

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-2661-9392>**SCOPUS-AUTHOR ID:** 36903008700**Сергій СТАВРОЯНІ**

кандидат педагогічних наук, Відокремлений структурний підрозділ «Інститут інноваційної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури», вул. Освіти, 4, м. Київ, Україна, 03037

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0001-9315-7493>

**Бібліографічний опис статті:** Соляник, Л., Ставроянні, С. (2023). Квантово-хімічне моделювання перетворень ЕАК вольфраматовмісних розтопів на поверхні скловуглецевого електрода. *Фізика та освітні технології*, 2, 45–48, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-6>

## КВАНТОВО-ХІМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕТВОРЕНЬ ЕАК ВОЛЬФРАМАТОВМІСНИХ РОЗТОПІВ НА ПОВЕРХНІ СКЛОВУГЛЕЦЕВОГО ЕЛЕКТРОДА

В даній роботі проведено квантовохімічне вивчення процесів адсорбції окремих атомів вольфраму на скловуглецевій поверхні. Передумовою для проведення цього дослідження було вивчення механізму формування електрохімічно активних частинок в реакційному середовищі (вольфраматовмісний розтоп) з подальшим їх електровідновленням на поверхні скловуглецевого електрода. В роботі використаний квантовохімічний метод теорії функціоналу густини (DFT). Виконано DFT-розрахунок енергії адсорбції вольфраму на поверхні електрода та розрахунок структурних і зарядових характеристик досліджуваних систем. Поверхню скловуглецевого електрода в роботі представлено у вигляді вуглецевого кластера, який складається з двох шарів вуглецю, насичених атомами водню для усунення крайових ефектів. Встановлено дві позиції атома вольфраму відносно поверхні електрода – вершинна позиція (*on top*) та лункова (*hollow*). Зроблено оцінку стійкості отриманих конфігурацій на основі отриманих величин повних енергій. Знайдено, що менш стійкою є вершинна позиція (*on top*) з енергією адсорбції  $E_{\text{ads}} = -7,08$  eV/атом та одним W-C-зв'язком, а енергія адсорбції в позиції (*hollow*) становить  $-8,33$  eV/атом. Зроблено припущення, що лункова позиція (*on top*) може бути центром нуклеації атомів вольфраму. Однак при релаксації атом W з указаної позиції може зміщуватись в положення наявних вакансій. На основі отриманих енергетичних та структурних даних досліджуваних систем побудовано залежності енергій взаємодії в системі C<sub>n</sub>/W від відстані сорбат-сорбент в обох розглядуваних положеннях атома вольфраму по відношенню до кластера поверхні електрода (положення *on top* та *hollow*). Отримані результати на якісному рівні можуть бути сформульовані в загальні закономірності для всіх можливих аналогічних (молібдено-, тантало-, ніобієвмісних) систем.

**Ключові слова:** вольфраматовмісний розтоп, поверхня електрода, електрохімічно активний комплекс, енергія адсорбції.

**Ludmila SOLYANIK**

PhD in Chemistry, Senior Researcher, A.V. Dumansky Institute of Colloid and Water Chemistry, 42 Vernadsky Academician Avenue, Kyiv, 03142, Ukraine

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-2661-9392>**SCOPUS-AUTHOR ID:** 36903008700**Serhii STAVROIANI**

PhD, "Institute of Innovative Education of Kyiv National University of Construction and Architecture", Osvity str., 4, Kyiv, Ukraine, 03037

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0001-9315-7493>

**To cite this article:** Solyanik, L., Stavroiani, S. (2023). Kvantovo-khimichne modeliuвання peretvoren EAK volframatovmisnykh roztopiv na poverkhni sklovuhletsevoho elektroda [Quantum-chemical simulation of EAC transformations of tungsten-containing melts on the surface of a glossy carbon electrode]. *Physics and Educational Technology*, 2, 45–48, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-6>

## QUANTUM-CHEMICAL SIMULATION OF EAC TRANSFORMATIONS OF TUNGSTEN-CONTAINING MELTS ON THE SURFACE OF A GLOSSARY CARBON ELECTRODE

*In this paper, a quantum-chemical study of the adsorption processes of individual tungsten atoms on a glassy carbon surface was carried out. The prerequisite for conducting this study was the study of the mechanism of formation of electrochemically active particles in a reaction medium (tungstate-containing melt) with their subsequent electroreduction on the surface of a glassy carbon electrode. The work uses the quantum chemical method of density functional theory (DFT). The DFT calculation of the adsorption energy of tungsten on the electrode surface and the calculation of the structural and charge characteristics of the studied systems were performed. The surface of the glassy carbon electrode in the work is presented in the form of a carbon cluster, which consists of two layers of carbon saturated with hydrogen atoms to eliminate edge effects. Two positions of the tungsten atom relative to the surface of the electrode were established – the top position (on top) and the hollow position (hollow). The stability of the obtained configurations was evaluated on the basis of the obtained values of total energies. It was found that the top position (on top) with the adsorption energy  $E_{ads} = -7.08$  eV/atom and one W-C bond is less stable, while the adsorption energy in the (hollow) position is  $-8.33$  eV/atom. It is assumed that the hole position (on top) can be the center of nucleation of tungsten atoms. However, upon relaxation, the W atom can move from the specified position to the position of available vacancies. Based on the obtained energy and structural data of the investigated systems, the dependence of the interaction energies in the Cn/W system on the sorbate-sorbent distance in both considered positions of the tungsten atom in relation to the cluster of the electrode surface (on top and hollow positions) was constructed. The obtained results at the qualitative level can be formulated into general patterns for all possible similar (molybdenum-, tantalum-, niobium-containing) systems.*

**Key words:** Tungsten-containing melt, electrode surface, electrochemically active complex, adsorption energy.

**1. Актуальність проблеми.** Останнім часом спостерігається стійке зростання споживання і постійне розширення областей застосування тугоплавких металів, зокрема вольфраму (Зборщик, 2008). Цим пояснюється зростаючий інтерес до вивчення їх поведінки в реакційних середовищах та в приелектродному шарі. Для технологічного процесу одержання якісних покриттів на поверхні електрода спостерігається дефіцит даних, особливо у високотемпературній області, та глибоке розуміння природи й механізму спостережуваних явищ (Зборщик, 2008 – Лу, 2015). З огляду на це можна вважати, що для вивчення фундаментальних питань, пов'язаних з комплексоутворенням в об'ємній фазі розтопу та процесів електровідновлення на міжфазній межі, більш надійним є застосування квантовохімічних методів дослідження.

**2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Раніше в роботі (Solianuk, 2022) методами квантової хімії було проведено розрахунок енергії реорганізації в рамках моделі провідних еліпсоїдів, що узагальнює модель Маркуса для випадку, коли реагенти мають істотно несферичну форму. Виявлено, що величина енергії реорганізації розчинника майже не змінюється на всьому інтервалі відстаней між

поверхнею електрода та реагентом, та суттєво зменшується зі збільшенням заряду реагента. На основі аналізу величин енергій активації та енергій верхніх заповнених та нижніх вакантних молекулярних орбіталей взаємодіючих структур було зроблено висновок про суттєву роль катіонного складу електроліту в процесах електровідновлення на катоді. В роботі (Solianuk, 2022) сформовано умови виникнення поверхневої провідності діелектрика в сольовому розтопі. Зроблено припущення, що підбір складу електроліту дозволяє керувати швидкістю окисно-відновних реакцій на міжфазній межі електрод/розтоп без попередньої металізації діелектрика.

**3. Основні результати.** Як впливає з (Solianuk, 2022) для реалізації спільного електровідновлення карбону та вольфраму при високотемпературному електрохімічному синтезі карбідів вольфраму необхідна наявність сильно поляризованих катіонів  $Li^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , тобто перебіг гетерогенних red|ox-реакцій можливий лише для частинок  $\{M_n^{m+}[WO_4]^{2-}\}_{(nm-2)^+}$  у присутності  $CO_2$ , що на практиці дозволяє здійснювати спільне електровідновлення суміщенням потенціалів виділення карбону і вольфраму, змінюючи кислотність розтопу (каті-



онний катализ), і водночас змінювати фазовий склад та структуру продуктів електролізу.

При моделюванні електрохімічних реакцій для вольфраматвмісних систем має важливе значення вивчення адсорбції окремих атомів вольфраму.

Розрахунки проводилися квантовохімічними методами HF, MP2, DFT за допомогою програмного пакета GAMESS/FireFly та візуалізатора ChemCraft (Granovsky, 2023). Основним завданням в роботі було порівняльне квантово-хімічне дослідження процесу адсорбції вольфраму у вершинну (on top) та лункову (hollow) позиції на бездефектній скловуглецевій поверхні (рис. 1).

Структура поверхні електроду взята з (Соловійов, 2004). Такий підхід дозволяє, на наш погляд, певною мірою виявити відносний внесок структурного (орієнтація грані) та координаційного (адсорбційна позиція) факторів у формуванні хемосорбційного зв'язку, що супроводжується частковим переносом заряду. У даній роботі величину енергії адсорбції вольфраму на поверхні електроду було розраховано як:  $E_{\text{адс}} = E(\text{пов+W}) - E(\text{пов}) - E(\text{W})$ , де  $E(\text{пов})$  – енергія поверхні електроду, що моделюється кластером, а  $E(\text{W})$  – енергія атома вольфраму.

Результати DFT-розрахунків енергії адсорбції наведено у табл. Тут же вказані вертикальні дистанції між адсорбатом та верхніми шарами атомів поверхні. Довжину хемосорбційного зв'язку W-C визначали шляхом мінімізації зміни енергетичного процесу  $C_n + W \rightarrow C_n W$  функції  $R(W-C)$ . Приклад такої оптимізації відображено на рис. 2. При цьому  $R(W-C)$  оцінювали як відстань між центром атома W і площиною, що проходить через центри атомів C

у верхньому шарі кластера. Аналіз результатів дослідження дозволяє відзначити, що в лунковій позиції (hollow) атом вольфраму найбільш стійкий, має три W-C зв'язки (при довжині зв'язку  $R(W-C) = 2,02 \text{ \AA}$ ) металевого типу і характеризується енергією адсорбції  $E_{\text{адс}} = -9,49 \text{ еВ/атом}$ . Ця величина  $E_{\text{адс}}$ , на наш погляд, може бути достатньою для утворення міцного W-C-зв'язку, що буде показано нижче. Менш стійкою, як показують розрахунки, є вершинна позиція (on top) з енергією адсорбції  $E_{\text{адс}} = -7,08 \text{ еВ/атом}$  та одним W-C-зв'язком. Величина  $E_{\text{адс}} = -8,33 \text{ еВ / атом}$  дає нам основу для припущення про те, що позиція (hollow) може бути центром нуклеації атомів W на ранніх стадіях. Варто зазначити, що при релаксації атом W з указаної позиції може зміщуватись в положення наявних вакансій.

