



ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
РАДА МОЛОДИХ ВЧЕНИХ
НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО СТУДЕНТІВ І АСПІРАНТІВ

МАТЕРІАЛИ ІІІ МІЖНАРОДНОЇ ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЇ
МОЛОДИХ УЧЕНИХ ТА СТУДЕНТІВ

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ І ПРИКЛАДНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

(12-13 квітня 2021 року)

III INTERNATIONAL INTERNET CONFERENCE
FOR YOUNG RESEARCHERS AND STUDENTS
BOOK OF ABSTRACTS

TOPICAL ISSUES OF FUNDAMENTAL AND APPLIED STUDIES

(April 12-13, 2021)

Луцьк
2021

*Рекомендовано до друку вченою радою
Волинського національного університету імені Лесі Українки
(протокол № 6 від 18 березня 2021 р.)*

Редакційна колегія:

Кевшин А.Г. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки

Новосад О.В. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки

Замурусва О.В. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної фізики імені А.В.Свідзинського, Волинський національний університет імені Лесі Українки

Матеріали III Міжнародної інтернет-конференції молодих учених та студентів
М-34 «Актуальні проблеми фундаментальних і прикладних досліджень» (12–13 квітня 2021 року). Луцьк: Вежа-Друк, 2021. 1 електрон. опт. диск (CD-ROM).

У збірнику вміщено тези доповідей та повідомлень аспірантів і студентів, учасників III Міжнародної інтернет-конференції молодих учених та студентів «Актуальні проблеми фундаментальних і прикладних досліджень» (12–13 квітня 2021 року) у Волинському національному університеті імені Лесі Українки. Матеріали подано за загальною редакцією наукових керівників.

ЗМІСТ

ІННОВАЦІЇ У ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНІЙ, ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ТА ПРОФЕСІЙНІЙ ОСВІТІ

РОЛЬ ІСТОРИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ У ВИВЧЕННІ ТЕМИ «ІРРАЦІОНАЛЬНІ РІВНЯННЯ» В ШКІЛЬНОМУ КУРСІ МАТЕМАТИКИ Гурнік О. В., Савчук Н. С.....	6
ВИВЧЕННЯ ШКОЛЯРАМИ МАТЕМАТИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ STEM-ОСВІТИ Диня О. І., Падалко К. А.....	8
НАНОСТРУКТУРИ, ЇХ ТИПИ, ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ Іванюк Д. О., Мельничук К. О.	10

МАТЕМАТИКА ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ

НЕСТАНДАРТНІ ЗАДАЧІ НА РУХ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ Мариньоха А. С.....	12
СОФІЗМИ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ПІЗНАВАЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ УЧНІВ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ Падалко К. А.....	14
ОСОБЛИВОСТІ ВИВЧЕННЯ НЕЕВКЛІДОВОЇ ГЕОМЕТРІЇ В ШКОЛІ Петрович М. Б.	15
АПРОКСИМАТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛАСІВ ФУНКЦІЙ ОДНІЄЇ ТА БАГАТЬОХ ЗМІННИХ Стельмах Ю. О.	16
ДОСЛІДЖЕННЯ ГІПОТЕЗИ РІМАНА Троцюк В.М.....	18
ВЗАЄМНЕ РОЗМІЩЕННЯ ДВОХ ПРЯМИХ У ПРОСТОРИ В КУРСІ АНАЛІТИЧНОЇ ГЕОМЕТРІЇ Хлебко С. В.....	19
РІВНЯННЯ ПРЯМОЇ НА КОМПЛЕКСНІЙ ПЛОЩИНІ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В ПЛАНІМЕТРІЇ Червінська К. С.	21

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

ФАЗОВИЙ БАЛАНС СИСТЕМИ SnS_2 - Y_2S_3 - Pr_2S_3 ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 770 К Смітюх О.В., Марчук О.В.	24
--	----

ТЕОРЕТИЧНА ТА КОМП'ЮТЕРНА ФІЗИКА

ПРОГРАМА ДЛЯ РЕЗЕРВУ КОПІЙ ФАЙЛІВ – PYTHON Замуруєва О.В., Хмарук Г.П.	26
CIRCUITPYTHON ТА MICROPYTHON ДЛЯ MEOWBIT Кульбачинський Є.А.	27
ПРОГРАМНІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОБУДОВИ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ Мирончук Д.Б.	28
ТВЕРДОТІЛЬНЕ ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ Pro/ENGINEER Мирончук Д. Б, Замуруєва О. В.	30
ГЕТЕРОСТРУКТУРИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ З'ЄДНАНЬ Наход В.В.	31
ТЕРАГЕРЦОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ З'ЄДНАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ Наход В.В.	32
ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ВИБУХУ ПРОВІДНИКА Одарчук Ю. О.	33
ФЛЮКСОНИ Самаріна Г.Д.	35
ГЕТЕРОЛАЗЕРНІ ТА КВАНТОВОРОЗМІРНІ ТЕХНОЛОГІЇ Скіпальський М.І.	37
КРИСТАЛООПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ З УРАХУВАННЯМ ПРОСТОРОВОЇ ДИСПЕРСІЇ Скіпальський М.І.	38
АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ Федонюк Ю.А.	39
МОДЕЛЮВАННЯ ЛАЗЕРНО-ІНДУКОВАНОГО ОПТИЧНОГО ПРОБОЮ ТВЕРДИХ ТІЛ Чернецька А. М.	40
КВАНТОВО-РОЗМІРНІ ЕФЕКТИ В ТВЕРДИХ ТІЛАХ Шевчук І. П.	42
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СТРУКТУРИ ТВЕРДИХ ТІЛ Шигорін О.П., Шурін М.В.	44
КОМП'ЮТЕРНА ФІЗИКА В ЗАДАЧАХ НА МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ Шкабура А. В., Лисюк О., Боровський Б.	45
ОПТИЧНІ АНАЛОГІЇ В РОЗСІЯННІ ЕЛЕКТРОНІВ НА ПОТЕНЦІАЛЬНИХ СХОДИНКАХ В ГРАФЕНІ Шкабура А. В., Федонюк Ю. А.	46

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ТА ПРИКЛАДНА ФІЗИКА

EMISYJNA TOMOGRAFIA POZYTONOWA JAKO NARZĘDZIE BADAN CHOROБ NOWOTWOROWYCH Кот Ю.О.	48
MODELLING OF VIBRATIONAL PROPERTIES OF AgGaS ₂ CRYSTALS Rudysh M. Ya.	49
INVESTIGATION OF ELECTRONIC AND ELASTIC PROPERTIES OF AgGaTe ₂ CHALCOPYRITE CRYSTALS: DFT STUDY Rudysh M. Ya., Piasecki M., M.G. Brik.....	51
БЕЗКОНТАКТНІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ТЕРМОСЕНСОРИ: ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ПРИНЦИП ДІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ Дейна В., Сташук Р.	53
ОПТИМІЗАЦІЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ ZnO/CdS/CdTe В СЕРЕДОВИЩІ SCAPS Запухляк Ж.Р., Катанова Л.О.	54
ОСОБЛИВОСТІ МІЖДОЛИННОГО РОЗСІЯННЯ В n-Si В ТЕМПЕРАТУРНОМУ ІНТЕРВАЛІ 78-300 К Захарчук Д.А., Фесь І.А.	56
ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНИХ ТА П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ КРИСТАЛІВ ТАНТАЛАТУ ЛІТІЮ УЛЬТРАЗВУКОВИМ МЕТОДОМ Їдак І. В., Підгорний Д. О.	58
ЛІХТАР НА СОНЯЧНІЙ БАТАРЕЇ Куршель Д.С.	60
ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА. ЕФЕКТИ ЗЕСБЕКА ТА ПЕЛЬТЬЄ Литвиненко С. С., Конотопчик І. О.	61
ФІЗИКА УТВОРЕННЯ ВЕСЕЛКИ Налепа А.О.	63
ОТРИМАННЯ ТА ВОЛЬТ-АМПЕРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУР ОКСИД/CuInSe ₂ -ZnIn ₂ Se ₄ Тарасенко А. О., Ходаківський Є. О.	65
ДАТЧИКИ ТРИАНГУЛЯЦІЇ Хомич Д. С., Трофімук С. В.	66
ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИМУЛЯЦІЙ НА УРОКАХ ФІЗИКИ Шабала О.О., Рудницький М.С.	68
ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛОРГАНІЧНИХ КАРКАСНИХ СТРУКТУР ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ТА ФІЛЬТРАЦІЇ ГАЗІВ Юсюк К.О.	69

ІННОВАЦІЇ У ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНІЙ, ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ТА ПРОФЕСІЙНІЙ ОСВІТІ

УДК 51(091)

РОЛЬ ІСТОРИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ У ВИВЧЕННІ ТЕМИ «ІРРАЦІОНАЛЬНІ РІВНЯННЯ» В ШКІЛЬНОМУ КУРСІ МАТЕМАТИКИ

студ. Гурнік О. В., студ. Савчук Н. С.

Волинський національний університет імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,
e-mail: post@vnu.edu.ua

Постановка проблеми. Для успішної самореалізації особистості у сучасному житті необхідно мати базові знання з математики, а якщо зважати на те, що вибір майбутньої професії тісно пов'язаний з цією наукою, то в цьому випадку необхідні більш повне опанування понять, законів, теорій і використання інноваційних технологій у навчанні та організації дослідницької і проектної діяльності у сфері математики, які призводять до формування високого рівня практичних компетентностей учня, орієнтованих на розвиток його особистості [1]. Прагнучи якомога краще ознайомити учнів з ірраціональними рівняннями, є доцільним використати історичний аспект для зацікавлення та обґрунтованого вивчення даної теми. В умовах карантину такий розвиток особистості з використанням історичних відомостей ускладнений. На нашу думку **актуальним** є дослідження педагогічних та методичних умов застосування інформаційно-комунікаційних технологій для вивчення теми «Ірраціональні рівняння» в шкільному курсі математики.

Мета роботи – дослідити педагогічні та методичні умови застосування інформаційно-комунікаційних технологій для вивчення теми «Ірраціональні рівняння» в шкільному курсі математики.

Гіпотеза дослідження – при правильному підборі педагогічних та методичних умов застосування інформаційно-комунікаційних технологій для вивчення теми «Ірраціональні рівняння» в шкільному курсі математики відбуватиметься формування в школяра здатності ідентифікувати себе як важливу і відповідальну складову українського суспільства, яка готова змінювати і відстоювати національні цінності українського народу.

Провідним засобом досягнення такого формування особистості у закладах середньої освіти є запровадження компетентнісного підходу в навчально-виховний процес, зокрема, в основу змісту

та організації процесу навчання математики. Відповідно до якого кінцевим результатом навчання є сформовані певні компетентності як здатності учня засвоювати свої знання в навчальних і реальних життєвих ситуаціях, повноцінно брати участь в житті суспільства.

Слід зауважити, що розв'язання ірраціональних рівнянь створює передумови для систематизації знань учнів, пов'язаних з усім навчальним матеріалом з ірраціональності (наприклад, властивості радикала, прийоми перетворення ірраціональних виразів і т.д.) і дає можливість встановити дієві зв'язки з вивченим матеріалом з алгебри (рівняння, рівносильність рівнянь, нерівності, тотожні перетворення алгебраїчних виразів і т.д.).

Важливу роль у навчанні математики відіграє систематичне вивчення і використання історичного матеріалу, який підвищує інтерес до вивчення математики, стимулює потяг до наукової творчості, пробуджує критичне ставлення до фактів дає учням уявлення про математику як невід'ємну складову загальнолюдської культури.

Зокрема, при вивченні теми «Ірраціональні рівняння» слід показати, як виникли і розвивались математичні поняття даної теми.

Ірраціональні числа виникли в геометрії при вивченні довжин. Геометричне ірраціональне число виражає собою довжину відрізка, неспівмірного з відрізком одиничної довжини. За легендою, піфагорійці відкрили несумірність деяких геометричних величин, але оскільки це суперечило їхній філософії, цілком побудованій на натуральних числах, вони тримали це відкриття у найсуворішій таємниці і навіть покарали на смерть одного з членів свого братства, який (за різними джерелами) перший знайшов або розголосив цей факт [2].

Остаточного розвитку теорія ірраціональних чисел набула тільки в другій половині XIX ст. у працях німецьких математиків Дедекінда, Кантора і Вейерштрасса, а П'єр Ферма (1601–1665) у середині XVII ст. запропонував загальний метод розв'язування ірраціональних рівнянь, зводячи їх до системи цілих алгебраїчних рівнянь [3].

Висновки. Вважаємо, що для вивчення теми «Ірраціональні рівняння» в шкільному курсі математики в сучасних умовах карантину слід використовувати інформаційно-комунікаційні технології для подачі елементів історії математики.

Проведене дослідження підтвердило висунуту нами гіпотезу.

1. Математика. 5-11 класи: навчальні програми, методичні рекомендації про викладання навчальних предметів в закладах загальної середньої освіти у 2019/2020 н.р., орієнтовні вимоги до оцінювання навчальних досягнень учнів/ укладач Р.В.Гладковський. Харків: Вид-во «Ранок», 2019. 160 с.

2. Хохлова Л. Г. Ірраціональні рівняння і нерівності / Л. Г. Хохлова, С. Г. Хома-Могильська. – Тернопіль: ТНПУ, 2018. – 51 с.

3. Козирева О. А. Розв'язування ірраціональних рівнянь: урок у 10 класі / О.А. Козирева // Математика в школах України. – 2011. – № 32. – С.16 – 18.

ВИВЧЕННЯ ШКОЛЯРАМИ МАТЕМАТИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ STEM-ОСВІТИ

студ. Диня О. І.^{1,2}, студ. Падалко К. А.²

¹вчитель математики КЗЗСО «Луцький ліцей №27 Луцької міської ради Волинської області»,
e-mail: olgadynia@gmail.com,

²факультет інформаційних технологій і математики Волинського національного університету
імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк

Актуальність дослідження. Ілюстративні можливості викладу навчального матеріалу з застосуванням інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) створюють умови для впровадження у загальноосвітніх навчальних закладах STEM-освіти, як запоруки цілісного осягнення учнями освітньої програми на міждисциплінарному рівні. З огляду на сьогодишню ситуацію у сфері освіти та її трансформацію відповідно до сучасних тенденцій, вчителі повинні впроваджувати та активно використовувати нові, пристосовані до комп'ютерних технологій, методики навчання, що і зумовлює актуальність нашого дослідження.

Об'єкт дослідження. Використання елементів STEM-освіти на уроках алгебри та геометрії у загальноосвітній школі.

Предмет дослідження. Навчальний процес з алгебри та геометрії у загальноосвітній школі.

Мета дослідження. Дослідити механізми застосування компонентів STEM-освіти при вивченні математики в закладах загальної середньої освіти.

Завдання дослідження. Розробити психолого-педагогічні та методичні основи запровадження ІКТ зокрема STEM-навчання у вивченні математики в школі.