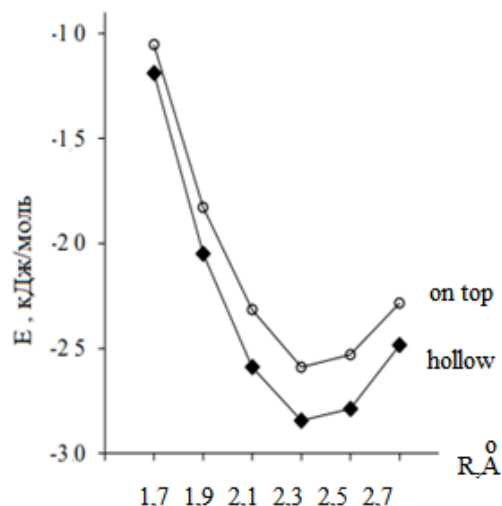


Рис. 2. Зміна енергії взаємодії в системі  $C_n W$  в функції відстані сорбат-сорбент (положення on top та hollow)

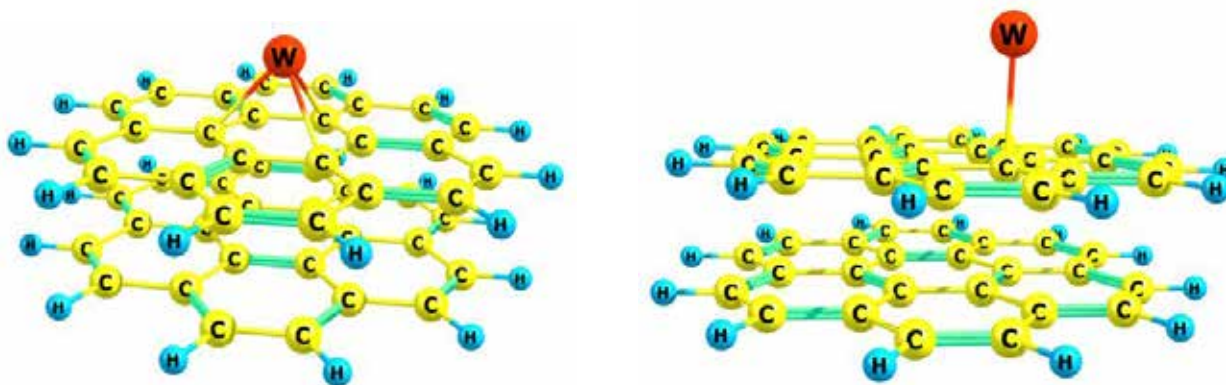


Рис. 1. Розрахункова модель поверхні та зв'язуючі позиції атома вольфраму a) hollow; b) on top

Для кращого розуміння процесів хемосорбції слід вивчити розподіл ефективних зарядів на атомі W та атомах найближчого оточення С. Результати DFT-розрахунків ефективних зарядів на атомах W та С для розглянутих конфігурацій наведено також у табл.

Таблиця  
**Величини міжатомних зв'язків W–С, енергії адсорбції та ефективних зарядів на атомах адсорбата та адсорбента**

Позиція	R(W–C), Å	$E_{\text{але}}$ , еВ/атом	Ефективний заряд, e
hollow	2,02	-9,49	-2,00
on top	2,203	-8,33	-1,752

Як показали результати розрахунку, заряд перерозподіляється з поверхні елек-

трода на атом вольфраму в більшій мірі в позиції hollow атома вольфраму, ніж on top, що підтверджується величинами енергії адсорбції.

**3. Висновки.** Таким чином, використання квантово-хімічного моделювання процесів адсорбції атома вольфраму на скловуглецевій поверхні дозволяє виявити найбільш вигідну позицію (hollow) атома вольфраму. На основі отриманих результатів зроблено припущення про ймовірні центри нуклеації атомів W на ранніх стадіях. Це доповнює результати аналітичних розрахунків величин струмів обміну (Соляник, 2022). Припущення, що при релаксації атом W з указаної позиції може зміщуватись в положення наявних вакансій є предметом наступних наших статей.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Зборщик А.М. Тугоплавкі метали. Запоріжжя: ЗНУ, 2008. 253 с. URL: <http://uas.su/books/newmaterial/8/razdel8.php/>.
2. Zhang Y.O. Microstructures and properties of high-entropy alloys. *Progress in Mater. Sci.* 2014. № 61.
3. Lu Z. P. An assessment on the future development of high-entropy alloys: Summary from a recent workshop. *Intermetallics*. 2015. № 66.
4. Solianyuk L.O. The influence of nano-size active particles of a melt and an electrode surface on the processes of charge transfer on interfacial boundary electrode/melt. *J. Nano-Electron. Phys.* 2022. № 14. P. 06030-1–06030-3.– URL: [https://doi.org/10.21272/jnep.14\(6\).06030](https://doi.org/10.21272/jnep.14(6).06030).
5. Firefly and PC GAMESS /Firefly version 8.0.1. Access mode. Alex A. Granovsky. URL: <http://classic.chem.msu.su/gran/games/forum/discussion.html/>.
6. Соловійов В.В., Черненко Л.О. Моделювання поверхні твердого тіла в рамках кластерного наближення. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2004. № 5. С. 488-492.
7. Соляник Л.О. Реакції електронного переносу на межі «поверхня твердого тіла-розтоп» при синтезі наноматеріалів в умовах катіонного каталізу. *Фізика та освітні технології*. 2022. № 2. С. 39-44.

#### REFERENCES:

1. Zborshchuk A.M. (2008). Tuhoplavki metaly [Refractory metals]. (n.d.). *Newmaterial.php* [Retrieved from <http://uas.su/books/newmaterial/8/razdel8.php/>] [in Ukrainian].
2. Zhang Y.O. (2014). Microstructures and properties of high-entropy alloys [Microstructures and properties of high-entropy alloys]. *Progress in Mater. Sci.* 61, 1-93 [in English].
3. Lu Z. P. (2015). An assessment on the future development of high-entropy alloys: Summary from a recent workshop [An assessment on the future development of high-entropy alloys: Summary from a recent workshop] *Intermetallics*, 66, 57-76 [in English].
4. Solianyuk L.O. (2022). The influence of nano-size active particles of a melt and an electrode surface on the processes of charge transfer on interfacial boundary electrode/melt [The influence of nano-size active particles of a melt and an electrode surface on the processes of charge transfer on interfacial boundary electrode/melt]. *J. Nano-Electron. Phys.* 14, 06030-1 – 06030-3. Retrieved from [https://doi.org/10.21272/jnep.14\(6\).06030](https://doi.org/10.21272/jnep.14(6).06030) [in English].
5. Granovsky A.A.(2023). Firefly and PC GAMESS / Firefly version 8.0.1. Access mode. Retrieved from <http://classic.chem.msu.su/gran/games/forum/discussion.html/>.
6. Solovyov V.V. & Chernenko L.O. (2004). Modeling of the surface of a solid body within the framework of the cluster approximation [Modeling of the surface of a solid body within the framework of the cluster approximation] *Physics and chemistry of the solid state*. 5, 488-492 [in Ukrainian].
7. Solyanyuk L.O. (2022). Electron transfer reactions at the "solid surface-melt" interface during the synthesis of nanomaterials under the conditions of cationic catalysis [Electron transfer reactions at the "solid surface-melt" interface during the synthesis of nanomaterials under the conditions of cationic catalysis]. *Physics and educational technologies*. 2, 39-44 [in Ukrainian].



УДК 372.51

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-7>

**Олена ТРИФОНОВА**

доктор педагогічних наук, доцент, доцент кафедри природничих наук і методик їхнього навчання, Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка, вул. Шевченка 1, м. Кропивницький, Україна, 25006, e-mail: olenatrifonova82@gmail.com

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-6146-9844>

**SCOPUS-AUTHOR ID:** 57217117658

**Микола САДОВИЙ**

доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри технологічної та професійної освіти, Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка, вул. Шевченка 1, м. Кропивницький, Україна, 25006, e-mail: smikdri@i.ua

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0001-6582-6506>

**SCOPUS-AUTHOR ID:** 57217117696

**Бібліографічний опис статті:** Трифонова, О., Садовий, М. (2023). Методика формування просторово-часових уявлень та сучасних матеріалів у навчанні фахових дисциплін та інженерно-педагогічних дослідженнях. *Фізика та освітні технології*, 2, 49–56, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-7>

**МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ УЯВЛЕНЬ ПРО ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ПАРАМЕТРИ ТА СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ У НАВЧАННІ ФАХОВИХ ДИСЦИПЛІН ТА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ**

Стаття присвячена дослідженню науково-педагогічних детермінант становлення та розвитку світоглядної складової наукових досліджень в сфері природничих, технологічних та професійних галузей знань, обґрунтуванню наукового світорозуміння новітніх досягнень науки, шляхів впровадженню результатів дослідження в практику. Детально проаналізовано фундаментальні поняття часу та простору починаючи з часів Архімеда-Арістотеля, показана їхня еволюція у класичній фізиці Галілея-Ньютона, Фарадея-Максвелла. Зроблено акцент на ролі загальної теорії відносності та квантової фізики у перегляді сутності понять часу та простору, а відповідно перегляду світоглядної наукової картини світу.

Акцентовано увагу на тому, що суспільна свідомість не повинна пугати зворотні процеси у фізиці з ходом часу від минулого до нинішнього та до майбутнього з гносеологічної точки зору. Підкреслено, що починаючи з середини ХХ століття наукові дослідження дали можливість виготовляти вироби з новими властивостями, відмінними від традиційних, що в свою чергу впливає на формування наукового світогляду суспільства.

Мета дослідження: проаналізувати методологію розвитку та трансформації природничих знань, запропонувати методику формування уявлень про просторово-часові параметри та сучасні матеріали у навчанні фахових дисциплін та інженерно-педагогічних дослідженнях.

За результатами дослідження встановлено, що починаючи з середини ХХ століття наукові дослідження дали можливість виготовляти вироби з новими властивостями, відмінними від традиційних. У цьому випадку перед суб'єктами навчання постає завдання здійснити переворот у їхньому світогляді в частині психологічної готовності до сприйняття нових, відмінних від традиційних знань. Ці погляди нерідко можуть мати неймовірний світоглядний вектор близький до протилежного кута точки зору до давно впроваджених і перевіреною практикою наукових, філософських поглядів, які визначають ставлення людини до навколишньої дійсності, до себе, до Планети Земля, до Всесвіту, до Метагалактики.

**Ключові слова:** науковий світогляд, час, простір, матеріали з новими властивостями.

**Olena TRYFONOVA**

Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Natural Sciences and their Teaching Methods of Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University, St. Shevchenko 1, Kropyvnytskyi, Ukraine, 25006, e-mail: olenatrifonova82@gmail.com

**ID ORCID:** 0000-0002-6146-9844

**SCOPUS-AUTHOR ID:** 57217117658

**Mykola SADOVYI**

*Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Technological and Professional Education of Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University, St. Shevchenko 1, Kropyvnytskyi, Ukraine, 25006, e-mail: smikdpu@i.ua*

**ORCID ID:** 0000-0001-6582-6506

**SCOPUS-AUTHOR ID:** 57217117696

**To cite this article:** Sadovyi, M., Tryfonova, O. (2023). Metodyka formuvannya uyavlen pro prostorovo-chasovi parametry ta suchasni materialy u navchanni fakhovykh dystsyplyn ta inzhenerno-pedahohichnykh doslidzhennyakh [The method of forming ideas about space-time parameters and modern materials in the teaching of professional disciplines and engineering-pedagogical research]. *Physics and Educational Technology*, 2, 49–56, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-7>

## THE METHOD OF FORMING IDEAS ABOUT SPACE-TIME PARAMETERS AND MODERN MATERIALS IN THE TEACHING OF PROFESSIONAL DISCIPLINES AND ENGINEERING-PEDAGOGICAL RESEARCH

*The article is devoted to the study of the scientific and pedagogical determinants of the formation and development of the worldview component of scientific research in the field of natural, technological and professional fields of knowledge, the justification of the scientific worldview of the latest achievements of science, ways of implementing the research results into practice. The fundamental concepts of time and space are analyzed in detail starting from the time of Archimedes-Aristotle, their evolution in the classical physics of Galileo-Newton, Faraday-Maxwell is shown. Emphasis is placed on the role of the general theory of relativity and quantum physics in revising the essence of the concepts of time and space, and, accordingly, revising the global scientific picture of the world.*

*Attention is focused on the fact that public consciousness should not confuse reverse processes in physics with the passage of time from the past to the present and to the future from an epistemological point of view. It is emphasized that starting from the middle of the 20th century, scientific research made it possible to manufacture products with new properties, different from traditional ones, which in turn affects the formation of the scientific worldview of society.*

*The purpose of the research: to analyze the methodology of development and transformation of natural science knowledge, to propose a method of forming ideas about space-time parameters and modern materials in the teaching of professional disciplines and engineering-pedagogical research.*

*The results of the study showed the following. Starting from the middle of the 20th century, scientific research made it possible to manufacture products with new properties, different from traditional ones. In this case, the subjects of training face the task of making a revolution in their worldview in terms of psychological readiness to perceive new, different from traditional knowledge. These views can often have an incredible worldview vector. This vector is close to the opposite point of view to the scientific and philosophical views long established and proven by practice, which determine the attitude of a person to the surrounding reality, to himself, to Planet Earth, to the Universe, to the Metagalaxy.*

**Key words:** scientific outlook, time, space, materials with new properties.

**Актуальність проблеми.** Кожної історичної епохи природознавство виконувало функцію реалізації на практиці тієї чи іншої частини об'єктивної реальності, що виділялася наявними на той час емпіричними і теоретичними засобами. У науково-узагальнюючому аспекті така реальність сконцентрувалася науковцями в науковій картині світу (НКС). Аналіз досліджень П. С. Атаманчука, О. В. Бугайова, М. В. Головка, С. У. Гончаренка, Л. Р. Ігнатова, І. К. Лебедева, О. І. Ляшенка, А. І. Махінько, М. І. Садового, О. М. Трифонові, В. Д. Шарко, М. І. Шута та ін. (Головка М.В., 2020; Гончаренко С.У., 2010; Лебедев І.К., Ігнатова Л.Р., Махінько А.І., 2021; Садовий М.І., Трифо-

нова О.М., 2013) показав, що були закладені загальні основи формування світоглядної складової НКС, проте недостатньо приділено уваги світоглядній сутності явищ і процесів, що розглядаються в природничій галузі. Нині має місце нове осмислення природничої науки, де фізика постає як фундамент загальнолюдської культури та методологія з реалізації особистості у плином у світі. Світоглядний потенціал природознавства ще не в повній мірі знаходить своє місце в освітньому процесі. Це пояснюється тим, що в теорії та структурі природничої наукової картини світу ця проблема майже не розглядається. Її тривалий час намагаються замінити загальнонауковою картиною світу, що значно обмежує нинішні погляди на

проблему.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В історії природознавства В. С. Стюпін здійснив філософське обґрунтування зміни наукових картин світу і розглядав цей процес як глобальні революції.

Засоби, що несуть ефективну світоглядну функцію у методах навчання розглянули Н. В. Шаронова та Н. Є. Важеєвська.

С. В. Каламбет, С. І. Іванов, Ю. В. Півняк досліджували методологічні проблеми обґрунтування суперечливих їх результатів.

В. А. Вершина, О. В. Михайлюк дослідили такі функції наукових досягнень як описування, пояснення, розуміння і передбачення.

В. С. Антонюк, Н. І. Бурау, Д. О. Півторак розглянули основи сучасної методології науки, сукупності методів і технологій спрямованих на розробку нових і вдосконалення існуючих засобів і технологій автоматизації.

Високо оцінюючи здобутки вказаних дослідників виокремлюється проблема подальшого розгляду світоглядного обґрунтування наукових здобутків, які нерідко діаметрально протилежні традиційним.

**Мета дослідження:** проаналізувати методологію розвитку та трансформації природничих знань, запропонувати методику формування уявлень про просторово-часові параметри та сучасні матеріали у навчанні фахових дисциплін та інженерно-педагогічних дослідженнях.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Природничі науки і, зокрема фізика, складають фундамент класичної науки і ґрунтуються на механіці Галілея-Ньютона та електродинаміці Фарадея-Максвелла. За законами класичної фізики створено все, що є на нашій Планеті: будівлі, космічні кораблі, військова техніка та ін. Лише у другій половині ХХ ст. почала зароджуватися технологія використання мікропроцесів, а відповідно покладено початок переходу до реалізації квантової наукової картини світу, яка надзвичайно пов'язана з методологічною світоглядністю.

Загальновідомо, що будь-яка теорія, НКС будується з відправної точки. У класичній механіці такою точкою є світоглядні абсолютні та відносні поняття. Простір, час, маса визначені абсолютними, а швидкість, імпульс – відносними. Особливостями є те, що абсолютні та відносні величинами вводилися без взаємо-

зв'язку. Не передбачалося зв'язку простору та часу і з рухом матеріальних тіл. Передача взаємодії відбувається миттєво. Виходячи з цих постулатів будувалися картини світу: теплороду, механістична, молекулярно-кінетична, електромагнітна, фізична, хімічна, біологічна та ін. (Садовий М.І., Трифонова О.М., 2013). Такий підхід однобічно сприйняв теоретичні побудови Анаксагора-Арістотеля, а також теорію імпетуса. Впродовж тривалого часу задовольнялися філософські потреби механістичного світогляду. Світоглядну складову основ класичної механіки досліджували О. І. Бугайов, С. І. Вавілов, С. У. Гончаренко, М. В. Головкин, В. В. Мултановський, В. Ф. Заболотний та ін.

Значна частина їхнього доробку реалізована у сучасних підручниках для закладів загальної середньої освіти Т. М. Засекіною, В. Д. Сиротком, В. Я. Гайдою, М. В. Головкин, М. Т. Мартинюком, О. І. Ляшенко та ін. Наші спостереження за реальним використанням результатів їхніх досліджень за наслідками виконання завдань ЗНО чи національного мультипредметного тесту з природничих наук показали, що в здобутках домінує безвідносність, як до простору і часу, так і до руху тіл. Є фактом обмежена нестача методологічної світоглядності. Крім цього, має місце суперечність у розвитку фізичних процесів та явищ, де має місце теорема додавання швидкостей, і де та межа, коли втрачається зміст цієї теореми в зв'язку з обмеженістю швидкості світла. Світоглядна складова не розкрита.

Важливе місце у природничих науках має узагальнення їхнього змісту у вигляді шкали пружних, гравітаційно-капілярних та електромагнітних хвиль (рис. 1). Звернемо увагу на поведінку швидкості, на її поведінку при переході до величини  $3 \cdot 10^8$  м/с, та як із розмірами вібраторів змінюються властивості випромінювання. Тут простежуються світоглядні закономірності, які слід пояснити при формуванні НКС.

Таким чином, виникає методологічна трудність, що впливала з факту неможливості пояснити явища максимальної швидкості передачі руху від одного тіла до іншого обмеженого величиною швидкості світла, розв'язання якої сприяло створенню спеціальної теорії відносності (СТВ).

У посібниках і діючих підручниках не розглядається світоглядне значення СТВ, яка від-

Вид хвиль	Механіка Ньютона			Теорія Максвелла	Термодинаміка	Квантова теорія			
	Інфра-звук	Звук	Ультразвук			Електромагнітні хвилі, радіохвилі	Інфрачервоні промені	Видиме світло	Ультрафіолетові
Швидкість	Неперервне наростання починаючи з нуля			Постійне значення $3 \cdot 10^8$ м/с					
Частота (Гц)	0 - 16	16 - $2 \cdot 10^4$	$10^4$ - $10^7$	$10^4$ - $10^{12}$	$10^{12}$ - $10^{14}$	$10^{14}$	$10^{14}$ - $10^{16}$	$10^{16}$ - $10^{19}$	$10^{18}$ - $10^{30}$
Ширина смуги, Гц	16	$10^4$	$10^3$	$10^8$	$10^2$	10	$10^2$	$10^3$	$10^{12}$
Енергія квантів (Дж)				$2 \cdot 10^{-21}$ - $2 \cdot 10^{-29}$	$2 \cdot 10^{-21}$ - $2,6 \cdot 10^{-19}$	2,6 - $5,3 \cdot 10^{-19}$	$5,3 \cdot 10^{-19}$ - $4 \cdot 10^{-17}$	$4 \cdot 10^{-17}$ - $2 \cdot 10^{-14}$	$1,5 \cdot 10^{-15}$ - $2 \cdot 10^{-3}$
Імпульс (Дж/с)				$6,6 \cdot 10^{-34}$	$6,6 \cdot 10^{-28}$	$1,3 \cdot 10^{-27}$	$6,6 \cdot 10^{-27}$	$6,6 \cdot 10^{-25}$	$6,6 \cdot 10^{-20}$
Маса (кг)	Макротіло		Кристал	$2,2 \cdot 10^{-42}$	$2,2 \cdot 10^{-36}$	$4,4 \cdot 10^{-36}$	$2,2 \cdot 10^{-35}$	$2,2 \cdot 10^{-33}$	$2,2 \cdot 10^{-28}$
Вібратор	Розміри і маса зменшуються			Рухомі заряди, змінні струми.	Заряджені частинки, кристал	Електрони верхні шари	Електрони атом	Електронні нижні шари атом	Елементарні частинки ядро
Поширення	Поширюються в середовищі			Поширюються в середовищах та вакуумі					

Рис. 1. Шкала пружних, гравітаційно-капілярних та електромагнітних хвиль

носиться до класичної фізики, але де, образно кажучи, абсолютні та відносні величини помінялися місцями.

Можна зробити висновок, що абсолютного часу й абсолютного простору, тобто безвідносності їх до руху матеріальних тіл не існує. Простір і час є формами існування рухомої матерії. Викладене має безпосереднє відношення до формування будь-якої світоглядної складової НКС.

Важливим поняттям кожної НКС є поняття часу, визначальною характеристикою якого є спрямованість від минулого до нинішнього, а далі до майбутнього. Ця проблема до цього часу достатньо не вивчена й у фізиці, й у філософії, а відповідно й її світоглядна спрямованість. Незаперечно, СТВ є світоглядною сучасною фізичною теорією простору і часу. Швидкість світла є граничною швидкістю передачі взаємодії. Ця постійність показує, що причинний зв'язок між явищами не може існувати без певної координатії цих явищ у просторі та часі. Причинно пов'язаними є лише ті явища, які знаходяться у певній просторовій і часовій

залежності.

Світоглядне значення СТВ полягає в тому, що вона теоретично доводить граничність швидкості світла крім експериментально встановленого.

Таке доведення полягає у наступному. Маємо дві події *A* та *B*. Вони будуть зв'язані між собою, коли промінь світла за проміжок часу  $\Delta t$  між цими подіями проходить відстань  $l = c \cdot \Delta t$  більшу чи рівну між цими подіями. Інакше такі події не можуть бути пов'язаними між собою через великі відстані між ними та малі проміжки часу між подіями. Тобто якщо просторова відстань *L* між подіями *A* та *B* буде більшою за відстань  $l = c \cdot \Delta t$ , то існують системи відліку, в яких *A* передувє *B* чи *A* та *B* існують одночасно. Якщо припустити, що об'єкт *A* рухається швидше за *c* відносно деякої інерційної системи координат (червона), то в іншій системі координат (зелена) він би рухався назад у часі, що порушує принцип причинності (Каку Michio, 2023).

Так як наукові дослідження вийшли за межі нашої Планети доцільно окреслити властивості

того, що за її межами. В дослідженнях нерідко ототожнюють поняття Метагалактики та Всесвіту. Розглядається поняття розширення, але що саме розширюється Мегагалактика чи Всесвіт? У цьому плані слід уточнити, що таке Всесвіт (видима, досяжна для астрономічних досліджень частина всього), а що таке Метагалактика (містить декілька мільярдів галактик). В. О. Амбарцумян та його послідовники зробили висновок, що в наукових колах нерідко ототожнюється поняття Всесвіту та Метагалактики і заміняють розширення Метагалактики розширенням Всесвіту. Така неоднозначність пояснюється різними поглядами на методи використання математичного апарату теорії тяжіння Ейнштейна. Деякі дослідники зробили теоретично спрощені схеми з розширення «моделі Всесвіту Фрідмана» (а не Метагалактики). Також прийшли до висновку, що близько 10 млрд. років тому Всесвіт мав радіус рівний нулю. Проте дослідженнями доведено, що початковий момент еволюції Метагалактики не є якимось абсолютним нулем початку всього, а є моментом виникнення проторечовини, з якої виникли відомі нам форми матерії, як це видно з моделі Великого вибуху (Fock V.A., 2004).

Ми розглянули гносеологічний зміст поняття часу та простору Архімеда, якою користуються і нині. Проте вчені ввели і поняття фізичного часу та простору, тобто руху від теперішнього до минулого. У цьому плані актуальною є думка В. О. Фока як автора квантової механіки, та його послідовників, які вважають, що до наукового фізичного поняття простору і часу можна підійти, виділивши, шляхом абстракції, співвідношення між подіями матеріального світу просторово-часових сторін.