Результати дослідження. Аналіз літературних джерел дозволив нам зробити висновок, що STEM-освіта – це низка чи послідовність курсів або програм навчання, яка готує учнів до успішного працевлаштування, до освіти після школи, або для того й іншого, вимагає різних і більш технічно складних навичок, зокрема із застосуванням математичних знань і наукових понять. Акронім STEM вживається для позначення популярного напрямку в освіті, що охоплює природничі науки (Science), технології (Technology), інженерію (Engineering) та математику (Mathematics). STEM визначає характерні риси відповідної дидактики, сутність якої виявляється у поєднанні міждисциплінарних практик орієнтованих підходів до вивчення природничо-математичних дисциплін.

STEM-освіта – це категорія, яка визначає відповідний педагогічний процес (технологію) формування і розвитку розумово-пізнавальних і творчих якостей молоді, рівень яких визначає конкурентну спроможність на сучасному ринку праці: здатність і готовність до розв'язання

комплексних задач (проблем), критичного мислення, творчості, когнітивної гнучкості, співпраці, управління, здійснення інноваційної діяльності.

На нашу думку математика є основою STEM, оскільки вона забезпечує математичний апарат для інших STEM-предметів. Впровадження елементів STEM-освіти дає можливість показати міжпредметні зв'язки математики з іншими предметами, а також її прикладну спрямованість. Останнім часом багато в навчальному процесі було змінено. Замість дерев'яних дошок все більше використовувались мультимедійні проектори, інтерактивні дошки, мультимедійні маркери. Цифрове обладнання, мобільні гаджети, персональні комп'ютери значно спростили методику викладання предмету та навчання в навчальних закладах. Вивчення математики не повинно бути засвоєнням фрагментів знань, а стати захоплюючим процесом пізнання оточуючого світу та науки.

Наше дослідження показало, що завдяки STEM-освіті вдається реалізувати усі дієві засоби засвоєння математики:

- математичні практикуми з завданнями дослідницького характеру;
- навчальні проекти;
- демонстрація експериментів з їх аналізом, що систематизує отримані знання;
- навички розв'язування математичних задач.

На нашу думку основна мета учителя в даній діяльності – створити ситуацію успіху в засвоєнні математики, дати дитині можливість відчувати радість досягнення результату, оцінити власні можливості і повірити в себе. Це підвищує мотивацію, розвиває пізнавальний інтерес, а також дозволяє учню відчувати задоволення від навчання і рухатися далі. Саме тому знання, фундаментальні основи яких формуються при вивченні природничо-математичних дисциплін у школі, повинні бути максимально наближені до реального життя.

Вважаємо, що для того, щоб STEM-предмети зацікавили якомога більшу кількість учнів необхідно урізноманітнювати форми навчання.

Наприклад, в 6 класі під час вивчення теми «Відношення» учням пропонується наступне завдання. Спочатку потрібно звернути увагу на те, що у кулінарних рецептах зазначено, скільки потрібно певних продуктів для приготування тієї чи іншої страви, а отже, і в кулінарії не обійтися без знань про відношення.

Потім повідомляється рецепт приготування бісквіта: яйця – 8 шт., борошно – 200 г, цукор – 320 г. Далі пропонується проблемна ситуація: як приготувати бісквіт за цим рецептом, якщо є тільки 2 яйця? Для цього потрібно проаналізувати: 8 яєць – 200 г борошна, 2 яйця - ? г борошна; 8 яєць – 320 г цукру, 2 яйця - ? г цукру. Також перед учнями постають запитання «У скільки разів яєць менше ніж у рецепті?», «У скільки разів менше треба взяти борошна?», «У скільки разів менше треба взяти цукру?», «Скільки борошна треба взяти?», «Скільки цукру треба взяти?». На завершення учні записують кількість усіх продуктів для приготування бісквіта з 2 яєць.

Незвичайна форма подання завдань і доступний рівень складності створюють умови для мотиваційної основи творчої діяльності і концентрації уваги на розглянутій проблемі.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Впровадження та використання у школі компонентів STEM-освіти є ефективним для вивчення математики та розвитку школярів.

Вважаємо, що використання цих засобів формує в учнів навички роботи з інформацією, що дозволяє їм цілісно досягнути науки.

1. Практичний посібник: Використання елементів STEAM-освіти на уроках математики в сучасній школі / Мирна І.О., Чемерис М.І., Петренчук С.В., Міхєєва І.М., Якимчук О.О., Павлік Т.В., Головченко Л.А., Мельниченко В.А., Остапенко О.О., Хильчук Н.М. – Житомир:2020.

2. Падалко К.А. Формування графічної компетентності учнів у процесі розв'язування геометричних задач / К.А. Падалко, Н.Й. Падалко // Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна наука: проблеми і перспективи» - Київ, 2019. – С. 18.

3. Диня О. І. Впровадження засобів інформаційно-комунікаційних технологій та компонентів STEM – освіти при вивченні геометрії в закладах загальної середньої освіти/ О. І. Диня, К. А. Падалко// Матеріали I міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, «Сучасні тенденції та концептуальні шляхи розвитку освіти і педагогіки». –Київ. – 2020. –С. 82-85.

4. Український проект «Якість освіти». Перша сесія «WEB-STEM-школа2017» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://yakistosviti.com.ua/uk/WebSTEM-shkola-2017>.

НАНОСТРУКТУРИ, ЇХ ТИПИ, ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

студ. Іванюк Д. О., Мельничук К. О.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: dima.ivaniuk29@gmail.com

За останні два десятиліття нанотехнології стали стратегічним індустріальним напрямком. До наноматеріалів проявляється величезний інтерес у зв'язку з реальною можливістю практичної реалізації їх унікальних властивостей в різноманітних галузях науки і техніки. За багатьма прогнозами саме розвиток нанотехнологій визначить вигляд XXI століття, подібно до того, як відкриття атомної енергії, винахід лазера, транзистора і комп'ютера визначили вигляд XX століття.

Нанотехнології – це по суті міждисциплінарна область науки і техніки, що займається вивченням властивостей об'єктів і розробкою пристроїв з базовими структурними елементами розміри яких в декілька десятків нанометрів ($1\text{нм} = 10^9\text{м}$). Система отримує приставку «нано» не тому, що її розмір стає менше 100 нм, а внаслідок того, що її властивості починають залежати від розміру. В основі якісно нових досягнень в науково-технічних розробках на нанорівні лежить використання нових, раніше невідомих властивостей і функціональних можливостей матеріальних

систем при переході до наномасштабів. Слід зазначити, принаймні, дві обставини, які супроводжують значний сплеск досліджень в галузі наноматеріалів.

По-перше, вже на перших порах з'явилася можливість реалізації високого рівня фізико-хімічних і механічних властивостей матеріалів в наностані.

По-друге, ця проблематика виявила ряд прогалин не тільки в розумінні природи особливостей цього стану, але і його технологічної реалізації. Завдяки нанотехнологіям отримали широкий розвиток системи зберігання і обробки інформації, мобільного зв'язку, теоретичного обґрунтування і практичної реалізації.

Прогнозується, що наука про нанотехнології, наноречовинами здатна перебудувати всі галузі промислового виробництва, привести до нової науково-технічної революції і вплинути на розвиток соціальної структури суспільства.

1.М.А. Тихоновский, А.Г.Шепелев, Л.В. Пантеенко. Наноматериалы: анализ тенденций развития на основе данных об информационных потоках. 2003, No5, с. 103-110.

2.И.П. Суздалев. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: «КомКнига», 2006, 592 с.

УДК 373.016.091.32: [51:53]

НЕСТАНДАРТНІ ЗАДАЧІ НА РУХ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ

студ. **Мариньоха А. С.**

факультет інформаційних технологій і математики

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: annsergm@gmail.com

Розв'язання на уроках математики задач з фізичним змістом є одним з ефективних напрямків формування узагальнених навчальних дій учнів. При розв'язанні таких задач в учнів відбувається удосконалення умінь порівнювати, аналізувати, перекладати текст задачі на мову математики [1].

Мета дослідження – обґрунтувати доцільність розв'язування на уроках математики задач на рух, які вимагають нестандартних підходів.

Розв'язування нестандартних задач на рух сприяє максимальному розвитку пізнавальних здібностей школярів. Намагаючись знайти "красивий" спосіб розв'язування задачі, учні згадують багато теоретичних фактів, вчать аналізувати умову задачі, збагачують власний досвід застосування знань у різних ситуаціях. Усе це активізує навчально-пізнавальну діяльність учнів, розвиває їхні творчі здібності, стимулює активне мислення.

Розглянемо задачу, яка пов'язана із рухом по замкненому колу. Дуже часто з такими задачами учні зустрічаються на математичних олімпіадах і турнірах.

Зауважимо, що кутову швидкість при розв'язуванні задач на рух по замкнутому колу зручно вимірювати у кругах за хвилину [2].

Задача 1. Потрапивши у парк відпочинку, Миколка вирішив подивитися на Луцьк із оглядового колеса. О 10-й годині він сів у 22-гу кабінку, проїхавши кілька обертів вийшов, з'їв морозиво і о 10-й годині 40 хвилин знову сів, але вже у 4-ту кабінку. Зробивши оберт, вийшов прогулятися і знову повернувся, сівши об 11-й у 25-ту кабінку. Скільки за цих умов могло бути кабін в оглядового колеса, якщо вони занумеровані по колу?

Розв'язання

Нехай оглядове колесо обертається зі сталою кутовою швидкістю проти годинникової стрілки. Через x позначимо кількість кабін оглядового колеса. Розглянемо два випадки:

- 1) кабінки занумеровані проти годинникової стрілки;
- 2) нумерація кабін здійснена за годинниковою стрілкою.

Перший випадок. За 40 хвилин оглядове колесо зробило ціле число повних обертів, яке позначимо N та ще повернулося на $22-4=18$ кабін.

За 60 хвилин воно зробило певне число повних обертів, яке ми позначимо через M та ще повернулося на $x-3$ кабін.

$$\text{Складаємо рівняння: } \frac{Mx + (x-3)}{Nx + 18} = \frac{60}{40}, 3Nx + 54 = 2(M+1)x - 6 \Leftrightarrow (2M + 2 - 3N)x = 60.$$

Отже, число x є дільником числа 60 і не менше 25. Тому $x \in \{30, 60\}$. Обидва значення можуть бути реалізовані. Для $x = 30$ можна покласти $M = 45, N = 30$, а при $x = 60$ рівність справджується, наприклад при $M = 46, N = 31$.

Другий випадок. За 40 хвилин оглядове колесо зробило ціле число повних обертів, яке позначимо N та ще повернулося на $x-18$ кабін.

За 60 хвилин воно зробило певне число повних обертів, яке ми позначимо через M та ще повернулося на 3 кабіни. Складаємо рівняння:

$$\frac{Mx + 3}{Nx + x - 18} = \frac{60}{40}, 3(N+1)x - 54 = 2Mx + 6 \Leftrightarrow (3(N+1) - 2M)x = 60.$$

Отже, число x є дільником числа 60 і не менше 25. Тому $x \in \{30, 60\}$.

У першому випадку було показано, що могло бути як 30, так і 60 кабін.

Відповідь: 30 або 60 кабін.

Розглянемо ще одну нестандартну задачу на рух, яка була запропонована учням на Міжнародному математичному конкурсі «Кенгуру»

Задача 2. Крихітка виконує наступну послідовність рухів на координатній площині. Вона починає рух з початку координат; спершу йде на одну одиницю праворуч (схід), потім на дві одиниці на північ, тоді на три одиниці на захід, на чотири одиниці на південь і т.д. Яке положення займе Крихітка через 50 рухів?

Розв'язання

За 50 рухів по осі абсцис Крихітка по осі абсцис займе положення $1 - 3 + 5 - 7 + \dots - 47 + 49 = (-2)^{\lfloor \frac{50}{2} \rfloor} 2 + 49 = 25$

Аналогічно обчислюється її положення по осі ординат: $2 - 4 + 6 - 8 + \dots - 48 + 50 = (-2)^{\lfloor \frac{50}{2} \rfloor} 2 + 50 = 26$.

Відповідь: (25;26).

Висновок. Розв'язування задач на рух по колу є важливою складовою навчального процесу, адже дані задачі допомагають розвивати логічне мислення та уяву учнів, ілюструють застосування математичних знань на практиці.

1.Тишук І.В. Стандартні і нестандартні підходи до організації творчої діяльності і розвитку логічного мислення на уроках математики. Методичний посібник. Рівне, 2015.155 с.

2.Курченко О., Рабець К. Задачі на рух. *Математика в школі.* 2010. № 11. С.38-43.

СОФІЗМИ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ПІЗНАВАЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ УЧНІВ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ

студ. Падалко К. А.

факультет інформаційних технологій і математики

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: Katerinapadalko.ua@gmail.com

Чітка логічна схема міркувань, точність, лаконічність мови, систематична послідовна аргументація – усе це властиве процесу навчання математики. Активізувати пізнавальну діяльність учнів, підвищити їх інтерес до вивчення математики можна за допомогою розгляду софізмів.

Софізм – це міркування, що обґрунтовує якусь явну безглуздість, абсурд чи парадоксальне твердження, що суперечить загальноприйнятим уявленням. Розв'язати софізм – означає знайти помилку в міркуваннях, за допомогою якої була створена видимість правильного доведення [1].

Системний аналіз софізмів провів Аристотель (384-322 до н.е.). Усі помилки у них він поділив на два класи: «помилки мови» та помилки «поза мовою», тобто у мисленні.

Зараз існують різні класифікації софізмів за характером «замаскованих» помилок. Зокрема, багато софізмів побудовані на допущенні помилок при діленні на нуль та знаходженні квадратного кореня з повного квадрату. Неправильні висновки робляться з рівності дробів, порушуються правила дій з іменованими числами, здійснюється нерівносильний перехід від одної рівності до іншої.

Як приклад, розглянемо до якої нісенітниці можна прийти, коли виконати ділення на нуль. Таке доведення очевидно неправильного результату дозволить школярам на емоційному рівні закріпити правило і попередити типову помилку.

Довести, що $1=2$.

Доведення. Нехай $a = b + c$.

Помножимо це рівняння на 2: $2a = 2b + 2c$. Додаємо почленно перше і друге рівняння:

$$2b + 2c + a = b + c + 2a.$$

Від обох частин рівності віднімаємо $3a$: $2(b + c - a) = (b + c - a)$. Ділимо ліву і праву частини отриманої рівності на вираз $(b + c - a)$, одержимо $2 = 1$.

Висновок. Застосування софізмів на уроках математики, пошук помилок, які в них допущені, чітко розуміння їх причин та наслідків сприяє розвитку творчого мислення школярів, підвищенню їх пізнавальної активності.

ОСОБЛИВОСТІ ВИВЧЕННЯ НЕЕВКЛІДОВОЇ ГЕОМЕТРІЇ В ШКОЛІ

студ. Петрович М. Б.

факультет інформаційних технологій і математики

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: fisfm@vnu.edu.ua

Відкриття неевклідової геометрії, початок якому поклав Лобачевский, дало вирішальний поштовх грандіозному розвитку науки, сприяло й понині сприяє більшому глибокому розумінню матеріального світу [1].

В кінці XIX ст. одночасно в кількох математиків виникла думка, що довести аксіому Евкліда методом від супротивного неможливо, отже, існує геометрія, в якій виконується заперечення до цієї аксіоми. Першим із цією ідеєю виступив М. І. Лобачевський. У 1929-1830 рр. вийшла його робота, присвячена новій геометрії, а у 1832 р. була опублікована робота угорського математика Януша Больяї, з тим самим результатом. Німецький математик Карл Гаус, прийшовши до аналогічних висновків, не наважився їх опублікувати. Його побоювання були не даремними, адже Лобачевський і Больяї залишились не зрозумілими для більшості математиків. Більше того, деякі математики вважали Лобачевського не сповна розуму. Нажаль лише після смерті математика нова геометрія стала зрозумілою. Її відкриття зробило величезний переворот в розвитку людського мислення.

Програма з математики рекомендує учителям, починаючи з 7-го класу на уроках геометрії при вивченні теорії паралельних прямих вказувати, що окрім геометрії Евкліда існує ще й неевклідова геометрія [2].

Вирішуючи це дуже складне методичне питання, поставлене перед вчителем програмою, ми вважаємо, що:

- вказувати на існування неевклідової геометрії, як того вимагає програма з математики для середньої школи, обмежуючись рамками 7 класу, не можна;
- необхідно цілеспрямовано проводити підготовку учнів до розуміння основних ідей нової геометрії, щоб не стати на шлях спрощення або, ще гірше, вульгаризації ідей неевклідової геометрії.
- методично правильне ознайомлення учнів з геометрією Лобачевського сприятиме більш глибокому розумінню навколишнього матеріального світу.

1. Шаповалова Н. В., Панченко Л. Л. Особливості навчання гіперболічної геометрії для підвищення компетентності майбутніх вчителів математики і фізики // Фізико-математична освіта. Науковий журнал. – 2015. – Випуск 3 (6). – С. 109-118.

2. Математика. 5-11 класи: навчальні програми, методичні рекомендації про викладання навчальних предметів у закладах загальної середньої освіти у 2019/2020 н. р., орієнтовні вимоги до оцінювання навчальних досягнень учнів / Укладач Р. В. Гладковський. – Харків: Видавництво «Ранок», 2019. – 160 с.

АПРОКСИМАТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛАСІВ ФУНКЦІЙ ОДНІЄЇ ТА БАГАТЬОХ ЗМІННИХ

студ. Стельмах Ю. О.

факультет інформаційних технологій і математики

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: fisfm@vnu.edu.ua

Постановка проблеми. Поширено результати, отримані за багаторічний період досліджень апроксимативних характеристик періодичних функцій однієї та багатьох змінних з класів $B_{p,\theta}^r$, які називаються класами Нікольського – Бесова, на аналогічні класи функцій, заданих на \mathbb{R}^d . Крім того проаналізовано і, в деяких випадках, узагальнено раніше одержані результати при дослідженні апроксимативних характеристик класів функцій, що визначаються обмеженнями на кратну різницю (класи H_p^r). Класи функцій, про які йде мова, є аналогами функціональних класів з добре відомих просторів С.М. Нікольського (простір Н) і О.В. Бесова (простір В).

Мета дослідження. Проаналізувати відомі результати щодо найкращого наближення класів $B_{p,\theta}^r$ і H_p^r періодичних функцій багатьох змінних, розглянутих О. В. Бесовим і С.М. Нікольським, і поширити їх на аналогічні класи функцій, які визначені на \mathbb{R}^d .

Результати дослідження. Наведемо означення функціональних просторів, про які буде йти мова нижче.

Означення. Нехай заданий вектор $r = (r_1, \dots, r_d)$, $r_j > 0, j = \overline{1, d}$, і параметри $1 \leq \theta, p \leq \infty$. Тоді сукупність функцій $f \in L_p^0(\pi_d)$ зі скінченними нормами

$$\|f\|_{B_{p,\theta}^r} = \left(\int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \|\Delta_h^k f(\cdot)\|_p^\theta \prod_{j=1}^d \frac{dh_j}{h_j^{1+r_j\theta}} \right)^{\frac{1}{\theta}}, \quad 1 < \theta < \infty,$$

$$\|f\|_{B_{p,\infty}^r} = \sup_{h>0} \|\Delta_h^k f(\cdot)\|_p \prod_{j=1}^d h_j^{-r}, \quad \theta = \infty,$$

називається простором $B_{p,\theta}^r$.

При цьому для векторів $k = (k_1, \dots, k_d)$ і $r = (r_1, \dots, r_d)$ виконується умова $k > r$.

Зауважимо, що під класом $B_{p,\theta}^r$ (зберігаємо те саме позначення, що і для простору) будемо розуміти множину функцій $f \in B_{p,\theta}^r$, для яких $\|f\|_{B_{p,\theta}^r} \leq 1$.

Отже, знайдено точні за порядком оцінки наближення класів $B_{p,\theta}^r$ цілими функціями експоненціального типу зі спектром у кубічній області (означення див. у роботі [1]).

Сформулюємо один із результатів, одержаний у цьому напрямі.

Теорема. Нехай $d \geq 1, 1 < p, q < \infty, 1 \leq \theta \leq \infty$. Тоді, якщо $r > d \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{q}\right)_+$,

то справедливі порядкові співвідношення

$$E_{D_{2^n}}(B_{p,\theta}^r)_q \approx \varepsilon_{D_{2^n}}(B_{p,\theta}^r)_q \approx 2^{-n(r-d(\frac{1}{p}-\frac{1}{q})_+)},$$

де $a_+ = \max\{a, 0\}$.

Наслідок. Якщо $d = 1, 1 < q < p < 2, r > 0$, то мають місце співвідношення

$$E_{2^n}(S_{p,\theta}^r B(\mathbb{R}))_q \approx \varepsilon_{2^n}(S_{p,\theta}^r B(\mathbb{R}))_q \approx 2^{-nr}.$$

З означенням апроксимативних характеристик, наведених у теоремі, а також класів функцій у наслідку, можна ознайомитися у роботах [1] - [3].

Висновки. Досліджено деякі питання наближення функцій з класів $B_{p,\theta}^r$ їх східчато-гіперболічними сумами Фур'є у просторі L_q . Також знайдено точні за порядком оцінки найкращих наближень класів $B_{p,\theta}^r$ у просторі L_q цілими функціями зі спектром у східчастому гіперболічному хресті. Досліджено поведінку наближень класів $B_{p,\theta}^r$ за допомогою цілих функцій зі спектром спеціального вигляду у просторі L_q при певних співвідношеннях між параметрами p і q .

1. Романюк А.С., Романюк В.С. Оцінки деяких апроксимативних характеристик класів періодичних функцій однієї та багатьох змінних / Романюк А.С., Романюк В.С. // Укр. мат. журн. - 2019. - Т. 71, №8. - С. 1102 – 1115.

2. Янченко С. Я. Наближення функцій з класів Бесова цілими функціями у просторі $L_q(\mathbb{R}^d)$ / С. Я. Янченко // Теорія наближення функцій та суміжні питання: Зб. праць Ін-ту математики НАН України. - 2010. - Т. 7, №1. - С. 380 - 391.

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІПОТЕЗИ РІМАНА

студ. Троцюк В.М.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут
Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,
e-mail: vova20002502@gmail.com

Постановка проблеми. Гіпотеза Рімана про корені дзета-функції є однією з важливих проблем в теорії простих чисел. Наукова громадськість вважала і вважає рішення цієї проблеми одним із пріоритетних завдань. Доведення або спростування даної гіпотези стане справжнім «проривом» в теорії простих чисел. Актуальність обраної теми впливає з того що якщо ця гіпотеза буде доведена, це призведе до прориву в області безпеки інтернету.

Мета дослідження проаналізувати результати досліджень стосовно гіпотези Рімана та основні властивості дзета-функції.

Результати дослідження

Дзета-функція Рімана $\zeta(x)$ може бути визначена або рядом Діріхле, або нескінченним добутком Ейлера.

Нулі дзета-функції діляться на два типи: тривіальні і нетривіальні. Дзета-функція Рімана $\zeta(s)$ визначена для всіх комплексних $s \neq 1$ і має нулі у від'ємних парних $s = -2; -4; -6; \dots$

Числа $-2; -4; -6; \dots; -2k; \dots$ називаються тривіальними нулями дзета-функції і інших дійсних нулів ця функція не має.

Бернхард Ріман у своєму знаменитому мемуарі «Про число простих, не перевищуючих даної величини» пов'язав задачу дослідження розподілу простих чисел в натуральному ряді з проблемою положення нулів дзета-функції Рімана в критичній смузі.

Гіпотеза Рімана стверджує, що: *всі нетривіальні нулі дзета-функції мають дійсну частину, рівну $\frac{1}{2}$.*

Ріман виявив, що кількість простих чисел, що не перевищують x функція розподілу простих чисел, що позначаються $\pi(x)$ виражається через розподіл так званих «нетривіальних нулів» дзета-функції.

Багато математиків намагалися довести або спростувати гіпотезу Рімана. Тисячі помилкових доведень були представлені більш ніж за одне століття.

Інший підхід доведення складається в численному обчисленні, який може спростувати гіпотезу Рімана. Наприклад на даний момент були перевірені перші 10^{13} нулі на критичній лінії.

Було знайдено багато тверджень, еквівалентних гіпотезі Рімана, хоча не одне з них не привело до значного прогресу в її доведенні (або спростуванні).

Висновки. Дзета-функція Рімана може бути визначена або рядом Діріхле, або нескінченним добутком Ейлера. Дзета-функція Рімана $\zeta(s)$ визначена для всіх комплексних $s \neq 1$ і має нулі у від'ємних парних $s = -2; -4; -6; \dots$. Також ми розглянули основні властивості цієї функції. Ще було розглянуто гіпотезу Рімана, в якій кількість простих чисел, що не перевищують x функція розподілу простих чисел, що позначається $\pi(x)$ виражається через розподіл так званих «нетривіальних нулів» дзета-функції.

1.Воронин, С.М. Дзета-функція Римана/С.М. Воронин, А.А. Карацуба. - М. : Физматлит, 1994г. - 376с.

2.Дербишир Дж. . Простая одержимость. Бернхард Риман и величайшая нерешённая проблема в математике. — Астрель, 2010. — 464 с. — ISBN 978-5-271-25422-2.

3.Титчмарш, Е.К. Теория дзета-функции Римана/Е.К. Титчмарш; пер. М.А. Евграфов. - М. : Москва, 1953г. - 387с.

УДК 514.125

ВЗАЄМНЕ РОЗМІЩЕННЯ ДВОХ ПРЯМИХ У ПРОСТОРІ В КУРСІ АНАЛІТИЧНОЇ ГЕОМЕТРІЇ

студ. Хлебко С. В.

факультет інформаційних технологій і математики

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк

e-mail: fisfm@vnu.edu.ua

Розглядаючи прямі у просторі, при вивченні курсу аналітичної геометрії, ми можемо розглянути можливі варіанти взаємного розміщення двох прямих у просторі.

Нехай у просторі дві прямі a_1 і a_2 задані відносно афінної системи координат їхніми канонічними рівняннями:

$$\frac{x-x_1}{l_1} = \frac{y-y_1}{m_1} = \frac{z-z_1}{n_1}, \quad \frac{x-x_2}{l_2} = \frac{y-y_2}{m_2} = \frac{z-z_2}{n_2}.$$

Можливі такі випадки їх взаємного розташування:

1. Якщо у двох прямих простору немає жодної спільної точки, але вони лежать в одній площині, то такі прямі паралельні.

2. Якщо ж прямі не лежать в одній площині, то вони мимобіжні.

3. Коли у двох прямих є тільки одна спільна точка, то вони перетинаються.

4. Якщо ж у двох прямих є хоча б дві спільні точки, то вони збігаються. [1, с. 93]

Розглянемо аналітичні умови, які визначають кожний із цих випадків.

1. Прямі a_1 і a_2 збігаються тоді і тільки тоді, коли їхні напрямні вектори $\vec{p}_1 (l_1, m_1, n_1)$ і $\vec{p}_2 (l_2, m_2, n_2)$ будуть колінеарними, а точка $M_1(x_1, y_1, z_1)$ прямої a_1 належатиме і прямій

a_2 (Рис.1). Ці умови будуть виконаними тоді і тільки тоді, коли координати векторів \vec{p}_1 і \vec{p}_2 будуть пропорційними, а координати точки M_1 задовольнятимуть рівняння прямої a_2 :

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{m_1}{m_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

2. Прямі a_1 і a_2 будуть паралельними тоді і тільки тоді, коли їхні напрямні вектори \vec{p}_1 і \vec{p}_2 будуть колінеарними, а точка M_1 не належатиме прямій a_2 (Рис.2). Це матиме місце тоді і тільки тоді, коли виконується умова (1), але не виконується умова (2). [2, с. 72]

$$\frac{x_1 - x_2}{l_2} = \frac{y_1 - y_2}{m_2} = \frac{z_1 - z_2}{n_2} \quad (2)$$

3. Прямі a_1 і a_2 будуть перетинатися тоді і тільки тоді, коли вектори \vec{p}_1 і \vec{p}_2 будуть неколінеарними, а вектори $\overrightarrow{M_1M_2}$, \vec{p}_1 , \vec{p}_2 – компланарними (Рис.3).

Перше твердження виконується, коли не виконується (1). Друга умова виконується тоді і тільки тоді, коли визначник, складений із координат усіх трьох векторів $\overrightarrow{M_1M_2}$, \vec{p}_1 , \vec{p}_2 , дорівнює нулю:

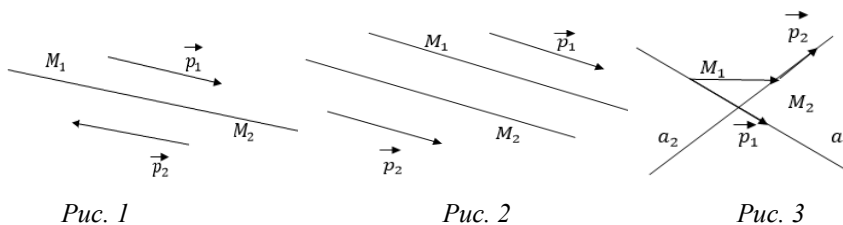
$$\begin{vmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \end{vmatrix} = 0. \quad (3).$$

Отже, прямі перетинаються тоді і тільки тоді, коли виконана умова (3) і не виконана умова (1).

4. Прямі мимобіжні, якщо не виконується умова (1), ні умова (3). Оскільки умова (3) не виконується тільки в цьому випадку, а в усіх трьох попередніх вона виконується (бо в кожному із перших трьох випадків прямі a_1 і a_2 належать одній площині), то саме її невиконня є необхідною і достатньою умовою мимобіжності прямих. [2, с. 73]

Таким чином, прямі a_1 і a_2 мимобіжні тоді і тільки тоді, коли:

$$\begin{vmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \end{vmatrix} \neq 0. \quad (4).$$



Отже, в курсі аналітичної геометрії чітко виділено таке взаємне розташування двох прямих у просторі: прямі можуть **збігатися**. Для цього достатньо, щоб вони мали дві спільні точки. Прямі можуть **перетинатися**, тобто мати тільки одну спільну точку. Прямі можуть не мати спільних

точок. Тоді їх називають *паралельними*. Прямі можуть бути *мимобіжними*, тобто не мати спільних точок.

1.Игнатъев Ю. Г. Аналитическая геометрия евклидоваго пространства. Учебное пособие. I-II семестры / Ю. Г. Игнатъев, А. А. Агафонов. – Казань: Казанский университет, 2014. – 204 с.