У загальній теорії відносності час також

є відносним і динамічним пов'язаним із просторовими змінами, що в результаті приводить до чотиримірному простору-часу. Такий простір викривляється при взаємодії з речовиною, сповільнюючи хід часу. Хід часу в різних гравітаційних полях може бути різним. Це означає, що на поверхні Землі час протікає повільніше, ніж та на високій горі, на орбіті. В теоретичній механіці, як і у класичній фізиці час є універсальним і абсолютним, але квантові системи можуть рухатися в різні сторони як вперед, так і назад в часі (рис. 3) (Wong Henry, 2020).

У цьому зв'язку новітні відкриття у природничих дисциплінах ХХ ст. привели вчених до висновку про існування від'ємних фізичних величин, коли процес здійснюється у зворотному напрямку. Започаткував поняття оберненість часу Р. Фейнман. Вчений оперував станами з від'ємною енергією в теорії електронів Дірака, де рух електронів носить зворотній характер за часом подібно позитрону, для якого такий рух є природним (Fock V.A., 2004).

Досить ґрунтовно поняттям від'ємного часу та енергії оперував І. Є. Тамм.

О. О. Соколов, досліджуючи не збереженість парності при слабких взаємодіях, також користувався поняттям зворотності часу.

Таким чином, незаперечно, що інверсія часу в фізичних процесах має місце. Постає проблема більш детально в методиці навчання природничих дисциплін уточнити дане світоглядне поняття, зокрема, під час навчання НКС. Цю проблему в значній мірі можна розкрити здійснивши аналіз структурної моделі стріли часу (рис. 4) (Садовий М.І., Трифонова О.М., 2017). Важливо акцентувати увагу на те, що суспільна свідомість не повинна плутати зворотні процеси у фізиці з ходом часу від минулого до

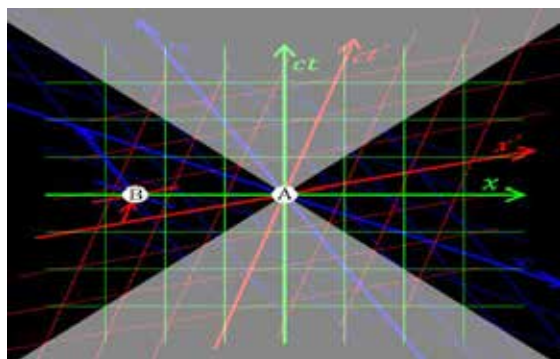


Рис. 2. Обмеженість швидкості світла



Рис. 3. Напрямки часу в квантовій теорії

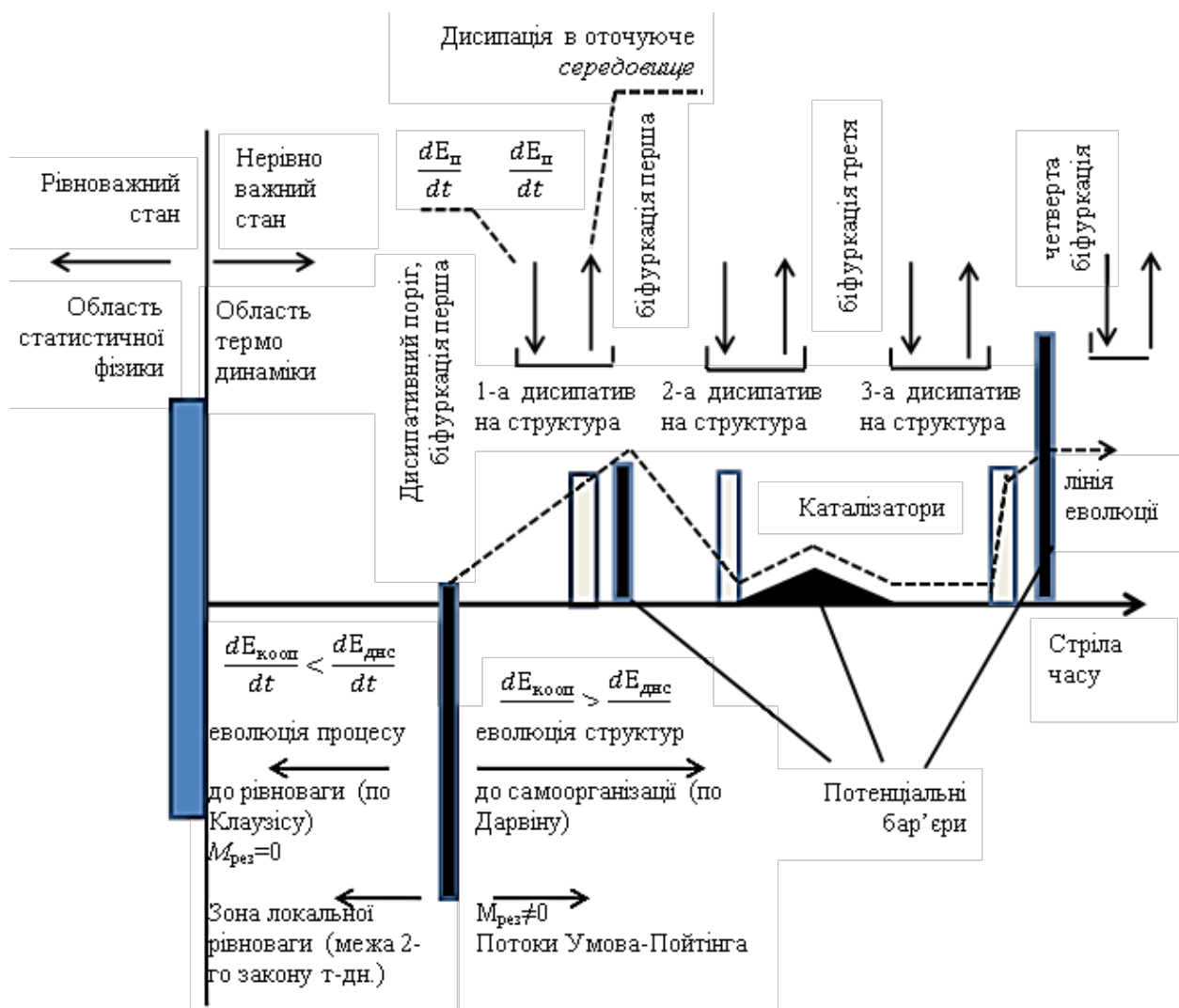


Рис. 4. Структурна схема стріли часу

нинішнього та до майбутнього з гносеологічної точки зору. Якщо при розв'язках рівнянь фізичних моделей заміна  $t$  на  $-t$  можлива, але тут слід звертати увагу на задання початкових умов.

Поняття зворотності властиве і для фізичних процесів у різних галузях. Фізика та хімія матеріалознавства здавна покликані створювати нові та поліпшувати звичні у практиці матеріали, вдосконалюючи їхні властивості. Таке удосконалення варте увазі, коли воно здійснюється за рахунок знайдення нового результату як у теоретичному, так і у практичному ракурсах.

Для прикладу розглянемо поняття форми пам'яті відкрите у 1949 р. Г. В. Курдюмовим. Сутність процесу в тому, що для деяких сплавів при литті чи гарячому куванні виготовляється певний виріб. Цю форму виріб зберігає за низьких температур. При цьому є характерною критична температура для кожного

сплаву, нижче якої сплав легко деформується. Але якщо деформований виріб дещо нагріти, то він самостійно повертається до попередньої форми (Ефект пам'яті форми, 2017).

Перше промислове впровадження такого матеріалу кріофітінгу для з'єднання трубопроводів військових літаків здійснено у США (Ефект пам'яті форми, 2017).

Нині США, Японія, Бельгія, Німеччина, Франція та ін. впродовж року накопичують близько 5 тонн напівфабрикатів і готових виробів, що виготовлені з металевих сплавів, які володіють ефектом пам'яті форми. Найбільш поширеним є сплавів типу NiTi (Ефект пам'яті форми, 2017).

У 1957 р. Д. В. Сивухін за результатами дослідження поширення електромагнітної хвилі у диспергуючому середовищі з від'ємним значенням діелектричної та магнітної проникності встановив хвильовий вектор розповсюдження



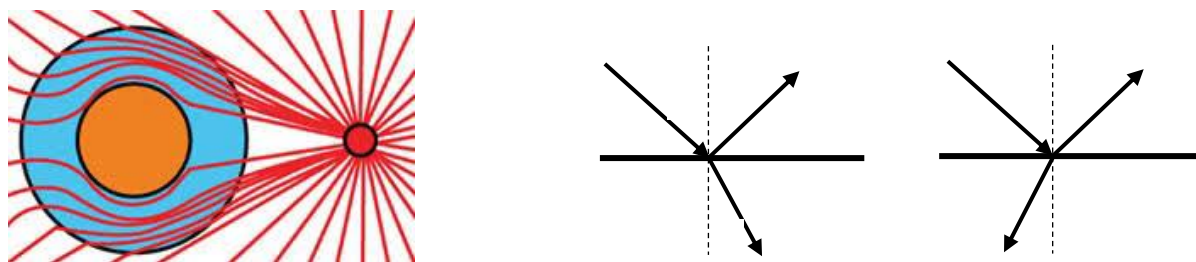


Рис. 5. Модель поведінки речовини з від'ємним показником заломлення

спрямований до межі розподілу протилежно вектору групової швидкості. Отже, у випадку від'ємного заломлення двох променів має бути від'ємна фазова швидкість відносно групової (Fock V.A., 2004; Kaku M., 2004).

Дослідник В. Г. Веселаго у 1967 р. відійшов від традиційно встановленого факту, що діелектрична проникність набуває лише додатніх значень. Із появи антимагнетиків стала відомою від'ємна магнітна проникність. Вчений припустив можливість від'ємної діелектричної проникності, створив схему лінзу для об'ємного зображення великою роздільною здатністю (порядку 200 нанометрів). Плоска плівка речовини з  $\epsilon = -1$  та  $\mu = -1$  названа лінзою. Вона переносить зображення з однієї точки простору в іншу. В ній немає фокальної площини. Реакція середовища на хвильове збурення складає 1. В цьому випадку від поверхні відсутнє відбиття. Вся енергія падаючої хвилі переходить у заломлюючу хвилю (Veselago V., Braginsky L., Shklover V., Hafner C., 2006).

У підручниках і посібниках при вивченні поширення світла у різних середовищах фазову та групову швидкості описують поверхово без акценту на їхню сутність. Варто звернути увагу на те, що енергія завжди передається в одну сторону від випромінювача. Важливо наголосити, що тиск випромінювання може передаватися по різному. У вакуумі в одному напрямку. Коли маємо речовину, то може мати місце, що приймач має відчуття притягання випромінювання до нього. Тоді логічно має місце від'ємне заломлення. Раз має місце притягання, то швидкість глянутих проблем.

має зворотній напрямком.

Таким чином, коли речовина має від'ємний показник заломлення, то заломлений промінь буде відхилятися за зворотнім напрямком відносно до звичайного випадку. Тривалий час теоретичні доведення В. Г. Веселаго залишалися незатребуваними. Речовини з від'ємним показником заломлення створили лише у 2000 р. Нині є зразки виробів, коли світло обходить предмет і він стає невидимим (рис. 5).

Канадська компанія «Hyperstealth Biotechnology» запатентувала матеріал Quantum Stealth, який має від'ємний показник заломлення і в результаті перетворює світло так, що предмети, люди стають невидимими (Fock V., 2004).