2.Кравчук О. М. Практикум з аналітичної геометрії / Ольга Мусіївна Кравчук. – Луцьк: РВВ "Вежа", 2013. – 210 с.

УДК 512.62+514.74

РІВНЯННЯ ПРЯМОЇ НА КОМПЛЕКСНІЙ ПЛОЩИНІ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В ПЛАНІМЕТРІЇ

студ. Червінська К. С.

факультет інформаційних технологій і математики

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк

e-mail: kchervinska@gmail.com

Застосування комплексних чисел у планіметрії дозволяє звести розв'язування задач та доведення теорем до виконання алгебраїчних обчислень. В нашій роботі ми розглянули декілька задач і класичних теорем, які розв'язали, використавши рівняння прямої на комплексній площині. Виведемо це рівняння та умови паралельності й перпендикулярності прямих.

Розглянемо комплексне число $z = x + iy$, тоді $\bar{z} = x - iy$. Звідси $x = \frac{z+\bar{z}}{2}$; $y = \frac{z-\bar{z}}{2i}$. Загальне рівняння прямої на площині має вигляд:

$$ax + by + c = 0. \quad (1)$$

Підставивши $x = \frac{z+\bar{z}}{2}$, $y = \frac{z-\bar{z}}{2i}$, одержимо: $\frac{a-bi}{2}z + \frac{a+bi}{2}\bar{z} + c = 0$.

Якщо позначити $\frac{a-bi}{2} = A$, $\frac{a+bi}{2} = \bar{A}$, то рівняння (1) набуде вигляду:

$$Az + \bar{A}\bar{z} + c = 0. \quad (2)$$

Нехай пряма (1) проходить через точку $M(x_0; y_0)$ або, що те саме, пряма (2) проходить через точку $z_0 = x_0 + iy_0$. Число z_0 називають *афіксом* точки M і записують: $M(z_0)$. Тоді матимемо: $z - z_0 = -\frac{a+bi}{a-bi}(\bar{z} - \bar{z}_0)$. Число $\lambda = -\frac{a+bi}{a-bi}$ будемо називати *комплексним коефіцієнтом цієї прямої*, і тоді вона запишеться у вигляді

$$z - z_0 = \lambda (\bar{z} - \bar{z}_0). \quad (3)$$

Рівняння (3) є загальним рівнянням прямої, що проходить через точку z_0 .

Відмітимо, що $|\lambda| = \left| -\frac{a+bi}{a-bi} \right| = 1$.

Розглянемо рівняння (1) при $b \neq 0$. Число $k = -\frac{a}{b}$ є кутовим коефіцієнтом прямої. Зв'язок між кутовим коефіцієнтом k і комплексним коефіцієнтом λ наступний: $\lambda = \frac{i-k}{i+k}$. Відомо, що дві прямі з кутовими коефіцієнтами k_1 та k_2 при $k_1 = k_2$ будуть паралельні, а коли $k_2 = -\frac{1}{k_1}$, то вони перпендикулярні. Для двох прямих, рівняння яких $z - z_1 = \lambda_1 (\bar{z} - \bar{z}_1)$ та $z - z_2 = \lambda_2 (\bar{z} - \bar{z}_2)$, відповідні умови будуть такими: $\lambda_1 = \lambda_2$ – умова паралельності цих прямих, $\lambda_2 = -\frac{1}{\lambda_1}$ – умова їх перпендикулярності.

Якщо пряма проходить через точки z_1 та z_2 , то її рівняння має вигляд:

$$z - z_1 = \frac{z_2 - z_1}{\bar{z}_2 - \bar{z}_1} (\bar{z} - \bar{z}_1). \quad (4)$$

А коли ці точки лежать на одиничному колі, тобто $|z_1| = |z_2| = 1$, це рівняння буде таким:

$$z - z_1 = -z_1 z_2 (\bar{z} - \bar{z}_1). \quad (5)$$

Використовуючи рівняння прямої у комплексній формі, ми розв'язали наступні задачі та довели деякі класичні теореми.

1. Нехай трикутник ABC вписаний в одиничне коло і вершини A, B, C мають афікси a, b, c . Знайти афікс ортоцентра цього трикутника. (Відповідь: $a + b + c$).

2. Дано трикутник ABC і пряма l . Нехай A_1, B_1, C_1 проєкції точок A, B, C на пряму l . Довести, що прямі, які проходять через точки A_1, B_1, C_1 і відповідно перпендикулярні прямим BC, CA, AB , перетинаються в одній точці (її називають ортополусом прямої l відносно трикутника ABC).

3. Дано довільний трикутник ABC . На колі, описаному навколо нього, вибрана довільна точка M . Позначимо через A_1, B_1, C_1 проєкції точки M відповідно на прямі BC, CA, AB . Довести, що точки A_1, B_1, C_1 лежать на одній прямій (її називають прямою Сімпсона) (теорема Сімпсона).

4. Довести, що в описаному навколо кола чотирикутнику середини діагоналей і центр кола лежать на одній прямій (теорема Ньютона).

5. Довести, що точки перетину прямих, які містять протилежні сторони вписаного шестикутника, лежать на одній прямій (теорема Паскаля).

6. Якщо деяка пряма l перетинає прямі, що містять сторони BC, CA, AB трикутника ABC відповідно в точках A_1, B_1, C_1 , то середини відрізків AA_1, BB_1, CC_1 лежать на одній прямій (теорема Гаусса).

Наступна задача №7 (а) пропонувалася на турнірах з математики. Ми зуміли узагальнити її та розв'язали з використанням комплексних чисел (рівняння прямої в комплексній формі, афікс точки) (№7 б).

7. У площині трикутника ABC зовні його побудовані (а) правильні трикутники BCA_1, ACB_1, ABC_1 (б – рівнобедрені подібні трикутники BCA_1, ACB_1, ABC_1 , основами яких є сторони даного трикутника). Довести, що центр ваги трикутників ABC та $A_1B_1C_1$ співпадають.

Поле комплексних чисел є об'єктом вивчення в різних математичних дисциплінах та

знаходить широке використання в багатьох областях математичних знань. Водночас комплексні числа є потужним методом досліджень в ряді інших наук, як от: загальна фізика, теоретична фізика, електротехніка, квантова механіка, теорія пружності, гідродинаміка, аеромеханіка, геодезія, картографія та ін.

ФАЗОВИЙ БАЛАНС СИСТЕМИ $\text{SnS}_2 - \text{Y}_2\text{S}_3 - \text{Pr}_2\text{S}_3$ ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 770 К

Смітюх О.В., Марчук О.В.

кафедра хімії та технологій,

Волинський національний університет імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк

e-mail: Smitiukh.Oleksandr@vnu.edu.ua

Вивчення взаємодій у квазіпотрійних халькогенідних системах дозволяє встановити лейтмотив поведінки різних хімічних елементів в залежності від умов синтезу та складу системи. Особливим чином відбувається взаємодія за участю рідкісноземельних елементів. Насамперед тому, що ці елементи часто-густо утворюють з іншими елементами нецентросиметричні структури, які цікаві для нелінійної оптики. Окрім того, матеріали також проявляють магнітні властивості.

Детальний рентгенофазовий аналіз зразків квазіпотрійної системи $\text{SnS}_2 - \text{Y}_2\text{S}_3 - \text{Pr}_2\text{S}_3$ вказує на існування квазібінарного перерізу $\text{Y}_2\text{S}_3 - \text{Pr}_2\text{SnS}_5$. Організація атомів у стійку кристалічну структуру в квазіпотрійній системі не відбувається.

Тернарна фаза Pr_2SnS_5 утворюється на перерізі $\text{Pr}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$ і отримується в результаті твердофазного синтезу за температури 1323 К:

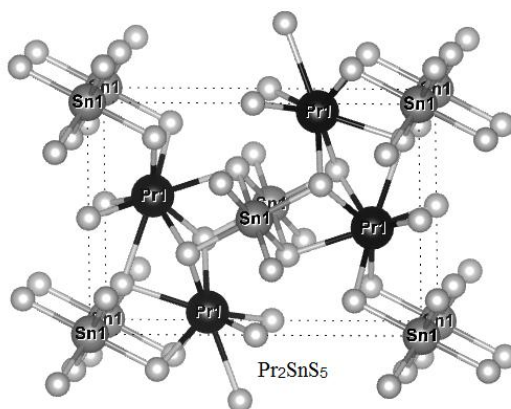
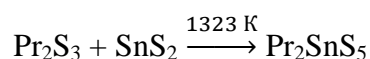


Рис.1. Елементарна комірка та укладка атомів у структурі сполуки Pr_2SnS_5

Комплекс проведених експериментальних досліджень дозволив побудувати ізотермічний переріз квазіпотрійної $\text{SnS}_2 - \text{Y}_2\text{S}_3 - \text{Pr}_2\text{S}_3$ за температури 770 К.

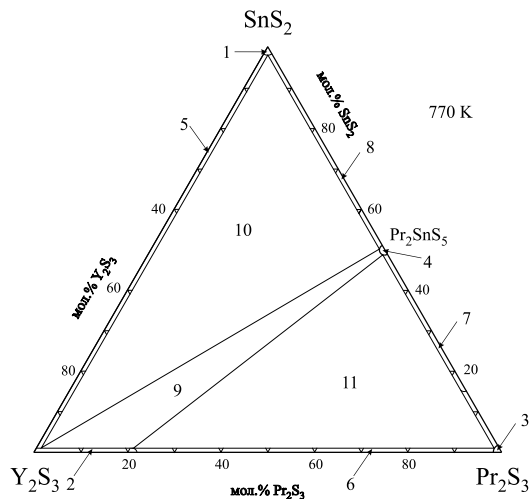


Рис. 2. Ізотермічний переріз системи $\text{SnS}_2 - \text{Y}_2\text{S}_3 - \text{Pr}_2\text{S}_3$:

- 1 – SnS_2 , 2 – $\text{Y}_{3,5+x}\text{Pr}_{1-x}\text{S}_{6,8}$ ($x = 0 \div 1$), 3 – Pr_2S_3 , 4 – Pr_2SnS_5 ,
 5 – $\text{SnS}_2 + \text{Y}_2\text{S}_3$, 6 – $\text{Y}_{3,5+x}\text{Pr}_{1-x}\text{S}_{6,8}$ ($x = 0$) + Pr_2S_3 , 7 – $\text{Pr}_2\text{S}_3 + \text{Pr}_2\text{SnS}_5$,
 8 – $\text{SnS}_2 + \text{Pr}_2\text{SnS}_5$,
 9 – $\text{Y}_{3,5+x}\text{Pr}_{1-x}\text{S}_{6,8}$ ($x = 0 \div 1$) + Pr_2SnS_5 , 10 – $\text{SnS}_2 + \text{Y}_2\text{S}_3 + \text{Pr}_2\text{SnS}_5$,
 11 – $\text{Y}_2\text{S}_3 + \text{Pr}_2\text{S}_3 + \text{Pr}_2\text{SnS}_5$.

На квазібінарному перерізі $\text{Y}_2\text{S}_3 - \text{Pr}_2\text{S}_3$ встановлено, що за температури проведення дослідження існує твердий розчин $\text{Y}_{3,5+x}\text{Pr}_{1-x}\text{S}_{6,8}$ ($x = 0 \div 1$) на основі сполуки Y_2S_3 .

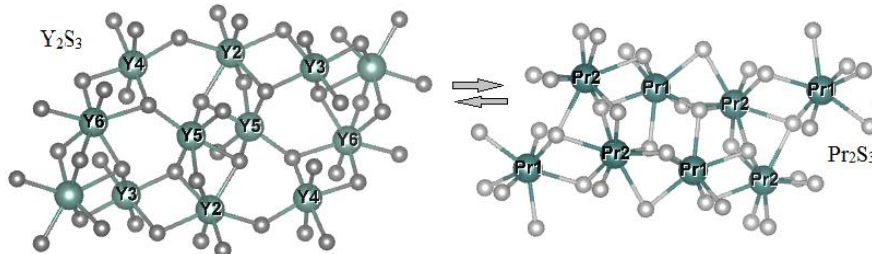


Рис.3. Проекції атомного розміщення у структурі сполук Y_2S_3 і Pr_2S_3

Такий характер фазового балансу вочевидь пов'язаний з особливостями кристалічної структури Y_2S_3 та спорідненою природою атомів Pr до атомів Y. Фази Y_2S_3 і Pr_2S_3 існують у різних кристалографічних сингоніях і структура Pr_2S_3 кристалізується у вищій сингонії, аніж Y_2S_3 . Виходячи з цього, у структурі Y_2S_3 можна деяку частку атомів замінити атомами Pr.

ПРОГРАМА ДЛЯ РЕЗЕРВУ КОПІЙ ФАЙЛІВ – PYTHON

доц. Замуруєва О.В., Хмарук Г.П.

Волинський національний університет імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: zamurueva.o@gmail.com

Постановка задачі: «Потрібно, щоб програма робила резервні копії усіх існуючих важливих файлів.»

Складаємо список того, як програма має працювати: Перелік файлів і каталогів для копіювання вказуються як список; резервна копія повинна зберігатися в головному каталозі для резервних копій; резервні копії створюються у вигляді zip файлів; назва zip архіву – поточна дата і час; скористаємося стандартною командою zip, яка типово доступна в стандартних інсталяціях дистрибутивів Linux/Unix, Windows.

Розв'язок поставленої задачі

Оскільки проект майбутньої програми більш-менш узгоджено можемо почати писати код, який є втіленням рішення.

```
#!/usr/bin/python
```

```
# Filename: backup_ver1.py
```

```
import os
```

```
import time
```

```
# 1. Файли і каталоги для резервного копіювання вказуються як список
```

```
source = ["C:\\My Documents", 'C:\\Code']
```

```
# нам довелося використати подвійні лапки всередині рядка для імен з пробілами
```

```
# 2. Резервна копія буде зберігатися в головному каталозі для резервних копій
```

```
target_dir = 'E:\\Backup' # Не забудь змінити шлях відповідно до твоїх потреб
```

```
# 3. Файли зберігаються як архів формату zip
```

```
# 4. Назва архіву — це поточна дата і час
```

```
target = target_dir + os.sep + time.strftime('%Y%m%d%H%M%S') + '.zip'
```

```
# 5. Використовуємо команду zip для архівації файлів
```

```
zip_command = "zip -qr {0} {1}".format(target, ' '.join(source))
```

```
# Запустити процес резервного копіювання
```

```
if os.system(zip_command) == 0:
```

```
    print ('Дані збережено до ', target)
```

```
else:
```

```
    print ('Процес закінчився НЕВДАЧЕЮ')
```

Результат на екрані:

```
$ python backup_ver1.py
```

Дані збережено до E:\Backup\20080702185040.zip

CIRCUITPYTHON ТА MICROPYTHON ДЛЯ MEOWBIT

студ. Кульбачинський Є.А.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут

Волинський національний університет імені Лесі Українки, Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: kulbachunskiy@ukr.net

MicroPython створювався для тих, хто звик програмувати мікроконтролери на C, але хотів би використовувати при цьому синтаксис Python. Процес розробки організований відповідним чином: після завантаження MicroPython виконує файл main.py з флеш-пам'яті, потім запускає REPL (інтерактивну оболонку) на послідовному інтерфейсі. Єдиний спосіб запустити новий скрипт – перезавантаження з новим main.py. До того ж, стандартний висновок MicroPython направляється на послідовний інтерфейс, а не на екран; щоб надрукувати що-небудь на екрані, замість стандартного print треба використовувати FrameBuffer: fb.text (s, x, y); pub.SCREEN (). show (fb) – з явним завданням координат, без автоматичного розбиття на рядки і без автоматичної прокрутки екрану. Для розробки на C все це природно, але програмісти на Python звикли до набагато більшого комфорту.

Усвідомлюючи це, в 2017 нью-йоркський стартап Adafruit почав розробку власного ФОРКОМ MicroPython, що отримав назву CircuitPython. У MicroPython потрібно проявляти обережність, щоб у флеш-пам'ять не писали одночасно скрипт і комп'ютер через USB, інакше файлова система

могла пошкодитися. У CircuitPython ж перезапис main.py під час його виконання – основний сценарій використання, так що заради обережності потрібно вибрати один з двох варіантів – доступ до флешу з Python тільки на читання і через USB на читання і запис, або з Python на читання і запис і через USB тільки на читання, без можливості перезапису чи видалення main.py. З іншого боку, MicroPython дозволяє писати на Python обробники переривань, а CircuitPython – не дозволяє, і не збирається додавати таку можливість.

MicroPython надає дуже просту і прозору модель «створив масив значень пікселів, відправив його цілком на екран».

З іншого боку, CircuitPython нав'язує програмістові багаторівневу абстракцію: Bitmap довільній колірної глибини, що дозволяє заощадити пам'ят; Palette, що перетворює значення Bitmap в конкретні значення кольору, що задаються в стандартному 24-бітному форматі, і автоматично конвертовані в той формат, з яким працює екран; потім TileGrid, що дозволяє зрушувати і масштабувати кілька спрайтів як одне ціле; і нарешті Group, що дозволяє перемикатися між «стопками спрайтів». Для простих завдань, типу відтворення графіка функції, всі ці додаткові абстракції абсолютно зайві; але для розробки ігор, швидше за все, програмісту на MicroPython довелося б самостійно розробляти щось аналогічне цієї ієрархії абстракцій.

ПРОГРАМНІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОБУДОВИ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ

студ. Мирончук Д.Б.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут,
Волинський національний університет імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,
e-mail: masloamaxaslo9@gmail.com

Сучасні програмні інструменти для автоматизації побудови експертних систем (ЕС) значно підвищують ефективність застосування обчислювальної техніки в різних сферах діяльності людини (охороні здоров'я, освіті, економіці, юриспруденції та ін.), а саме за рахунок розширення в них нових рішень і завдань, які раніше вирішувалися традиційними підходами.

В даний час результати досліджень по створення програмних інструментів для побудови експертних систем затребувані в області програмної інженерії, про що свідчить широкий спектр їх застосування в самих різних областях науки і техніки.

Починаючи з ХХ століття, програмні продукти в області штучного інтелекту вносять істотний внесок в розвиток сучасної науки, а кількість розроблених програмних додатків для автоматизації побудови систем прийняття рішень неможливо визначити, так як у міру розвитку комп'ютерних та

інформаційних технологій істотно розширюється область їх застосування. Одними з таких сучасних програмних додатків використовуваних в розробках є CASE-засоби (CA ERwinModelingSuite, RationalSuite, ARIS ToolSet, PowerDesigner, BizAgi BPM Suit, ELMA BPM) і програмні продукти забезпечують ефективність розробки експертних систем (NexpertObject, Exsys, XpertRule, Guru, Flex, Acquire, ReSolver).

Переважна частина багатьох програм проектування містять один мовний рівень, наприклад, програми аналізу еквівалентних схем GRAPH-PA, ORCAD-Pspice, EMC-CAD, МікЕМС, САЕ-програма Омега, система моделювання газодинамічних і радіаційних процесів CFX, генератори розрахункових сіток HYPERMESH і FEMAP, програма моделювання MARS. Зі збільшенням складності програм з'явилася можливість додавання користувачами нових команд за допомогою командних мов. Багато великі програмні системи є двохрівневі: на верхньому рівні використовується внутрішні мови і інтерпретатори, в деяких випадках створені індивідуально під дану систему, а на нижньому рівні - компільовані мови типу C або C ++. Наприклад, в кожній з найбільш відомих на одного користувача систем чисельних і аналітичних розрахунків MathLab, Mathematica і Mapleсвій спеціалізований командний мову верхнього рівня. У кожній з дворівневих систем проектування в машинобудуванні і електроніці SolidWorks, PCAD і OrCAD - свій. Винятком є система машинобудівного проектування AutoCAD, яка використовує LISP як внутрішня мова, проте інтерпретатор LISP розроблено спеціально під AutoCAD і його інтерфейс є закритим, що унеможливило розширення системи за допомогою розроблених користувачами C-модулів. Використання спеціалізованих мов і інтерпретаторів істотно ускладнює перенесення модулів з однієї системи в іншу, а також спільну роботу систем в одній організації. Деякі системи мають дворівневу архітектуру: на верхньому рівні - керуюча Z або C ++ - програма, а на нижньому - розрахункові C-модулі. Наприклад, орієнтовані на жорсткий життєвий цикл проекту система моделювання хвиль ACCORD, система газодинамічних розрахунків в МАІ і OpenModeler&Visualizer. Більшість перерахованих вище програм і систем є закритими однокористувацькими Windows-додатками. Лише деякі з них підтримують мережеву взаємодію, а відкритий вихідний код надають тільки розробники OpenModeler&Visualizer. Основна увага при розробці подібних систем приділялася функціональними можливостями, а не рішенням перерахованих вище проблем корпоративного проектування.

Програмні інструментальні засоби комп'ютерної підтримки корпоративного проектування (CAD, CAM, CAE, MRP, PDM, CASE, АСУ та інші великі розподілені програмні системи є багаторівневими і повинні:

- підтримувати великий обсяг, складну структуру і розподіленість корпоративних даних і алгоритмів без зайвих витрат процесорного часу, оперативної пам'яті і пропускну здатності мережних каналів зв'язку,

- забезпечувати оперативне внесення змін, контроль і збір інформації щодо поточного стану проекту,
- володіти відкритістю, документування та вільний доступ як програмного коду, так і застосовуваних алгоритмів.

Одним з перших кроків щодо спрощення створення багаторівневих систем з'явилися SWIG-специфікації, що дозволяють описати відображення типів даних командних мови на типи даних мови C і є основою для проектування систем з дворівневою ієрархією. Розробники текстового редактора Vim, системи візуалізації даних Scigraphica і засоби формування діаграм Dia пропонують інтерпретатор командно-функціональної мови Python і C-модулі розмістити на одному мовному рівні, що не дозволяє здійснювати взаємодію між фрагментами програмного коду різних систем в рамках одного інтерпретатора Python.

SWIG. Одним з перших кроків по уніфікації модульних інтерфейсів з'явилися SWIG-специфікації, що дозволяють описати відображення типів даних командної мови на типи даних мови C. Таке відображення дозволяє легко підключати бібліотеки на мові C до різних командним мов, за допомогою проміжного модуля, який переводить об'єкти інтерпретатора командної мови в об'єкти мови C і назад. SWIG при цьому автоматично генерує вихідний код проміжного модуля по специфікації модуля, створеної користувачами з заголовного h-файлу модуля. Для створення не потрібно великої кількості ручної роботи. Як стверджують розробники SWIG, майже готовий модуль може бути згенерований в більшості випадків безпосередньо по h-файлу.

ТВЕРДОТІЛЬНЕ ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ Pro/ENGINEER

студ. Мирончук Д. Б, Замуруєва О. В.

Волинський національний університет імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,
e-mail: masloamaxaslo9@gmail.com

У наш час стає очевидним, що рівень розвитку підприємства оцінюється рівнем наявних на підприємстві інформаційних технологій, ступенем комплексної автоматизації процесів конструювання і технологічної підготовки виробництва з виходом на станки з ЧПУ. Впровадження у виробництво систем автоматизованого виробництва високого рівня, тобто комплексна автоматизація конструкторсько-технологічних робіт, реально вирішує проблеми якості і суттєво скорочує строки розробки креслярсько-конструкторської документації.

У даний час широко впроваджуються параметричні системи трьохвимірною твердотільного моделювання, що орієнтовані на приладобудування та машинобудування.

Pro/ENGINEER – перевірений передовими промисловими компаніями вичерпний набір

інструментальних засобів автоматизації проектування і водночас унікальна система проектування масштабу підприємства. Pro/ENGINEER включає в себе інтегрований набір модулів, що охоплює весь діапазон операцій, які застосовуються на різних етапах життєвого циклу виробу.

Система Pro/ENGINEER розроблена компанією PTC (Parametric Technology Corporation) і оснований на ядрі параметричного твердотільного і поверхневого моделювання GRANITE ONE (власна розробка PTC). Її особливість – це єдиний набір команд для твердотільного і поверхневого моделювання, а також реалізація всіх засобів моделювання процесів на рівні ядра, що забезпечує максимальну простоту і гнучкість при проектуванні виробів необмеженої складності.

Функціональні можливості та особливості програмного забезпечення:

- використання технології спадного проектування;
- можливість створення багаторівневої керуючої структури;
- паралельна робота різних конструкторів;
- повний контроль над усіма етапами створення проекту;
- автоматичне коректування зв'язків;
- побудова моделі, яка не пропускає помилок;
- структурний, тепловий, частотний аналіз і розрахунок критичного навантаження.

Додаток 100% сумісно з проектами, створеними іншими САПР для двомірних і тривимірних середовищ, відкриває всі типи файлів САД-систем. ПО дозволяє швидко створювати цифрові моделі високої якості, а також всю робочу документацію до них.

ГЕТЕРОСТРУКТУРИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ З'ЄДНАНЬ

асп. Наход В.В.

Волинський національний університет імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,
e-mail: viktor1997nakhod@gmail.com

У сучасних приладах мікро- і наноелектроніки застосовується широкий спектр гетероструктур, утворених сполученням матеріалів з різною кристалічною будовою і фізико-хімічними властивостями. На основі кремнію – основний матеріал мікроелектроніки – були створені одні з перших гетероструктур «кремній на діелектрику», в яких підкладками служили або монокристалічний сапфір («кремній на сапфірі», КНС), або аморфний шар діоксиду кремнію («кремній на ізоляторі», КНІ). Застосування цих гетероструктур спочатку було обумовлено необхідністю забезпеченням безвідмовного функціонування електронної компонентної бази радіоелектронної апаратури, використовуваної в аерокосмічній техніці, атомній енергетиці та інших галузях, де потрібно стійкість до радіації.

З розвитком традиційних і розробкою нових технологій вирощування монокристалів напівпровідникових сполук, підготовки з них підкладок з високоякісної поверхнею, епітаксiального нарощування гомо- і гетерошарів, легування пов'язано створенням нового класу гетероструктур з унікальними фізичними властивостями.

Саме на гетероструктурах напівпровідникових з'єднань вдалося відтворено спостерігати квантоворозмірні ефекти і практично їх реалізувати шляхом формування квантових ям, ниток, точок.

На основі твердих розчинів AlGaAs / GaAs, InGaAs / GaAs, InGaAs / AlGaAs, GaN / AlN, Ge / Si створені надвисокочастотні транзистори, лазери, фотоприймачі та інші активні компоненти, складові елементну базу СВЧ-електроніки і оптоелектроніки.

Питання про те, як вплине вплив радіаційних потоків на параметри конкретного виду гетеропереходов, на сьогодні найчастіше вирішується емпіричним шляхом. І при переході до гетероструктур іншого виду відновлюється вся трудомістка процедура експериментальних пошуків.

Тому актуальними є розробка моделей і дослідження з їх допомогою впливу неоднорідностей по товщині приладового шару розподілу пружних напружень і дефектів кристалічної структури, характерних для гетероструктур, зокрема КНС, на протікання радіаційно-технологічні процесів при виготовленні мікросхем на їх основі.

Ще складніша ситуація з оцінкою радіаційної стійкості нанорозмірних гетероструктур, яку поки неможливо прогнозувати через відсутність універсальних моделей деградаційних процесів. В даний час проводяться дослідження в області створення радіаційно-стійких оптоелектронних приладів з багатошаровими масивами самоформуєчих наноострівків Ge (Si) / Si (001) в якості активного середовища.

ТЕРАГЕРЦОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ З'ЄДНАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ

асп. Наход В.В.

Волинський національний університет імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: viktor1997nakhod@gmail.com

Дослідження квантово напівпровідникових систем, які проводилися протягом останніх двох десятиліть, вже призвели до створення цілого ряду нових приладів, від одноелектронних транзисторів до джерел і приймачів випромінювання різних діапазонів. Однак терагерцовий (субміліметровий, дальній ІК) діапазон все ще недостатньо «освоєний» твердотільними

приладами, які могли б випускати і детектувати випромінювання селективним чином. Такі прилади могли б мати широке застосування, наприклад, для формування ТГц зображення в медицині, в якості хімічних і біологічних сенсорів, в широкосмугового зв'язку, радіоастрономії, для діагностики атмосфери зі супутників, в комп'ютерній техніці, тестуванні інтегральних схем та ін.

У майбутньому можливе застосування терагерцового випромінювання для з'єднання інтегральних схем, з'єднань комп'ютер-комп'ютер, комунікації «Останньої милі». В цьому плані перспективними є дослідження напівпровідникових низькорозмірних гетероструктур, енергії переходів в яких потрапляють в терагерцовий діапазон. В даний час в досліджуваному діапазоні відомі приймачі на вільних носіях, що працюють в умовах квантового ефекту Холла (КЕХ) [1], приймачі на основі вертикального транспорту в квантових ямах [3], приймачі на квантових точках [3] і на домішкових переходах [4].

Отже, актуальним є встановлення основних закономірностей фотопровідності (ФП) низькорозмірних напівпровідникових гетероструктур в далекому ІЧ діапазоні і детальне дослідження механізмів фотооткліку.

1. Y. Kawano, Y. Hisanaga, H. Takenouchi, S. Komiyama Highly sensitive and tunable detection of far-infrared radiation by quantum Hall devices / J. Appl. Phys. - 2001. Vol.89, No 7, P. 4037-4048.

2. Y. Kawano, S. Komiyama Breakdown on the quantized Hall effect in the vicinity of current contact / Phys. Rev. B - 2000. Vol.61, N 1. P. 2931-2938.

3. А. И. Якимов, А. В. Двуреченский, В. В. Кириенко, А. И. Никифоров Ge/Si фотодиоды и фототранзисторы со встроенными слоями квантовых точек Се для волоконно-оптических линий связи / Нанофотоника: Материалы совещания. Нижний Новгород, Россия, 2-6 мая 2004. - ИФМ РАН, 2004. - С. 133-136.

4. Мелкие акцепторы в напряженных многослойных гетероструктурах Ge/GeSi с квантовыми ямами. / В. И. Гавриленко, И. В. Ерофеева, А. Л. Коротков и др. // Письма в ЖЭТФ. - 1997. - Т. 65, вып. 2. - С. 194-198.

ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ВИБУХУ ПРОВІДНИКА

студ. Одарчук Ю. О.