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Таким чином, починаючи з середини ХХ століття наукові дослідження дали можливість виготовляти вироби з новими властивостями, відмінними від традиційних. У цьому випадку перед суб'єктами навчання постає завдання здійснити переворот у їхньому світогляді в частині психологічної готовності до сприйняття нових, відмінних від традиційних знань. Ці погляди нерідко можуть мати неймовірний світоглядний вектор близький до протилежного кута точки зору до давно впроваджених і перевіреною практикою наукових, філософських поглядів, які визначають ставлення людини до навколишньої дійсності, до себе, до Планети Земля, до Всесвіту, до Метагалактики. Дослідження варто продовжити в частині більш глибокого вивчення роз-

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Головка М.В. Становлення та розвиток теорії і методики навчання фізиків України (40-і роки ХVІІ ст. – 30-і роки ХХ ст.): монографія. Київ: Педагогічна думка, 2020. 480 с.
2. Гончаренко С.У. Актуальні проблеми методики фізики. *Наукові записки (КДПУ ім. В. Винниченка)*. Кіровоград, 2010. Вип. 90. С. 76–81.

3. Ефект пам'яті форми. 2017. URL: <https://vikant.com.ua/ua/news/epf> (дата звернення: 27.06.2023).
4. Лебедєв І.К., Ігнатова Л.Р., Махін'ко А.І. Історія науки і техніки. Київ: вид-во КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 128 с.
5. Садовий М.І., Трифонова О.М. Теорія самоорганізації та синергетики у навчанні студентів педагогічних ВНЗ. Кропивницький: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2017. 184 с.
6. Садовий М.І., Трифонова О.М. Історія фізики з перших етапів становлення до початку XXI століття: навчальний посібник для студ. ф.-м. фак. вищ. пед. навч. закл. Вид. 2-ге. Кіровоград: Авангард, 2013. 436 с.
7. Wong Henry. At subatomic level, the past can be the future: quantum researchers URL: <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3157459/subatomic-level-past-can-be-future-quantum-researchers> (дата звернення: 27.06.2023)
8. Fock V.A. Selected Works: Quantum Mechanics and Quantum Field Theory 1st Edition by: L.D. Faddeev, L.A. Khal'fin, I.V. Komarov. London, New York, Washington: CRC Press, 2004. 580 p.
9. Kaku Michio Quantum Supremacy: How the Quantum Computer Revolution Will Change Everything. Random House Audio, 2023 (Audiobook)
10. Veselago Victor, Braginsky Leonid, Shklover Valery and Hafner Christian. Negative Refractive Index Materials. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 2006. Vol. 3, p. 1–30.

#### REFERENCES:

1. Holovko, M.V. (2020) Stanovlennya ta rozvytok teorii i metodyky navchannya fizykyv Ukrayini (40-i roky XVII st. – 30-i roky KHKH st.) [*Formation and development of the theory and methodology of teaching physicists in Ukraine (40s of the 17th century – 30s of the 20th century)*]: monohrafiya. Kyiv: Pedahohichna dumka [in Ukrainian].
2. Honcharenko, S.U. (2010) Aktual'ni problemy metodyky fizyky [Actual problems of physics methodology]. *Naukovi zapysky (KDPU im. V. Vynnychenka)*. Kirovohrad, 2010. 90. 76–81 [in Ukrainian].
3. Efekt pam'yati formy [Shape memory effect]. 2017. URL: <https://vikant.com.ua/ua/news/epf> (data zvernennia: 27.06.2023) [in Ukrainian].
4. Lebedyev, I.K., Ihnatova, L.R., Makhin'ko, A.I. (2021) Istoriya nauky i tekhniky [*History of science and technology*]. Kyiv: vyd-vo KPI im. Ihorya Sikors'koho [in Ukrainian].
5. Sadovyi, M.I., Tryfonova, O.M. (2017) Teoriya samoorganizatsiyi ta synerhetyky u navchanni studentiv pedahohichnykh VNZ [*The theory of self-organization and synergy in teaching students of pedagogical universities*]. Kropyvnyts'kyy: RVV KDPU im. V. Vynnychenka [in Ukrainian].
6. Sadovyi, M.I., Tryfonova, O.M. (2013) Istoriya fizyky z pershykh etapiv stanovlennya do pochatku KHKHI stolittya [*The history of physics from the first stages of development to the beginning of the 21st century*]: navchal'nyy posibnyk dlya stud. f.-m. fak. vyshch. ped. navch. zakl. Vyd. 2-he. Kirovohrad: Avanhard [in Ukrainian].
7. Wong Henry. At subatomic level, the past can be the future: quantum researchers URL: <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3157459/subatomic-level-past-can-be-future-quantum-researchers> (data zvernennia: 27.06.2023) [in English].
8. Fock V.A. Selected Works: Quantum Mechanics and Quantum Field Theory 1st Edition by: L.D. Faddeev, L.A. Khal'fin, I.V. Komarov. London, New York, Washington: CRC Press, 2004. 580 p. [in English].
9. Kaku Michio Quantum Supremacy: How the Quantum Computer Revolution Will Change Everything. Random House Audio, 2023 (Audiobook) [in English].
10. Veselago Victor, Braginsky Leonid, Shklover Valery and Hafner Christian. Negative Refractive Index Materials. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 2006. Vol. 3, p. 1–30 [in English].



УДК 532.62, 514.18

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-8>

**Ганна ШАВАРОВА**

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0003-0251-9327>

**SCOPUS-AUTHOR ID:** 6506685303

**Богдан МОЛОКО**

студент 5-го курсу навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**Бібліографічний опис статті:** Шаварова Г., Молоко Б. (2023). Мінімальні поверхні як приклад реалізації міжпредметних зв'язків при вивченні поверхневого натягу. *Фізика та освітні технології*, 2, 57–66, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-8>

## МІНІМАЛЬНІ ПОВЕРХНІ ЯК ПРИКЛАД РЕАЛІЗАЦІЇ МІЖПРЕДМЕТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ПРИ ВИВЧЕННІ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ

Взаємодія між різними галузями науки допомагає переносити знання з одного сектора в інший. Використання міжпредметних зв'язків при вивченні навчальних дисциплін дозволяє студентам бачити загальний контекст і структуру знань, що сприяє кращому засвоєнню матеріалу і збагачує їх розуміння предмету. Демонстрація взаємозв'язків з іншими дисциплінами робить навчання більш цікавим та практичним, сприяє розвитку комплексного підходу до вирішення проблем, та допоможе студентам більш свідомо обрати майбутню професію.

Цим питанням присвячено багато методичних праць, у яких детально висвітлені теоретичні аспекти: значення міжпредметних зв'язків, їх класифікація, методи впровадження у навчальний процес, тощо.

Наша стаття доповнює ці дослідження конкретним прикладом: розглядається взаємозв'язок фізики, математики, комп'ютерних наук, дизайну та архітектури, хімії, кристалографії, який встановлювався протягом періоду понад 200 років. Ми прослідковуємо, як одне фізичне явище, а саме поверхневий натяг рідин, підштовхнуло математиків до відкриття мінімальних поверхонь. Розвиток комп'ютерних технологій і 3D-друку дозволив моделювати і візуалізувати мінімальні поверхні, що надихнуло архітекторів до створення енерго- та ресурсоощадних проектів і нових будівельних технологій. Побудовані теоретично мінімальні поверхні нещодавно були виявлені у полімерах, кристалах багатокомпонентних сполук, і знову повернулись у фізику: їх модифікації використовуються у дослідженні чорних дір.

Крім того, у роботі висвітлені окремі аспекти явища поверхневого натягу, які, як правило, не розглядаються у курсі молекулярної фізики, зокрема природа сил притягання між молекулами поверхневого шару та особливості взаємодії молекул води з молекулами поверхнево активних речовин.

**Ключові слова:** поверхневий натяг, поверхнево-активні речовини, мильні плівки, мінімальні поверхні, міжпредметні зв'язки.

**Hanna SHAVAROVA**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies, Volyn National University named after Lesya Ukrainka, 13 Volya ave., Lutsk, Ukraine, 43025

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0003-0251-9327>

**SCOPUS-AUTHOR ID:** 6506685303

**Bohdan MOLOKO**

5th year student, Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

**To cite this article:** Shavarova H., Moloko B. (2023). Minimalni poverchni yak pryklad realizatsii mizhpredmetnykh zvyazkiv pry vyvchenni poverhnevoho natyahu [Minimal surfaces as an example of the implementation of intersubject connections in the study of surface tension]. *Physics and Educational Technology*, 2, 57–66, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-8>

## MINIMAL SURFACES AS AN EXAMPLE OF THE IMPLEMENTATION OF INTERSUBJECT CONNECTIONS IN THE STUDY OF SURFACE TENSION

*Interaction between different fields of science helps transfer knowledge from one sector to another. The use of interdisciplinary connections when studying academic disciplines allows students to see the general context and structure of knowledge, which contributes to better assimilation of the material and enriches their understanding of the subject. Demonstration of relationships with other disciplines makes learning more interesting and practical, contributes to the development of a complex approach to solving problems. and will help students choose their future profession more consciously.*

*Many methodical works are devoted to these issues, in which theoretical aspects are covered in detail: the importance of intersubject relationships, their classification, methods of implementation in the educational process, etc.*

*Our article complements these studies with a concrete example: it examines the relationship between physics, mathematics, computer science, design and architecture, chemistry, and crystallography, which has been established over a period of more than 200 years. We trace how one physical phenomenon, namely the surface tension of liquids, prompted mathematicians to discover minimal surfaces. The development of computer technologies and 3D printing made it possible to model and visualize minimal surfaces, which inspired architects to create energy- and resource-saving projects and new construction technologies. Theoretically constructed minimal surfaces have recently been discovered in polymers, crystals of multicomponent compounds, and have again returned to physics: their modifications are used in the study of black holes.*

*In addition, the work highlights certain aspects of the phenomenon of surface tension, which, as a rule, are not considered in the course of molecular physics, in particular, the nature of the attractive forces between the molecules of the surface layer and the peculiarities of the interaction of water molecules with molecules of surface-active substances.*

**Key words:** surface tension, surface-active substances, soap films, minimal surfaces, intersubject connections.

### Вступ

У сучасному житті практично усі проблеми і виклики вимагають інтегрованого підходу та знань з багатьох галузей. Для реалізації проєктів залучаються фахівці різного профілю, які мають ефективно взаємодіяти між собою. Навчальні заклади повинні готувати учнів та студентів до розв'язання реальних завдань у різних сферах діяльності, розвиваючи комплексне мислення, вміння думати творчо і розвивати навички інтегрованого підходу до вирішення проблем.

Тому проблема використання міжпредметних зв'язків у навчанні є важливою і актуальною та привертає увагу дослідників. Так колектив авторів з провідних університетів України та з-за кордону (Vasylyshyn та ін., 2021) висувують цікаву тезу про те, що використання міжпредметної інтеграції при вивченні фізики у вищій школі дозволить підготувати фахівців з широким кругозором, що дозволить майбутнім фізикам успішно конкурувати на ринку праці. А якщо з певних причин фахівець не зможе працювати за одержаною спеціальністю, такий підхід до навчання дозволить йому вибрати нову професію, в якій він зможе

максимально проявити себе, використовуючи раніше набуті компетенції.

Бібікова І. при вивченні оптики пропонує використовувати твори образотворчого мистецтва, фотографії, ілюструвати фізичні явища цікавими історичними фактами (Бібікова І.В., 2019).

У нашій роботі ми показуємо, як дослідження мильних плівок призвело до революційних відкриттів і винаходів у різних сферах нашого життя. І в усіх застосуваннях використанні основні фізичні властивості цих плівок: мінімальна площа, нульова середня кривина та стійкість (скомпенсованість механічних напруг у кожній точці).