Волинський національний університет імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: cotcyly1999@gmail.com

В останні роки інтенсивно розвивається технологія отримання нанопорошків, яка базується на явищі електричного вибуху провідників (ЕВП). За своєю природою ЕВП, як метод отримання нанопорошків, поєднує в собі ознаки обох підходів (провідник руйнується під дією електричного

струму і методів випаровування-конденсації - значна частина матеріалу провідника в процесі електровибуху переходить в газоподібний стан).

Під електричним вибухом провідників розуміють різку зміну фізичного стану металу в результаті інтенсивного виділення в ньому енергії при пропусканні імпульсу струму великої густини ($> 10^6$ А/см²), що призводить до порушення електропровідності і супроводжується виділенням продуктів диспергування, генерацією ударних хвиль і електромагнітного випромінювання [1]. В процесі електровибуху матеріал провідника знаходиться в екстремально нерівноважних умовах, пов'язаних з швидким нагрівом металу і наступним швидким охолодженням продуктів диспергування при наявності електричного і магнітного полів, інтенсивним тепло- і масопереносом, іонізацією, дифузією. Завдяки таким процесам нанодисперсні метали мають ряд незвичайних властивостей в порівнянні з НМ, отриманими іншими способами.

При електричному вибуху провідників споживана електроенергія перетворюється в роботу по нагріванню матеріалу провідника в конденсованому стані, випаровуванню металу, іонізації, утворенню нових поверхонь з розривом хімічних зв'язків - розпаду металу на кластери та розльоту продуктів вибуху. Процес енерговиділення можна охарактеризувати наступними характеристиками: розрядним струмом i , падінням напруги на провіднику u , його активним опором r , потужністю N , енергією W , введеної в провідник до моменту часу t .

Введена в провідник енергія є однією з найважливіших характеристик вибуху, яка визначає величину і швидкість зміни опору, термодинамічний стан провідника, швидкість розширення продуктів вибуху, розміри утворених частинок та ін. При аналізі ЕВП ми використовується поняття: об'ємна густина енергії e , яка дорівнює відношенню величини введеної в провідник енергії до початкового об'єму провідника, та досягнутий перегрів e/e_c , який являє собою відношення об'ємної густини енергії до енергії сублимації матеріалу провідника e_c .

Основним методом визначення енергетичних характеристик ЕВП є метод спільної обробки осцилограм струму і напруги. Потужність визначається за співвідношенням:

$$N(t) = U(t)I(t) \quad (1)$$

Використаєм метод розрахунку енергії, опору та потужності за осцилограмою струму і вихідним параметрам вибуху. Для RLC-контур вираз для розрахунку енергії W має наступний вигляд:

$$W(t) = U_0 Q(t) - \frac{Q^2(t)}{2C} - \frac{Li^2(t)}{2} - R_k \int_0^t i^2(t) dt, \quad (3.2)$$

де $Q = \int_0^t i(t) dt$ - зменшення заряду конденсатора, яке визначається графічним інтегруванням осцилограми струму; U_0 - початкова напруга на конденсаторі; C - ємність конденсатора.

Зменшення заряду конденсатора в момент часу t рівне площі під кривою струму:

$$Q(t) = m_i m_t S_0 \quad (3)$$

Індуктивність L і активний опір контуру R_k визначаються з осциллограми струму короткого замикання за співвідношеннями:

$$L = \frac{T^2}{4\pi^2 C [1 + (\ln \Delta / 2\pi)^2]}, \quad R_k = \frac{2L \ln \Delta}{T} \quad (4)$$

$\frac{Li^2(t)}{2}$ являє собою енергію магнітного поля контура. Якщо $l = l_k$ (критична довжина), то $\frac{Li^2(t)}{2} = 0$.

$\int_0^t i^2(t) dt$ дорівнює площі під кривою струму з координатами, рівними квадрату координат під осцилограмою струму:

$$Q^2(t) = m_i^2 m_t S_0.$$

$R_k \int_0^t i^2(t) dt$ – енергія, яка розсіюється на активному опорі контура.

Таким чином, формула для розрахунку енергії W є різницею між накопиченою енергією і енергією магнітного поля контура, а також енергією, що розсіюється на активному опорі контура.

Густина енергії провідника визначається за співвідношенням:

$$e = \frac{W(t)}{lS}. \quad (5)$$

1. Garsia M. Magnetoresistance in excess of 200 % in Ballistic Ni Nanocontacts at Room Temperature and 1000e / M. Garsia, Y.-W. Zhao // Phys. Rev. Lett. – 2009. – Vol. 82 (14). – P. 2923-2926.

ФЛЮКСОНИ

студ. Самаріна Г.Д.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: foxparty2@gmail.com

Впродовж декількох останніх десятиліть значну увагу науковців привертають так звані флюксони, тобто солітони, що рухаються в довгому джозефсонівському контакті (ДДК) і мають фізичний зміст кванта магнітного потоку. Вони описуються добре відомим синусоїдальним рівнянням Гордона (СРГ), яке є точно розв'язуваною моделлю в одновимірному випадку. Динаміка флюксонів у ДДК є предметом значної кількості теоретичних та експериментальних досліджень.

Рівняння синус-Гордон (СГ) описує динаміку флюксону в довгих контактах Джозефсона. У безрозмірних змінних (де простір нормується до джозефсонівської глибини проникнення, а час –

до оберненої плазмової частоти) за умови наявності дисипації та зовнішнього змінного струму це рівняння має такий вигляд:

$$\varphi_{tt} - \varphi_{xx} + \sin \varphi + \alpha \varphi_t + j(t) = 0. \quad (1)$$

У цьому рівнянні змінна $\varphi(x, t)$ описує різницю фаз макроскопічних хвильових функцій надпровідників, що утворюють контакт, α відповідає за дисипацію, а функція $j(t) = j(t+T)$ з нульовим середнім значенням $\langle j(t) \rangle_t = 0$ описує густину зовнішнього змінного струму, що подається на контакт і є однорідно розподіленим вздовж нього.

Науковий інтерес до даної тематики підживлюється можливістю використання джозефсонівських вихорів як носіїв інформації та їх подальшого застосування для побудови різноманітних інформаційно-цифрових пристроїв. В реальності джозефсонівські контакти не можуть бути просторово однорідними, неоднорідність у них може виникати як дефект в процесі виготовлення або створюватися з метою отримання контакту з певними властивостями. Значна кількість відомих на цей час робіт у даній області спрямована на дослідження динаміки солітона в одновимірному довгому джозефсонівському контакті та його взаємодії з домішкою точкового розміру.

Флюксони є носіями квантів потоку магнітного поля і, як і решта нелінійних збуджень топологічного типу, відзначаються високим ступенем структурної стійкості, оскільки такий солітон можна знищити якщо його перемістити за межі зразка. Однією з причин особливої уваги до цих збуджень є можливість використання їх у ролі елементів пам'яті в квантових комп'ютерах. Надзвичайно важливим є детальне дослідження відгуку топологічних солітонів на зовнішні збурення, зокрема на періодичні. Явище направленої руху флюксонів у довгому джозефсонівському контакті під впливом асиметричних часових або просторових збурень детально досліджувалося як теоретично, так і експериментально. Було встановлено, що направлений рух солітону можна отримати, якщо порушити всі симетрії, які пов'язують солітонні розв'язки з протилежними за знаком та однаковими за модулем швидкостями. Основним інструментом дослідження динаміки флюксонів є солітонна теорія збурень. Проте область її застосування обмежена адіабатичними збуреннями та малими амплітудами зовнішнього струму. На сьогодні необхідно отримати повну інформацію про направлений рух флюксону для широкої області параметрів, для яких пертурбативні методи не працюють.

ГЕТЕРОЛАЗЕРНІ ТА КВАНТОВОРОЗМІРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

асп. Скіпальський М.І.

Волинський національний університет імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: mikolaskipalskiy1997@gmail.com

Сучасні обчислювальні пристрої будуються за двома основними принципами: на основі транзисторних елементів кремнієвої мікроелектроніки і на основі принципів гетероелектроніки. Ключовими елементами останнього є гетеролазери, які мають революційне значення в технологіях обробки сигналів.

Основними матеріалами оптоелектроніки в наш час є багатокомпонентні тверді розчини в системі InGaAsP, уперше введені в електроніку в 1966 р. Інтенсивність випромінювання таких діодів, перевищувала інтенсивність аналогічних діодів на арсеніді галію і фосфіді індію, отриманих тим самим методом. Довжина ж випромінюваної оптичної хвилі відповідала оптичним переходам, які істотно перевищують ширину забороненої зони.

У квантово-розмірних структурах існує чітка аналогія між оптикою та електронікою. Двовимірний канал в арсенід-галієвому польовому транзисторі з гетеропереходом являє собою електронний хвильовід, в якому можлива колімація кількох енергетичних електронних пучків, фокусування і відбиття електронів. Тунелювання електронів через бар'єр еквівалентне проходженню хвиль в оптиці.

Процеси електронної літографії фактично призначені для створення мікро- і наноструктур на поверхні та в об'ємі напівпровідника для обмеження руху електронів у небажаних напрямках та їх спрямування в обраних. Рух електронів здійснюється зовнішніми потенціалами через фіксовані структури мікросхем.

Хвильова природа електрона і використання кінцевих апертур α для обмеження ширини електронного пучка призводять до розсіювання пучка, що пройшов об'єкт. Радіус нерізкості, обумовлений дифракцією при малих кутах, дорівнює:

$$r_g = \frac{0,61\lambda}{\alpha},$$

Граничне розрізнення δ обмежується сферичною та дифракційною похибками може бути виражене через довжину хвилі електрона і постійну сферичної аберації $C_{сф}$:

$$\delta_{\min} = A\lambda^{3/4}C_{сф}^{1/4}.$$

Принциповим обмеженням зменшення значення δ_{\min} є дефокусування, яке досягає довжини хвилі електрона, що дорівнює кільком ангстремам.

КРИСТАЛООПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ З УРАХУВАННЯМ ПРОСТОРОВОЇ ДИСПЕРСІЇ

асп. Скіпальський М.І.

Волинський національний університет імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: mikolaskipalskiy1997@gmail.com

У сучасній фізиці напівпровідників найбільш актуальною областю досліджень є фізика наноструктур, в якій все більший інтерес викликають різні оптичні явища. Це пов'язано в першу чергу з тим, що сучасна електроніка здебільшого стає оптоелектроніка. Нові прилади і прилади вже містять істотну частину оптичних компонент. Для створення таких пристроїв важливо добре розуміти оптичні процеси, що відбуваються в напівпровідникових наноструктурах.

У зв'язку з цим виникає необхідність більш уважного вивчення класичних оптичних явищ в нових умовах. Одним з таких класичних розділів оптики, важливим для розуміння властивостей наноструктур, є кристалооптика з урахуванням просторової дисперсії. Незважаючи на те, що зазвичай просторова дисперсія в оптиці кристалів мала, вона може приводити до якісно нових явищ.

Особливо яскраво просторова дисперсія може проявлятися саме в неоднорідних оптичних середовищах, що містять нанооб'єктів. Уже наявність простої плоскої границі розділу середовищ призводить до суттєвих поправок до формул Френеля, пов'язаних з просторовою дисперсією. Із законів відображення Френеля випливає, що, коли падаюче світло поляризоване лінійно в площині падіння (p поляризація) або перпендикулярно площині падіння (s поляризація), відбите світло також повинно мати p або s поляризацію відповідно. Однак, було встановлено, що це не так. Виявилось, що при відображенні світла навіть від непоглощаючих середовища може відбуватися перетворення поляризацій з p в s , з s в p або з лінійної в циркулярну. Причиною такого відхилення від закону Френеля є просторова дисперсія.

Одним з чудових проявів просторової дисперсії є природна оптична активність (гіротропії). В оптичному діапазоні частот найбільш відоме застосування гіротропії в медицині - це визначення концентрації цукру в крові за кутом повороту площини поляризації лінійно поляризованого світла при його розташуванні в розчині крові. Звісно ж актуально навчитися використовувати дане явище в оптичних компонентах сучасних приладів і пристроїв. Для цього необхідно детально досліджувати прояв гіротропії в напівпровідникових наноструктурах і перш за все в квантових ямах. Мікроскопічна природа гіротропії в напівпровідникових кристалах пов'язана зі спіно-орбітальною взаємодією в структурах, що не мають центру просторової інверсії, і, отже, це оптичне явище тісно пов'язане зі спіновими явищами, інтенсивно вивчаються в останні роки.

Відсутність інверсійної симетрії може бути пов'язано як з об'ємними властивостями кристалічної решітки, так і з асиметрією структури в цілому. Завдяки цьому, підбираючи дизайн наноструктури можна управляти її гіротропного властивостями.

АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ

студ. Федонюк Ю.А.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут
Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,
e-mail: Fedoniuk.Yurii2020@vnu.edu.ua

Віртуальна реальність – це комп'ютерна модель світу, що передається людині через її відчуття, в першу чергу, через зір. Для практичних цілей особливо значимо створення систем віртуальної реальності, що моделюють реальний світ.

Основним змістом таких систем є тривимірні моделі об'єктів. Для створення якісних моделей існує ряд способів, але вони вимагають значних витрат часу на ручну роботу і, відповідно, великих матеріальних вкладень.

Щоб скоротити цей час можна враховувати специфіку класу об'єктів. Одним з таких класів об'єктів є об'єкти з регулярною структурою (рис. 1). Такі об'єкти можуть бути представлені однією або кількома суміжними площинами, на яких з деякою регулярністю розташовані елементи, що повторюються.



Рис 1. Об'єкти реального світу з регулярною структурою.

Для практики серед подібних об'єктів найбільш значущі будівлі. Їх тривимірні моделі використовуються для геоінформаційних систем, наприклад, для картографічних веб-сервісів і мобільних навігаційних систем. Такими сервісами користуються сотні мільйонів чоловік. У світі мільйони будинків і потрібні ефективні інструменти для створення їх тривимірних моделей. Для

побудови реалістичних моделей зазвичай використовуються фотографії. Так як повністю автоматичні алгоритми часто не дають бажаного результату, то можна використовувати взаємодію з користувачем.

УДК 539.104

МОДЕЛЮВАННЯ ЛАЗЕРНО-ІНДУКОВАНОГО ОПТИЧНОГО ПРОБОЮ ТВЕРДИХ ТІЛ

студ. Чернецька А. М.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут
Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,
e-mail: cerneckaanastasia@gmail.com

Обговорено основні особливості лазерного оптичного пробою речовини. Представлено та проаналізовано основні експериментальні дані для різних матеріалів та режимів лазерного опромінення. Спостерігається роль нелінійних та релаксаційних оптичних процесів. Вибираються три типи оптичного пробою: тепловий, плазмовий та прямий. Було показано, що ці процеси можна класифікувати як квантові (прямий оптичний пробій) та польові (плазмові та теплові). Проаналізовано фізико-хімічні, електродинамічні та акустичні аспекти цих явищ. Спостерігається порівняльний аналіз теорій та моделей, які використовуються для спостереження за цими процесами. Обговорюються також питання щодо основних застосувань лазерного оптичного пробою в сучасній оптоелектроніці та створення нових розділів лазерних технологій.

Для аналізу були вибрані експериментальні результати по лазерному пробою карбиду кремнію фемтосекундними імпульсами (тривалість імпульсу 130 фс, довжина хвилі опромінення 800 нм, густина енергії 300 нДж/імпульс, фокусування випромінювання проводилось через мікроскоп, мода TEM₀₀) та хлориду калію наносекундними імпульсами CO₂-лазера (тривалість імпульсу 30 нс, довжина хвилі опромінення 10,6 мкм, густина енергії 2 Дж/імпульс, фокусування випромінювання проводилось за допомогою лінзи). В першому випадку утворювався лінійний каскад руйнувань з п'яти наноструктурованих областей. В другому випадку отримано два лінійних канали по 7 точок в кожному. Структурні дослідження в першому випадку проводились за допомогою електронної мікроскопії (роздільна здатність ~ 2-3 нм), в другому випадку звичайного фотографування (роздільна здатність ~ 2-3 мкм). Відстані між групами руйнувань в першому випадку були ~ 2 мкм, в другому випадку ~ 30 мкм).

Наведено порівняльний аналіз теплової, плазмової та каскадної прямої моделі лазерно-індукованого пробою. Суть теплової та плазмової моделей оптичного лазерно-індукованого пробою твердих тіл полягає в тому, що поглинання на «бруді» дає затравочну концентрацію плазми (електронів), яка призводить до лавинного плазмового або теплового пробою [1]. При цьому пропущена сама процедура набору критичної концентрації, яка б мала включати цілий ряд процесів, що пов'язані з фокусуванням лазерного випромінювання.

Виходячи з цих міркувань була розроблена пряма каскадна модель лазерно-індукованого пробою твердих тіл [2 – 4].

Отже, ланцюжок процесів, який врешті-решт обумовлює оптичний пробій є наступним [2 – 4]:

1. Дифракційне розшарування падаючого випромінювання. Для моделювання була вибрана модель дифракційних кілець Релея. Для карбіду кремнію достатньо було п'яти кілець, для хлориду калію – семи. Це дозволяє пояснити число груп в каскаді руйнування. Воно залежить від довжини хвилі та кута фокусування випромінювання.

2. Фокусування кожного кільця відбувається під одним і тим же кутом. Іншими словами проходить просторове дифракційне розшарування пучка. Фокуси розташовані на відстані пропорційній довжині хвилі та обернено пропорційні тангенсу половинного кута фокусування. З цих міркувань пояснено відстані між групами каскадів для обох матеріалів.

3. Кожен конус відповідного дифракційного кільця є джерелом оптично-індукованого черенковського випромінювання. Для моделювання були синтезовані макроскопічна модель І. Голуба та мікроскопічна модель Нільса та Оге Борів черенковського випромінювання. При цьому твірні конусу черенковського випромінювання перпендикулярні до твірних конусів фокусування. Той факт, що джерелом цього випромінювання є лише шар з товщиною дифракційного кільця дозволяє пояснити поверхневу природу черенковського (конічного) випромінювання.

4. Оптичний пробій обумовлений інтерференцією короткохвильової частини спектру черенковського випромінювання. Це пояснюється довжиною треків пробою, з них приблизно можна визначити показник заломлення, що відповідає області власного поглинання опроміненого матеріалу (фіолетова та ультрафіолетова області спектру). Енергетичний розрахунок показує, що на пробій по такому сценарію витрачається 8 – 15 відсотків падаючої енергії.

5. Розміри та форми нановодів визначаються за допомогою модифікованої моделі Релея та методів механіки пружного тіла.

Таким чином, при оптичному лазерно-індукованому пробіі твердих тіл ми повинні враховувати каскадні процеси трансформації випромінювання, які й обумовлюють оптичний пробій [2 – 4].

1. Вейко В.П., Либенсон М.Н., Червяков Г.Г., Яковлев Е.Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Силовая оптика. – Москва: Физматлит, 2008. – 312 с.

2. Trokhimchuck P. P. Optical breakdown in matter: retrospective and perspective. In: Advanced in Engineering Technology, vol. 3. – New Delhi, AkiNik Publications, 2020. – P. 101-132.

3. Trokhimchuck P.P. Relaxed Optics: Modeling and Discussions, Saarbrücken, Lambert Academic Publishing, 2020. – 249 p.

4. Трохимчук П. П. Нелінійні динамічні системи. – Луцьк; Вежа-Друк, 2020. – 316 с.

УДК 538.9.

КВАНТОВО-РОЗМІРНІ ЕФЕКТИ В ТВЕРДИХ ТІЛАХ

студ. Шевчук І. П.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: iwandivan30@gmail.com

Квантово-розмірні ефекти відіграють важливу роль як у розвитку сучасної теретичної фізики так і нанотехнологій [1].

Першими квантово-розмірними явищами які були детально вивчені, є квантовий ефект Холла [2] та дробовий ефект Холла [3-5].

Квантовий ефект Холла. Константа Клітцинга. Квантовий ефект Холла(КЕХ) – це квантування поперечної провідності двовимірного електронного газу в сильних магнітних полях при низьких температурах. Вимірювання при $T \sim 5$ К показали що холлівська провідність σ_{xy} міняється ступінчато з розтом B і концентрації n^* . Кожна сходинка відповідає збільшенню σ_{xy} на величину кванту провідності

$$\sigma_0 = \frac{e^2}{h},$$

що відповідає кванту резистивності

$$R_k = \frac{1}{\sigma_0} = \frac{h}{e^2} = 25\,812,807\,449 \text{ Ом},$$

величині, названою константою Клітцинга.

Точність визначення сходинок і їх відношення кратним значенням $N\sigma_0$ (N – цілі числа) складають 7-9 значущих цифр. Задовільної теорії, пояснюють таку точність, до цих пір не існує.

Фон Клітцинг за відкриття квантового ефекту Холла отримав в 1985 р. Нобелівську премію.

Дробовий квантовий ефект Холла – явище виникнення плато в залежності поперечної магнітнопровідності від напруженості магнітного поля з дробовими значеннями e^2/h , де e – елементарний електричний заряд, а h – стала Планка.

Ефект виявили Деніел Цуї та Горст Штермер у 1982 році. Вони помітили, що «плато» в холлівському опорі спостерігаються не тільки при цілих значеннях n , але і в істотно сильніших

магнітних полях при $n = 1/3$. Надалі були виявлені плато електричного опору і при інших дробових значеннях n , наприклад при $n = 2/5, 3/7 \dots$

Природа дробового квантового ефекту Холла була пояснена Р. Лаффліном в 1983 році. В 1998 році Цуї, Штермер і Лаффлін отримали Нобелівську премію з фізики за відкриття і пояснення цього явища.

Суть явища полягає в тому, що група електронів «об'єднуються» в нову «частку», заряд якої менше заряду електрона.. Причина полягає у взаємодії між електронами. Магнітне поле створює «вихори», по одному на кожен квант магнітного потоку. Електрон «захоплює» квант магнітного потоку і стає складеною частинкою. З точки зору теорії такі складені частинки описувати набагато легше, ніж вільні електрони. Захоплений квант потоку змінює природу частинок, перетворюючи ферміони в бозони. Електрон, який захопив парне число квантів потоку, стає ферміоном, а непарне число квантів потоку – бозоном. При заповненні на $1/3$ нижнього рівня Ландау кожен електрон приймає три кванти магнітного потоку. Таким чином виходить композитний бозон. Він знаходиться в умовах нульового магнітного поля (воно вже включено в нову частку) і в стані бозе-конденсації в новому енергетичному стані. Можна визначити енергетичну щільність, необхідну для виникнення квантування холлівського опору і для обернення до нуля звичайного опору, експериментальними методами. Коли частина вихорів магнітного поля не захоплена, виникає дробовий дефіцит заряду в кожному з цих вихорів. В порівнянні з електронами, це позитивні дробові заряди. Квазічастинки можуть вільно рухатися і проводити електричний струм. Відмінність в тому, що носії електричного струму – не електрони, а частинки з дробовим зарядом. Дробовий квантовий ефект Холла пояснюється захопленням непарного числа вихорів магнітного потоку кожним електроном.

Таким чином нами проведено порівняльний системний аналіз квантового та дробового ефектів Холла. Ці явища доцільно використовувати при створенні нових елементів та пристроїв наноелектроніки.

- 1.Графен. А. Г. Алексенко. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 168с.
- 2.Фон Клітцинг К. Квантовый эффект Холла. УФН 537.311.322, Том 150, 1986 – С. 108 – 126.
- 3.Штермер Х. Дробовий квантовий ефект Холла. УФН 2000, Том 170, №3 2000 – С. 305 – 319.
- 4.Цуи Д. Соотношение беспорядка и взаимодействия в двумерном электронном газе, помещенном в сильное магнитное поле. УФН 2000, Том 170, №3 2000 – С. 321 – 324.
- 5.Лафлин Р. Б. Дробное квантование. УФН 2000, Том 170, №3 2000 – С. 293 – 303.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СТРУКТУРИ ТВЕРДИХ ТІЛ

студ. Шигорін О.П., Шурин М.В.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут
Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,
e-mail: apfpd.lutsk@gmail.com

В комп'ютерному моделюванні електронної структури твердих тіл можна виділити два загальні класи методів: обчислення електронної структури, які намагаються на певному рівні наближення розв'язати рівняння Шредінгера для системи та моделювання, в яких використовуються ефективні потенціали, що описують міжатомні сили в системі і які можуть бути використані для прогнозування структурних та динамічних властивостей твердого тіла за допомогою, по суті, класичних методів. У методах моделювання детальні ефекти електронної структури входять до «ефективних потенціалів». Тип використовуваної моделі потенціалу залежить від класу твердої речовини.

Найважливішим етапом будь-якого моделювання є параметризація потенціалу. Для розвитку міжатомних потенціалів все частіше застосовують квантово-механічні кластерні розрахунки. Стратегія полягає в систематичному варіюванні геометрії скупчення та пристосуванні отриманої поверхні потенціальної енергії до моделі ефективно-потенційного. Значний прогрес був досягнутий у розробці міжатомних потенціалів для металів. Коди моделювання, як правило, базуються на одній із трьох методик: мінімізація енергії, молекулярна динаміка та методи Монте-Карло. Мінімізація енергії просто передбачає створення конфігурації найнижчої потенційної енергії для даної моделі потенціалу. Методи молекулярної динаміки, які явно включають кінетичну енергію в моделювання, широко використовуються для вивчення процесів швидкої дифузії в твердих тілах та властивостей матеріалів при високих температурах, для яких методи, які передбачають гармонійні коливання решітки, вже не діють. Методика Монте-Карло - це, по суті, метод обчислювальної статистичної механіки, при якому зміни структури послідовно вносяться навмання, причому конфігурації приймаються або відхиляються залежно від енергетичного критерію. Для вивчення твердого стану вдалим методом моделювання є метод Мотта-Літлттона для вивчення властивостей дефектів. Цей підхід поєднує мінімізацію енергії локалізованої області решітки навколо дефекту з неперервною обробкою поляризації решітки кристала.

Шкода, що не було зроблено спроб критичного порівняння достоїнств та недоліків багатьох потенційних моделей, які зараз існують. Але більш загальне дослідження моделювання потенціалів призвело до того, що Стоунхем і Хардінг дійшли висновку, що в даний час найкращі

емпіричні потенціали мають набагато більшу продемонстровану точність, ніж явні рішення рівняння Шредінгера.

1. Catlow, C. R. A.; Price, G. D. Computer Modelling of Solid State Inorganic Materials. Nature (1990)

2. Winsberg E. , Computer Simulations in Science , [in:] Stanford Encyclopedia of Philosophy, CSLI, Stanford University, April 23, 2015 , ISSN 1095-5054 [accessed 2018-01-16] (eng.).

УДК 534-042.4:004

КОМП'ЮТЕРНА ФІЗИКА В ЗАДАЧАХ НА МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ

студ. Шкабура А. В., студ. Лисюк О., студ. Боровський Б.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: andrijshkabura1998@gmail.com

Врахування всіх особливостей коливального процесу при його теоретичному дослідженні приводить до практично нерозв'язної задачі. Тому важливим моментом тут є виокремлення основних факторів, які є вирішальними в описі тих рис поведінки системи, які нас цікавлять. В результаті ми одержуємо математичну модель досліджуваного процесу, для опису якої застосовуємо засоби математики і зрештою приходимо до необхідності розв'язання диференціальних рівнянь другого порядку, що в багатьох випадках є доволі складною задачею.

Метою даного дослідження є продемонструвати потужні можливості система комп'ютерної алгебри (СКА) Maple [1], в якій знаходження розв'язків задач на коливання суттєво спрощується. Як приклад використання СКА Maple для дослідження нелінійних коливань в механічних системах розглянуто задачу про два математичні маятники з'єднані пружиною [2]. Було розглянуто два випадки: 1) коливання є малими і відповідні рівняння спрощуються, що допускає знаходження їх аналітичних розв'язків, показано як це можна реалізувати в СКА Maple, коли система виконує за дослідника складні рутинні розрахунки; 2) загальний випадок довільних коливань також вдається доволі просто реалізувати в СКА Maple, одержати чисельні розв'язки рівнянь та зобразити графічно залежність кутів відхилення маятників від часу.

Отже, на прикладі розв'язання класичної задачі на дослідження коливань ми продемонстрували наскільки ефективною в цьому випадку є СКА Maple, наскільки просто знаходиться розв'язок диференціальних рівнянь, які виникають в таких задачах. Крім того, елементарні засоби програмування в СКА Maple дозволяють створити модель досліджуваної системи та спостерігати коливальні процеси в ній. Важливою є також практична сторона цього

дослідження: його результати використовуються на відповідному практичному занятті з теоретичної механіки.

1. Матросов А.В. Maple 6. Решение задач высшей математики и механики: практическое руководство. СПб.: БХВ-Петербург, 2001. 528 с.

2. Сахнюк В.С. Класична механіка в СКА Maple: малі коливання: методичні рекомендації. Луцьк: Вежа-Друк, 2014. 64 с.

УДК 537.9

ОПТИЧНІ АНАЛОГІЇ В РОЗСІЯННІ ЕЛЕКТРОНІВ НА ПОТЕНЦІАЛЬНИХ СХОДИНКАХ В ГРАФЕНІ

студ. Шкабура А. В., студ. Федонюк Ю. А.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: andrijshkabura1998@gmail.com

Графен, маючи унікальні властивості, приваблює не тільки з точки зору його можливостей застосування, але й з фундаментальної точки зору [1,2]. Особливістю електронної структури графену є релятивістський закон дисперсії носіїв заряду, рух яких описується рівнянням Дірака. Одним з найяскравіших проявів релятивістського характеру електронів у графені є їх властивість з одиничною ймовірністю тунелювати через потенціальні бар'єри, що фактично означає неможливість локалізувати їх потенціальними полями – явище, відоме як парадокс Кляйна [3].