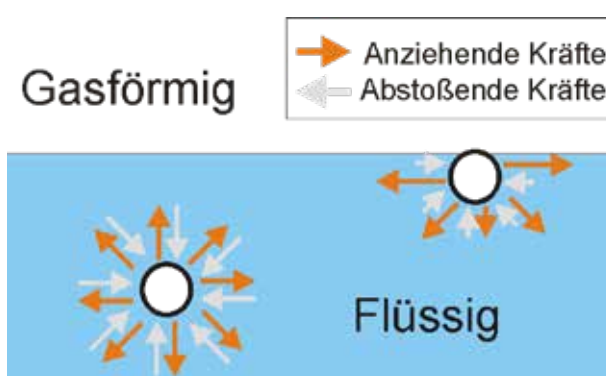
### Виклад основного матеріалу дослідження. Поверхневий натяг рідин

Як відомо, у рідині атоми чи молекули здійснюють нерегулярні коливання навколо тимчасового положення рівноваги, у якому результуюча сил взаємодії з навколишніми частинками рівна нулю (рис. 1, ліва частина). Внаслідок флуктуацій температури, а отже і кінетичної енергії, частинки час від часу переміщуються з одного рівноважного положення в інше. Залежно від типу зв'язку між частинками сили

взаємодії можуть бути ненаправленими (металічний або ван-дер-ваальсівський зв'язок) або направленими. До рідин з направленими зв'язками належить вода, сили притягання між її молекулами реалізуються в основному водневими зв'язками. Це зумовлює особливі властивості води, зокрема і утворення та стабільність плівок мильних розчинів.

На відміну від твердих тіл та газів рідини мають вільну поверхню. У стані рівноваги вільна поверхня рідини набуває такої форми, при якій її поверхнева енергія, а отже і площа, *мінімальна*. При визначенні форми поверхні рідини слід враховувати і дію зовнішніх сил: сили тяжіння, сили опору середовища для краплин, що рухаються, а також явища змочування на межі з твердим тілом.

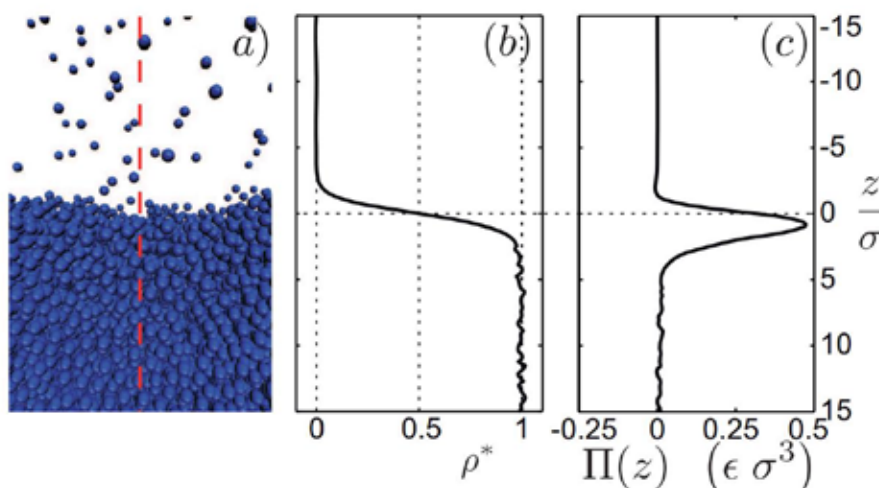
На рис. 1 видно, що сили притягання між поверхневими молекулами і їх нижніми «сусідами» набагато менші, ніж поверхневих молекул між собою. Експериментально підтверджено, що сили поверхневого натягу діють по дотичній до поверхні. Пояснюється це тим, що у поверхневому шарі товщиною у кілька діаметрів молекул щільність рідини (рис. 2 *b*) змінюється, поки не досягне постійного значення всередині рідини. У цьому шарі, відповідно до залежності потенціалу Ленарда-Джонса від відстані (рис. 3), переважають сили притягання.



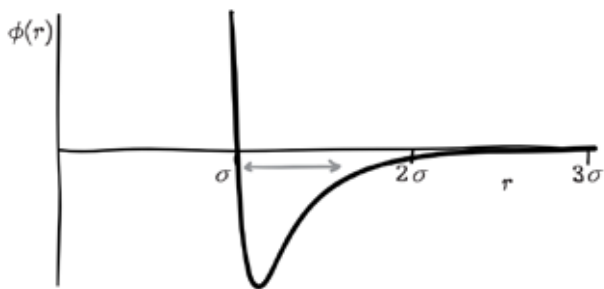
**Рис. 1.** Схематичне зображення сил, що діють на частинку рідини в об'ємі і на межі з газоподібною фазою. Темні стрілки – сили притягання, світлі – сили відштовхування (Von Galactico)

Тому на поверхню рідини діє сила по дотичній до цієї поверхні. Рис. 2 (*c*) описує механічну напругу, яка виникає у рідині в горизонтальному напрямку. Вона відповідає силі поверхневого натягу і локалізована в поверхневому шарі рідини товщиною у кількох діаметрів молекули.

Отже, поверхня рідини поводить себе як еластична плівка, натягнута на певний контур. Площа поверхні є найменшою з можливих з урахуванням сил поверхневого натягу та зовнішніх сил (наприклад, гравітації). Для того, щоб можна було знехтувати гравітацією і отри-



**Рис. 2.** Поверхня рідина-пара. Вертикальна вісь проградуєвана в одиницях діаметрів молекул  $\sigma$ . (a) – комп'ютерна симуляція поверхні рідини для частинок, що взаємодіють відповідно до потенціалу Ленарда-Джонса (рис. 3). (b) – середній в часі нормований розподіл густини  $\rho^*$  вздовж осі  $z$  (перпендикулярно до поверхні). (c): тангенціальна сила, що діє з боку лівої частини системи на праву, віднесена до одиниці площі (тобто різниця між тангенціальною і нормальною складовими тензора напруг  $\Pi$ ) (Marchand A. et.al., 2011)



**Рис. 3. Міжмолекулярний потенціал Ленарда-Джонса  $\phi$ . На відстанях між молекулами, менших точки мінімуму, відбувається відштовхування, більших – взаємне притягання.  $\sigma$  – діаметр «твердої оболонки» молекули. Сіра стрілка показує амплітуду теплових коливань, які у рідині призводять до суттєвих варіацій міжмолекулярних відстаней для різних пар молекул (Marchand A. et.al., 2011)**

мати поверхню найменшої площі, обмежену контуром довільної форми, слід використовувати мильні плівки.

**Будова та властивості мильних плівок.**

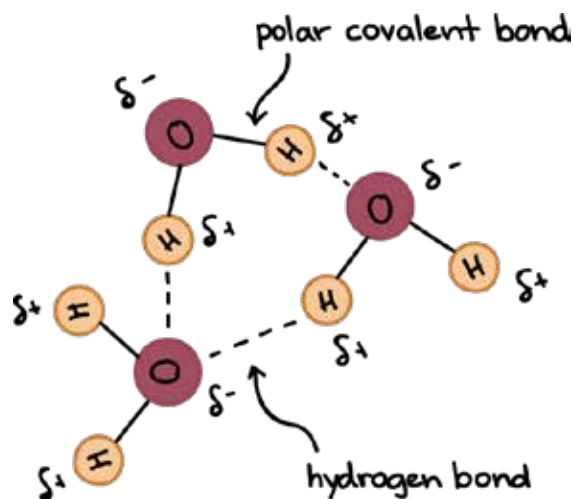
Серед усіх відомих неметалічних рідин вода має найбільший коефіцієнт поверхневого натягу при кімнатній температурі: 72,75 мН/м при 20°C. Зменшити поверхневий натяг води можна додаванням поверхнево активних речовин (ПАР), які впорядковано розташовуються на поверхні, зменшуючи поверхневу енергію.

Дія ПАР обумовлена їх молекулярною структурою. Ці речовини зазвичай складаються з гідрофобного («водовідштовхувального») вуглеводневого залишку та гідрофільної («водолюбної») частини молекули; тобто вони амфіфільні («люблять обох»). На наступних малюнках кружками позначені гідрофільні частини молекули.

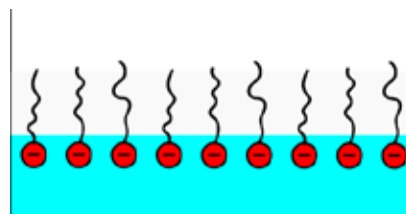
Молекули води є диполями, крім того, між ними існує водневий зв'язок, тому вони розташовані шарами (рис. 4).

Якщо у воду додавати ПАР, вони утворюють тонкий шар на поверхні води і таким чином знижують поверхневий натяг води. У молекулах ПАР гідрофільні кінці спрямовані до води, гідрофобні – до повітря (рис. 5).

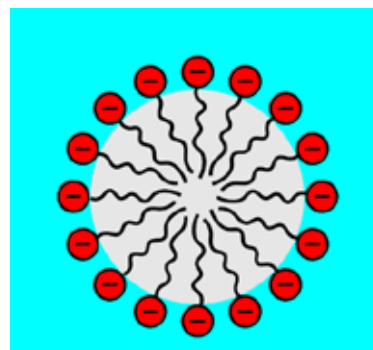
ПАР, що перевищують критичну концентрацію, зазвичай утворюють у воді невеликі сферичні агрегати – міцели. Молекули ПАР вирівнюються таким чином, що гідрофобні



**Рис. 4. Структура молекули води та водневі зв'язки у воді (Structure of water and hydrogen bonding)**



**Рис. 5. Розташування молекул ПАР на поверхні води (Von Roland.chem, 52346456)**

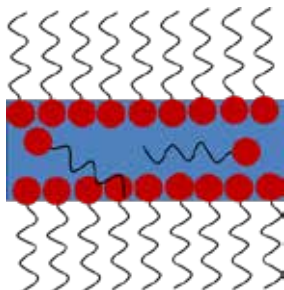


**Рис. 6. Скупчення аніонних ПАР у воді (сферична міцела) (Von Roland.chem, 52346399)**

кінці збираються всередині міцел, а гідрофільні кінці орієнтуються у бік води. ПАР збільшують текучість води, можуть відокремлювати частки жиру чи бруду від твердих поверхонь і захоплювати їх у міцели. На цьому ґрунтується дія мийних засобів.

При збовтуванні мильних розчинів утворюється піна, що складається з мильних бульбашок, утворених плівками розчину ПАР у воді.

Такі самі плівки можна одержати, зануривши у воду довільний каркас. Піна та плівки великих розмірів з чистої води нестійкі. У мильному розчині молекули ПАР розташовані переважно на межі повітря/вода (рис. 7), гідрофобними кінцями назовні.



**Рис. 7. Впорядкування ПАР на поверхнях мильної плівки. (Von Roland.chem, 52346456)**

ПАР стабілізують плівку, оскільки вони створюють відштовхування між обома поверхнями плівки, запобігаючи її витонченню та, як наслідок, розриву. Відштовхування поверхонь є наслідком того, що ПАР через особливості структури молекул не можуть переплітатися. Якщо вони заряджені, то додається ще й електростатичний механізм.

Крім того, ПАР роблять плівку більш стійкою до коливань товщини. За наявності градієнта поверхневого натягу рідина перетікає в область з більшим поверхневим натягом (ефект Марангоні). Тобто, якщо у деяких ділянках концентрація ПАР зростає, поверхневий натяг зменшиться, і сили Марангоні будуть рухати молекули ПАР в області з меншою концентрацією, гомогенізуючи плівку і роблячи її більш еластичною. З часом плівка лопається через випаровування води. Крім того, вода стікає донизу, а вгору плівка витонщується і руйнується.

Щоб запобігти руйнуванню плівки, необхідно зменшити перетікання води донизу. Оскільки на гравітацію вплинути ми не можемо, зменшити рухливість молекул води вдається шляхом додавання у воду великих органічних молекул: гліцерину і цукрози. Ці молекули одночасно сповільнюють випаровування і витонщення плівки. Руйнуванню мильних плівок сприяють також різні включення: маленькі бульбашки повітря, нерозчинні домішки.

Для експериментів з мильними плівками ми використовували такий розчин: 750 мл дисти-

льованої води; 250 мл рідини для миття посуду (Fairry); 125 мл гліцерину; 3 чайні ложки цукру, розчиненого у воді. Чим більше гліцерину, тим міцніші плівки.

### Мильні плівки – мінімальні поверхні

Якщо у мильний розчин занурити дротяне кільце, воно зтягнеться плоскою мильною плівкою. Два однакових кільця, стулених у розчині і розведених у повітрі, не утворять циліндричної плівки. (рис. 8). Це легко пояснити, якщо врахувати 2 обставини. По-перше, в умовах рівноваги векторна сума сил поверхневого натягу, що діють на кожен елемент поверхні з боку сусідніх, має бути рівною нулю. Бічна поверхня циліндра радіуса  $R$  має кривину  $1/R$  у площині перпендикулярній до осі, і нульову кривину у площині, що проходить через вісь. У такому разі векторна сума сил поверхневого натягу  $\vec{F}_n$  для елемента бічної поверхні не може бути рівною нулю.  $\vec{F}_n$  скомпенсуються, коли кривина елемента поверхні у вертикальному напрямку буде  $-1/R$ , тобто у кожній точці поверхні буде нульова середня кривина.



**Рис. 8. Мильна плівка, що спирається на 2 кільця**

По друге, поверхнева енергія (а отже і площа плівки) в умовах рівноваги має бути мінімальною, тобто площа поверхні плівки менша за бічну площу циліндра, побудованого на тих самих основах.

Цікаві результати ми отримали, занурюючи у мильний розчин каркаси геометричних фігур (рис. 9-10). Виявляється що сукупність граней не є мінімальною площиною, що спирається на ребра багатогранників.

Поверхні мильних плівок, які утворюються на ребрах геометричних фігур, мали однакове взаємне розташування при кожному зану-





Рис. 9. Мінімальна поверхня на основі тетраедра



Рис. 10. Каркас ромбоєдра, занурений у мильний розчин. В центрі перетинка у вигляді ромба

ренні в розчин і повільному витягуванні. Розміри центральних чотирикутників теж завжди були однакові. Це ще раз доводить, що саме так розташовані поверхні мають площу, найменшу з усіх, що спираються на ребра фігури. Якщо всередині багатогранника стикаються 3 поверхні (рис. 9-10), кут між ними  $120^\circ$ , оскільки тільки у такому випадку рівнодійна сил поверхневого натягу на лінії перетину буде рівна нулю.

Для того, щоб знайти поверхню найменшої площі, обмежену довільним контуром,

достатньо занурити його у мильний розчин (рис. 11).



Рис. 11. Мінімальна поверхня на каркасі довільної форми

Мильні плівки є одним з прикладів відомих у математиці *мінімальних поверхонь*. Мінімальна поверхня – це поверхня з *нульовою середньою кривиною*. Такі поверхні локально (тобто у межах контуру, побудованого на гладкій поверхні) мають *найменшу площу*. Взагалі мінімальні поверхні можуть перетинатись, а також бути нескінченими.

Власне вивчаючи мильні плівки французький математик і фізик Лагранж у 1762 році поставив варіаційну задачу знайти рівняння поверхні найменшої площі, що обмежена певним замкнутим контуром, і вивів рівняння, що носить назву Ейлера–Лагранжа. Через кілька років були відкриті катеноїд і гелікоїд.

Катеноїд (рис. 9, 12) Катеноїд описується в циліндричних координатах параметричним рівнянням:

$$\rho = a \operatorname{ch} \frac{u}{a};$$

$$\varphi = v;$$

$$z = u$$

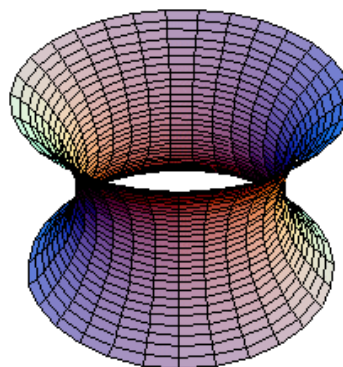


Рис. 12. Катеноїд (Catenoid)

Катеноїд – це поверхня обертання ланцюгової лінії  $y = a \cdot \cos \frac{z}{h}$  навколо осі OZ. Такої форми набирає підвішений у 2-х точках ланцюг під дією сили тяжіння.

Саме за допомогою ланцюгів, підвішених на каркас, і мильних плівок прекував свої споруди відомий архітектор Отто Фрай, який створив новий напрям в архітектурі з використанням мінімальних поверхонь. Серед його робіт Німецький павільйон для Ехро 1968 в Монреалі, дахи Олімпійського стадіону в Мюнхені та колишнього Конгрессхалле в Берліні.

Кількість матеріалу, а разом з ним і вага даху, мінімальна для каркасутаких розмірів. Водночас збалансований натяг стабілізує всю конструкцію, оскільки натяг рівноважний у кожній точці даху, як на мильній плівці.

Гелікоїд (рис. 13, а) – поверхня, утворена прямою, що обертається навколо перпендикулярної до неї осі і одночасно поступально рухається вздовж цієї осі, відношення швидкості обертального та поступального руху є сталим. Рівняння гелікоїда:

$$x = u \cos v$$

$$y = u \sin v$$

$$z = hv$$

Мильну плівку у формі гелікоїда можна одержати, якщо спіраль закріпити навколо осі (рис. 13, в).

Форму гелікоїда мають спіраль ДНК (рис. 13,с), пандуси, сходи.

Завдяки дослідженням в таких галузях математики, як диференціальна геометрія, комплексний аналіз, теорія диференціальних рівнянь у частинних похідних і варіаційне числення, стало можливим значно розширити сімейство мінімальних поверхонь. Мінімальні поверхні стали темою наукових досліджень, в молекулярній інженерії та матеріалознавстві, полімерній хімії та кристалографії. Вони дедалі ширше використовуються у будівництві та дизайні.

Досліджуючи структуру двофазного полімера, група дослідників під керівництвом Едвіна Л. Томаса виявила, що у стані рівноваги він розділяється на окремі фази (Thomas, E.L. et al, 1991) Розшифровка зображень із застосуванням комп'ютерного моделювання показала, що границі фаз є періодичними мінімальними поверхнями.

У кристалічних речовинах мінімальні поверхні можна спостерігати на поверхні кристала чи на окремих його ділянках (Шаварова, 23). Кристали цеоліту (рис. 14, б) складаються з кілець тетраедрів  $\text{SiO}_4^{4-}$ ,  $\text{AlO}_4^{5-}$ , порожнини утворюють канали, заповнені водою. Після випаровування води каркас має вигляд мінімальної поверхні Шварца (рис. 14 а). Такі пористі структури використовують як молекулярні сита, адсорбенти, каталізатори, тощо.

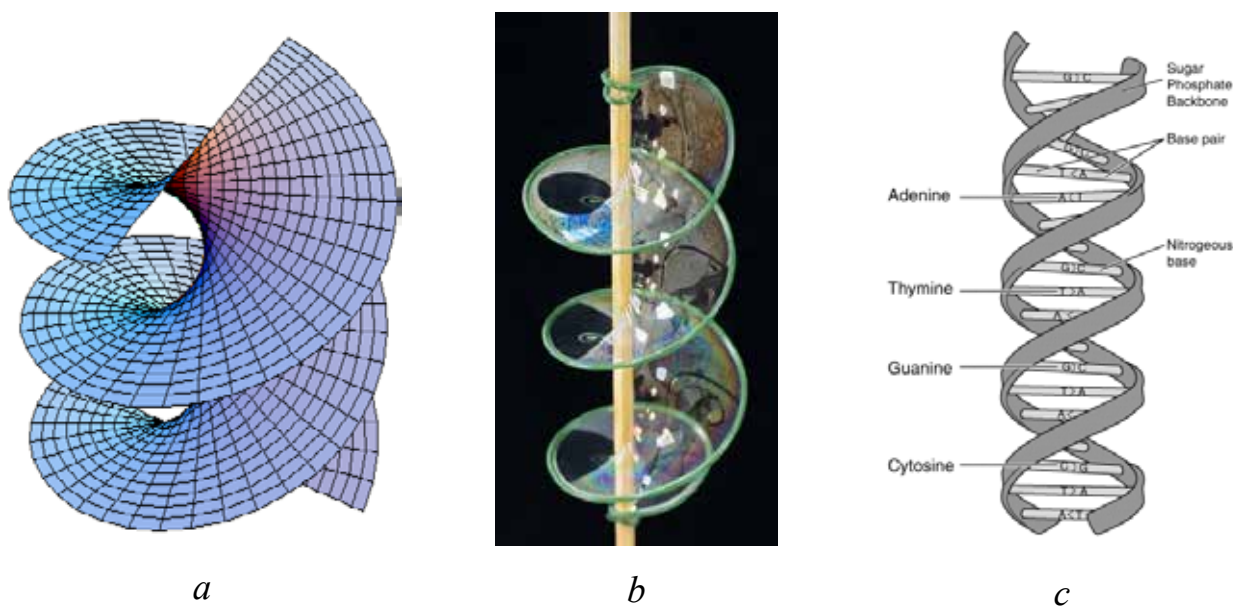


Рис. 13. а – гелікоїд (Helicoid); б – мильна плівка у формі гелікоїда; с – спіраль ДНК (Public Domain)

Мінімальну поверхню Шварца типу Р в основу конструкції одного з найвідоміших оперних театрів світу – Метрополітен-опери у м.Тайчжун (Тайвань) – поклав архітектор Тойо Іто.

Зведення архітектурних споруд у вигляді мінімальних поверхонь стимулювало пошук легких та міцних будівельних матеріалів і технологій будівництва.

У загальній теорії відносності певні розширення та модифікації поняття мінімальної поверхні, відомі як видимі горизонти [12]. На

відміну від горизонту подій, вони являють собою підхід до розуміння границь чорної діри, що базується на понятті кривизни.

#### Візуалізація мінімальних поверхонь

Практичне використання мінімальних поверхонь потребує їх візуалізації і створення моделей (рис. 15). Крім того, часто виникає потреба побудувати мінімальну поверхню на заданому контурі, яка була б стабільною у певному силовому полі, найчастіше в умовах гравітації.

Однією з таких програм для інтерактивних математичних експериментів є Surface Evolver.

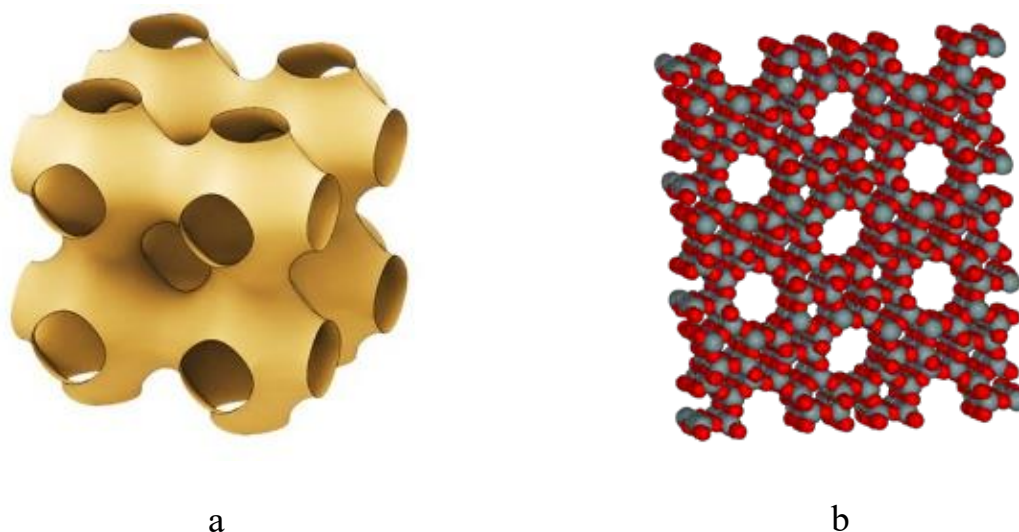


Рис. 14. а – мінімальна поверхня Шварца (Han, S.C. et al. (2016));  
в - каркас кристала цеоліту (Zeolite)



Рис. 15. Метрополітен-опера у м.Тайчжун та її майже 4- метрова модель, на основі мінімальної поверхні Шварца Р (Toyo ito: taichung metropolitan opera)



Це інтерактивна програма для вивчення поверхонь, утворених поверхневим натягом та іншими енергіями з різними обмеженнями. Користувач визначає початкову поверхню у файлі даних. Evolver розвиває поверхню до мінімальної енергії за допомогою методу градієнтного спуску. Енергія в Evolver може бути комбінацією поверхневого натягу, гравітаційної енергії, квадрату середньої кривизни, тощо. Evolver може працювати з обмеженнями об'єму, граничними обмеженнями, граничними контактними кутами, заданою середньою кривизною, силою тяжіння. Поверхня може бути в навколишньому просторі довільної розмірності (Surface\_Evolver).

## Висновки

З наведених прикладів можна зробити висновок, що міжпредметна інтеграція розширює можливості знаходження нових інноваційних рішень і ідей. Комбінуючи знання з різних дисциплін, дослідники можуть вирішувати задачі з новими підходами, що може стимулювати творчість і призвести до революційних відкриттів і винаходів, як то новаторські архітектурні проекти. Демонстрація міжпредметних зв'язків в освітньому процесі розширює горизонти студентів і робить навчання більш цікавим і пізнавальним. Вони бачать, як знання з однієї дисципліни можуть доповнювати і розширювати розуміння іншої.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Бібікова І.В. (2019). Міжпредметна інтеграція як засіб реалізації stem-освіти на уроках фізики *Збірник наукових праць фізико-математичного факультету ДДПУ № 9*, с. 194 -204. <https://ddpu.edu.ua/fizmatzbirnyk/2019/pp194-204.pdf>
2. Шаварова Г., Молоко Б. (2023). Програмні засоби для моделювання і візуалізації мінімальних поверхонь. *Актуальні проблеми фундаментальних наук: матеріали V Міжнар. наук. конф. (Луцьк – Світязь, 01-05 черв. 2023 р.)* Луцьк, Вежа-Друк, С. 89-90
3. Antonin Marchand, Joost H. Weijs, Jacco H. Snoeijer, Bruno Andreotti (2011). Why is surface tension a force parallel to the interface? *American Journal of Physics*. Т.79, № 10, С. 999–1008, doi:10.1119/1.3619866, arxiv:1211.3854
4. Catenoid. URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=462898>
5. Han, S.C., Choi, J.M., Liu, G. *et al.* (2017). A Microscopic Shell Structure with Schwarz's D-Surface. *Sci Rep* 7, 13405 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13618-3>
6. Helicoid. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Helicoid.PNG>
7. Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=510095>
8. Structure of water and hydrogen bonding <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/chemistry-of-life/structure-of-water-and-hydrogen-bonding/a/hydrogen-bonding-in-water>
9. Surface\_Evolver. [https://en.wikipedia.org/wiki/Surface\\_Evolver](https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_Evolver)
10. Thomas, E.L. ed al. (1991) Periodic Area Minimizing Surfaces in Microstructural Science. In: Concus, P., Finn, R., Hoffman, D.A. (eds) *Geometric Analysis and Computer Graphics. Mathematical Sciences Research Institute Publications*, Springer, New York, NY., vol 17. [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9711-3\\_21](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9711-3_21)
11. Toyo Ito: Taichung Metropolitan Opera <https://www.designboom.com/architecture/toyo-ito-taichung-metropolitan-opera/>
12. Vasylyshyn V. et. al. (2021). Competence-based approach in the training of physicists *Journal of Physics: Conference Series* 1889 022005 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1889/2/022005>
13. Von Galaktico – Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30900207>
14. Von Roland.chem – Eigenes Werk, CC0, URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=52346456>
15. Von Roland.chem – Eigenes Werk, CC0, URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=52346399>
16. Zeolite-ZSM-5-3D-vdW.png <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zeolite-ZSM-5-3D-vdW.png>

## REFERENCES:

1. Bibikova I.V. (2019). Mizhpredmetna integratsiya yak zasib realizatsii stem-osvity na urokah fizyky [Intersubject integration as the means of realization of STEM education during the lessons of physics]. *Zbirnyk naukovykh prats fizyko-matematichnoho fakultetu DDPU № 19*, P. 194 -204. <https://ddpu.edu.ua/fizmatzbirnyk/2019/pp194-204.pdf>
2. Shavarova H., Moloko B. (2023). Programni zasoby dlya modeluvannya i vizualizatsii minimalnyh poverhon [Software tools for modeling and visualization of minimal surfaces]. *Aktualny problemy fundamentalnyh nauk: materialy V Mizhnar. nauk. konf. (Lutsk -Svityaz, 01-05 June 2023)*. Lutsk, Vezha-Druk, P.89-90.
3. Vasylyshyn V., Yekimov S., Nakhod S., Voytsekhovska Y., Otroshchenko N., Gavrilko T., Maryna Zheludenko M., Mikheev A., and Vynnyk T. (2021). Competence-based approach in the training of physicists. *Journal of Physics: Conference Series* 1889 022005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1889/2/022005>

4. Von Galaktico – Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30900207>
5. Antonin Marchand, Joost H. Weijs, Jacco H. Snoeijer, Bruno Andreotti (2011). Why is surface tension a force parallel to the interface? *American Journal of Physics*. Т.79, № 10,, С. 999–1008, doi:10.1119/1.3619866, arxiv:1211.3854
6. Structure of water and hydrogen bonding <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/chemistry-of-life/structure-of-water-and-hydrogen-bonding/a/hydrogen-bonding-in-water>
7. Von Roland.chem – Eigenes Werk, CC0, URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=52346456>
8. Von Roland.chem – Eigenes Werk, CC0, URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=52346399>
9. Catenoid. URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=462898>
10. Helicoid. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Helicoid.PNG>
11. Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=510095>
12. Toyo Ito: Taichung Metropolitan Opera <https://www.designboom.com/architecture/toyo-ito-taichung-metropolitan-opera/>
13. Han, S.C., Choi, J.M., Liu, G. *et al.* (2017). Microscopic Shell Structure with Schwarz’s *D*-Surface. *Sci Rep* 7, 13405. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13618-3>
14. Zeolite-ZSM-5-3D-vdW.png <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zeolite-ZSM-5-3D-vdW.png>
15. Thomas, E.L., Anderson, D.M., Martin, D.C., Hoffman, J.T., Hoffman, D. (1991). Periodic Area Minimizing Surfaces in Microstructural Science. In: Concus, P., Finn, R., Hoffman, D.A. (eds) *Geometric Analysis and Computer Graphics*. Mathematical Sciences Research Institute Publications, vol 17. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9711-3\\_21](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9711-3_21)
16. Surface\_Evolver. [https://en.wikipedia.org/wiki/Surface\\_Evolver](https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_Evolver)

## ЗМІСТ

<b>Микола ГОЛОВІН, Ніна ГОЛОВІНА, Олег МАЗУРЧУК</b> ПРО ТРАНЗИТИ ДЕКЛАРАТИВНИХ ЗНАНЬ У ПРОЦЕДУРНІ ВМІННЯ ПРИ ТРЕНУВАННЯХ У ШИРОКОМУ ДІАПАЗОНІ ДИСЦИПЛІН.....	3
<b>Андрій КЕВШИН, Володимир ГАЛЯН, Вадим ОСТАПЮК, Вадим ДИМАРЧУК, Дмитро СЕРЕДА</b> ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАНЕЛІ «ЛІНІЙНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА» СТЕНДУ «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА. ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ УТЛЕ-01» ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ПЕРЕВІРКИ ПРИНЦИПУ НАКЛАДАННЯ СТРУМІВ.....	13
<b>Микола КОРЕЦЬ, Володимир ШЕВЧЕНКО, Юрій НЕМЧЕНКО, Олександр КУЧМЕНКО, Петро КОРОСТЕЛЬ</b> ПРОЄКТУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ІНТЕГРОВАНОГО КУРСУ З ОСНОВ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТА ПРИКЛАДНИХ НАУК ДЛЯ БАКАЛАВРІВ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ.....	20
<b>Олексій НОВОСАД</b> ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ ТА ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНА ДОБРОТНІСТЬ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ $\text{CuIn}_3\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ .....	30
<b>Ірина САЛЬНИК, Олена ФОМЕНКО</b> ІМЕРСИВНІ ТЕХНОЛОГІЙ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО ТА ЗМІШАНОГО НАВЧАННЯ.....	36
<b>Людмила СОЛЯНИК, Сергій СТАВРОЯНІ</b> КВАНТОВО-ХІМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕТВОРЕНЬ ЕАК ВОЛЬФРАМАТОВМІСНИХ РОЗТОПІВ НА ПОВЕРХНІ СКЛОВУГЛЕЦЕВОГО ЕЛЕКТРОДА.....	45
<b>Олена ТРИФОНОВА, Микола САДОВИЙ</b> МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ УЯВЛЕНЬ ПРО ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ПАРАМЕТРИ ТА СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ У НАВЧАННІ ФАХОВИХ ДИСЦИПЛІН ТА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ.....	49
<b>Ганна ШАВАРОВА, Богдан МОЛОКО</b> МІНІМАЛЬНІ ПОВЕРХНІ ЯК ПРИКЛАД РЕАЛІЗАЦІЇ МІЖПРЕДМЕТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ПРИ ВИВЧЕННІ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ.....	57

## CONTENTS

<b><i>Mykola HOLOVIN, Nina HOLOVINA, Oleg MAZURCHUK</i></b> ABOUT TRANSITION OF DECLARATIVE KNOWLEDGE IN PROCEDURAL SKILLS WHILE TRAINING IN THE WIDE SPECTRUM OF DISCIPLINES.....	3
<b><i>Andriy KEVSHYN, Volodymyr HALYAN, Vadym OSTAPYUK, Vadym DYMARCHUK, Dmytro SEREDA</i></b> FEATURES OF USING THE “LINEAR ELECTRIC CIRCUITS” PANEL OF THE STAND «ELECTRICAL ENGINEERING. FUNDAMENTALS OF ELECTRONICS UTLE-01» FOR EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE PRINCIPLE OF CURRENT IMPOSITION.....	13
<b><i>Mykola KORETS, Volodymyr SHEVCHENKO, Yury NEMCHENKO, Oleksandr KUCHMENKO, Petro KOROSTEL</i></b> DESIGN OF A COMPLEX INTEGRATED COURSE ON THE BASICS OF FUNDAMENTAL AND APPLIED SCIENCES FOR BACHELORS OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL SPECIALTIES.....	20
<b><i>Oleksii NOVOSAD</i></b> THERMAL CONDUCTIVITY AND THERMOELECTRIC FIGURE OF MERIT OF $\text{CuIn}_3\text{S}_8$ - $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ SOLID SOLUTIONS.....	30
<b><i>Iryna SALNYK, Olena FOMENKO</i></b> IMMERSIVE TECHNOLOGIES IN THE CONTEXT OF DISTANCE AND BLENDED LEARNING.....	36
<b><i>Ludmila SOLYANIK, Serhii STAVROIANI</i></b> QUANTUM-CHEMICAL SIMULATION OF EAC TRANSFORMATIONS OF TUNGSTEN-CONTAINING MELTS ON THE SURFACE OF A GLOSSARY CARBON ELECTRODE.....	45
<b><i>Olena TRYFONOVA, Mykola SADOVYI</i></b> THE METHOD OF FORMING IDEAS ABOUT SPACE-TIME PARAMETERS AND MODERN MATERIALS IN THE TEACHING OF PROFESSIONAL DISCIPLINES AND ENGINEERING-PEDAGOGICAL RESEARCH.....	49
<b><i>Hanna SHAVAROVA, Bohdan MOLOKO</i></b> MINIMAL SURFACES AS AN EXAMPLE OF THE IMPLEMENTATION OF INTERSUBJECT CONNECTIONS IN THE STUDY OF SURFACE TENSION.....	57

## НОТАТКИ

# ФІЗИКА ТА ОСВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Випуск 2

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Наталія Сергіївна Кузнецова

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 8,14. Замов. № 0923/592. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1

Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: [mailbox@helvetica.ua](mailto:mailbox@helvetica.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 7623 від 22.06.2022 р.