В даній роботі досліджувалося поширення електронів крізь потенціальну сходику в графені висоти V_0 , на яку налітає електрон з енергією $E > 0$ (Рис 1). Метою роботи є теоретично дослідити тунелювання електронів крізь потенціальну сходику в графені та навести аналогії з поширенням світлового променя із одного оптичного середовища в інше; одержати аналітичний вираз для коефіцієнта проходження та відбиття електронів на межі потенціальної сходики. Розглядатимемо дві області, одна для $x < 0$, що відповідає кінетичній енергії $E_{kin} = E$, друга для $x > 0$, що відповідає кінетичній енергії $E_{kin} = E - V_0$. Можемо навести аналогію з оптичною системою: наша система еквівалентна світловому променю, що проходить через межу між двома прозорими середовищами. В залежності від співвідношення між енергією налітаючого електрона та висотою потенціальної сходики розглянуто три випадки: 1) $E - V_0 < 0$, $V_0 > 0$, 2) $E - V_0 > 0$, $V_0 > 0$, 3) $E - V_0 > 0$, $V_0 < 0$. Найцікавішим виявився випадок 1, для якого із закону збереження імпульсу одержано співвідношення між кутами, що утворюють з віссю Ox напрями поширення електрона до і після межі сходики $E \sin \varphi = -(E - V_0) \sin \theta_t$. Останню рівність можна розглядати як аналог

рівняння Снеліуса для заломлення світла в середовищі з негативним показником заломлення n : заломлений промінь знаходиться по той самий бік від перпендикуляра, що й падаючий, що є досить незвично (Рис. 2). В оптиці середовища з негативним показником заломлення – так звані метаматеріали – останнім часом привертають багато уваги [4].

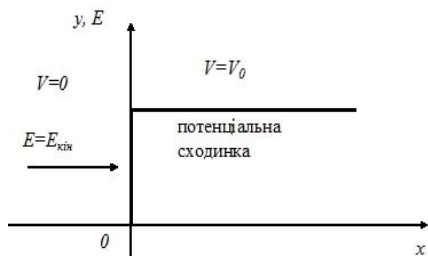


Рис. 1. Електрон з енергією E налітає зліва на прямокутну потенціальну сходи́нку висотою V_0 ($V_0 > E$).

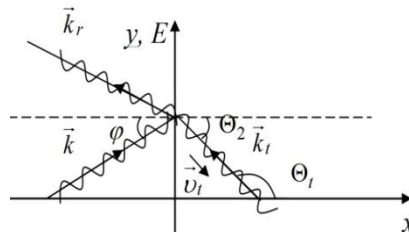


Рис. 2. Схематичне зображення процесу розсіяння електрона на межі потенціальної сходи́нки у графені. $E - V_0 < 0$, $V_0 > 0$.

З основних наукових результатів одержаних в дослідженні можна виділити такі:

1) Показано, що залежно від знаку кінетичної енергії електрона в графені його поведінка описуватиметься осцилюючою хвилею ($E_{kin} < 0$), або згасаючою хвилею ($E_{kin} > 0$). Можливість реалізації обох випадків продемонстрована на прикладі поширення електрона за наявності на його шляху потенціальної сходи́нки.

2) Наведено аналогію процесу розсіяння електрона на потенціальній сходи́нці в графені з процесом поширення світлового променя із одного оптичного середовища в інше через різку межу. Показано, що при енергії електрона меншій за висоту потенціальної сходи́нки одержуємо співвідношення між кутами хвильових векторів для електрона в і поза сходи́нку, яке є аналогічне до рівняння Снеліуса з від'ємним показником заломлення.

3) Показано, що для кута падіння рівного нулеві ймовірність проходження електрона крізь межу потенціальної сходи́нки дорівнює одиниці. Також існує кут, вище якого ця ймовірність рівна нулеві, що еквівалентно повному внутрішньому відбиванню в оптиці.

1. Novoselov K. S., Geim A. K., Morozov S. V., Jiang D, Zhang Y, Dubonos S. V., Grigorieva I V, Firsov A A. Electric field effect in atomically thin carbon films. Science. 2004. Vol. 306(5696) P. 666–669.

2. Гусинін В. П., Локтев В. М., Шарапов С. П. Графен: неймовірне стало можливим. Вісн. НАН України. 2010. № 12. С. 51–59.

3. Горбар Е. В., Шарапов С. Г. Основи фізики графену: навчальний посібник. Київ: Поліграфічна дільниця ІТФ ім. М. М. Боголюбова НАН України, 2013. 118 с.

4. Buriak I. A., Zhurba V. O., Vorobjov G. S., Kulizhko V. R., Kononov O. K., Rybalko O. Metamaterials: Theory, classification and application strategies (review). Journal of Nano- and Electronic Physics. 2016. vol. 8(4). P.04088-1–04088-11.

EMISYJNA TOMOGRAFIA POZYTONOWA JAKO NARZĘDZIE BADAN CHOROB NOWOTWOROWYCH

студ. Кот Ю.О.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: yuliakot898@gmail.com

Z danych wynika, że podstawą skutecznego leczenia raka jest wczesna diagnoza-zarówno pierwotnej choroby, jak i jej nawrotu. Dlatego konieczne było, aby doprowadzić do pojawienia się nowego sprzętu diagnostycznego, którego czułość jest znaczniewyższa niż konwencjonalnych tomografów komputerowych. W diagnostyce medycznej potrzeba dużo czasu, zanim nowa technologia obrazowania stanie się odpowiednia dopraktyki klinicznej. Aby poprawnie zinterpretować obraz, konieczne są dalsze badania.W związku z powyższym,w dzisiejszych czasach na świecie intensywnie rozwija się ijest wprowadzana do praktyki klinicznej pozytonowa tomografia emisyjna (PET).Zastosowanie diagnostycznych systemów PET znacznie poprawia diagnozę i leczeniezarówno pierwotnego raka, jak ijego nawrotu, co może znacząco wpłynąć na terminowość i jakość dalszej terapii.PET jest diagnostyczną i badawczą metodą medycyny nuklearnej. Podstawą tej metody jest możliwość monitorowania rozmieszczenia biologicznie aktywnych związków znakowanych radioizotopami promieniującymi pozytonprzy użyciu specjalnego sprzętuw krywającego (skaner PET).

Przewaga PET nad innymi metodami diagnostycznymi polega na tym, że pokazujeon tylko żywą tkankę nowotworową. Po przebiegu leczenia (na przykład bezpośredniopocyklu chemioterapii) obrazowanie rezonansu magnetycznego lub tomografia komputerowa pokazuje pozostałości guza. Zgodnie z wynikami badania PET można z całą pewnością sprawdzić, czy nadal są w nim żywe komórki rakowe, czy też jest to już martwa tkanka resztkowa. Dlatego za pomocą PET można monitorować skuteczność leczenia i oceniać ryzyko nawrotu u pacjenta. PET jest najważniejszy w onkologii (ponad 80 wszystkich badań), kardiologii, neu-rologii. Wskazania do pozytonowej tomografii emisyjnej w praktyce onkologicznej: 1. określenie rozpowszechnienia procesu; 2. ocena stopnia złośliwości; 3. ocena skuteczności leczenia; 4. terminowa diagnoza nawrotów; 5. test prognostyczny.

2. Clinical Nuclear Medicine /Eds. G. Cook, M. Maisey, K. Britton, V. Chengazy. – London: Hodder Arnold, 2006. – 915 p.
3. Diagnostyka radionuklidów / wyd. Yu. Lishmanova, V. Chernova. - Tomsk: STT, 2004. - 394 s.
4. Gilbert K.M. Evaluation of a positron emission tomography (PET) — compatible field-cycled MRI / K.M. Gilbert, T.J. Scholl, W.B. Handler et al. // FCMRI scanner. — 2009. — Vol. 1025. — P. 1017-1025.

UDC: 534, 535, 535.012

MODELLING OF VIBRATIONAL PROPERTIES OF AgGaS₂ CRYSTALS

ressci, PhD stud., Rudysh M.Ya.

Jan Dlugosz University in Częstochowa, Al. Armii Krajowej 13/15, Czestochowa,
Educational and Scientific Physical and Technological Institute of
Lesya Ukrainka Volyn National University, 9 Potapova str., Lutsk,
Ivan Franko National University of Lviv, 19 Dragomanov str., Lviv, Ukraine,
Lviv Polytechnic National University, 12, Bandera str., Lviv
e-mail: rudysh.myron@gmail.com

The study of the structure of phonon spectra has both fundamental and applied significance. It is known that the study of phonon spectra provides important information about the dynamics of the crystal lattice, its structural perfection, allows us to study the phase transformations, etc. Ternary semiconductor crystals of group I-III-VI₂ where I = Cu, Ag; III = Al, In, Ga; VI = S, Se, and Te, is a class of materials with chalcopyrite structure. These compounds are important for practical use in various fields, in particular in optoelectronics, photovoltaics, thermoelectricity, nonlinear optics, etc. Recently, the complex theoretical approach for AgGaTe₂ crystal study was applied [1]. Also, one of the well-known representatives of this group are AgGaS₂ crystals.

The aim of this work is to conduct a theoretical study of the lattice dynamics of ternary chalcogenide AgGaS₂ crystals with chalcopyrite structure and to compare the obtained results with the available experimental data to assess the predictive power of the chosen approach.

In this work the first principles calculations within density functional theory (DFT) was used [2-4]. For the description of the exchange-correlation interaction the local density approximation (LDA) was used. The phonon calculation for titled crystal was performed within the density functional perturbation theory, similarly as was done in [1, 5]. For the investigated crystal, the lattice contains $N = 8$ atoms in the cell. Therefore, the vibrational representation contains $3 \times 8 = 24$ dispersion branches. Thus, there are 24 normal modes of vibrations in the center of the Brillouin zone in the vibrational spectrum. Three acoustic modes, and the rest are optical. Analysis based on the general method gives the following irreducible representations of acoustic and optical modes in the center of the Brillouin zone:

$\Gamma_{vib} = 1A_1 + 2A_2 + 3B_1 + 4B_2 + 7E$. The following irreducible representation corresponds to three acoustic modes $\Gamma_{aco} = 1B_2 + 1E$, while the optical vibration has $\Gamma_{opt} = 1A_1 + 2A_2 + 3B_1 + 3B_2 + 6E$ representation. The band diagram consists of 24 branches, which is consistent with the number of modes obtained from the symmetric analysis. There is an insignificant dispersion of phonons, which increases when approaching the center of the Brillouin zone. Low-frequency optical branches interact with acoustic ones. The highest frequency of the phonon is 389 cm^{-1} in the segment between the points $Z - \Gamma$. The density of states $N(\omega)$ indicates two forbidden intervals from 189.4 cm^{-1} to 219.5 cm^{-1} and from 255.9 cm^{-1} to 300.27 cm^{-1} on which the vibrations occur.

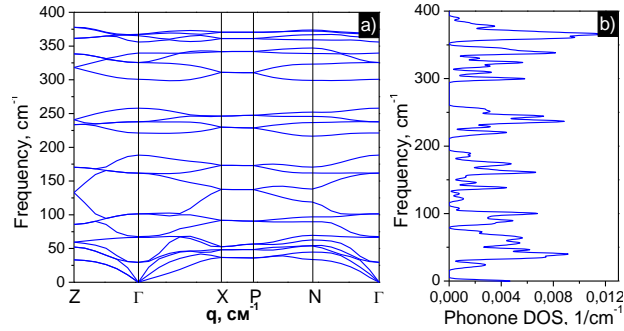


Fig. 1. Calculated phonon dispersion (a) and DOS $N(\omega)$ (b) of AgGaS_2 crystals.

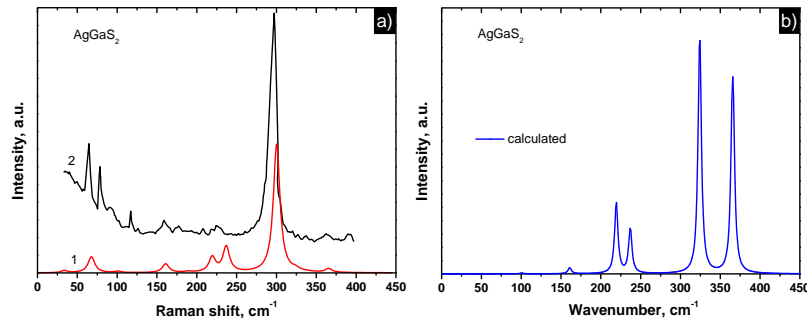


Fig. 2. The Raman (a) and Infrared (b) spectra for AgGaS_2 crystal.

The analysis of partial contributions to the phonon density of states is carried out. The Raman and IR spectra are calculated. The experimental Raman spectra reported in [6] have shown a good agreement with the calculated spectra obtained in this study. Obtained results have shown the strong predictive power of theoretical methods in study of the vibrational properties of ternary semiconductors.

M. Ya. Rudysh thanks the support by the PRELUDIUM 15 program of Polish National Science Center (Grant No. 2018/29/N/ST3/02901).

1.M. Ya. Rudysh, M. Piasecki, G.L. Myronchuk, P.A. Shchepanskyi, V. Yo. Stadyk, O.R. Onufriv, M.G. Brik, *Infrared Phys. Technol.* **111**, 103476 (2020).

2.M. Ya. Rudysh, P.A. Shchepanskyi, A.O. Fedorchuk, M.G. Brik, C.-G. Ma, G.L. Myronchuk, M. Piasecki, *J. Alloys Compd.* **826**, 154232 (2020).

3. Majchrowski, M. Chrunik, M. Rudysh, M. Piasecki, K. Ozga, G. Lakshminarayana, I.V. Kityk, J. Mater. Sci. **53** (2), 1217-1226 (2018).
4. R. Muruganatham, W.-R. Liu, C.-H. Lin, M. Rudysh, M. Piasecki, J. Energy Storage. **26**, 100915 (2019).
5. M. Ya. Rudysh, A.I. Kashuba, V. Yo. Stadnyk, R.S. Brezvin, P.A. Shchepanskyi, V.M. Gaba, Z.O. Kohut, J. Appl. Spectrosc. **85** (6), 1022-1028 (2019).
6. H. Matsushita, S. Endo, T. Irie, JJAP, **31**, 18 (1992).

UDC: 534, 535

INVESTIGATION OF ELECTRONIC AND ELASTIC PROPERTIES OF AgGaTe_2 CHALCOPYRITE CRYSTALS: DFT STUDY

ressci, PhD stud., Rudysh M. Ya.^{1,2,3,4}, prof. Piasecki M.¹, prof. M.G. Brik^{1,5,6}

¹Jan Długosz University in Częstochowa, Al. Armii Krajowej 13/15, Częstochowa,
e-mail: rudysh.myron@gmail.com,

²Educational and Scientific Physical and Technological Institute of
Lesya Ukrainka Volyn National University, 9 Potapova str., Lutsk,

³Ivan Franko National University of Lviv, 19 Dragomanov str., Lviv, Ukraine,

⁴Lviv Polytechnic National University, 12, Bandera str., Lviv,

⁵CQUPT-BUL Innovation Institute & College of Sciences, Chongqing University of
Posts and Telecommunications, Chongqing

⁶Institute of Physics, University of Tartu, W. Ostwald Str. 1, Tartu

Silver gallium telluride (AgGaTe_2) is a ternary chalcogenide crystal that belongs to a family of materials with chalcopyrite structure. It is the member of I-III-VI₂ group where I = Ag, Cu; III = Ga, Al, In; VI = S, Se, and Te. These materials are known because of their attractive physical properties which have potential for practical application in different types of devices. Particularly, it is known that the AgGaTe_2 crystals are prospective for using as thermoelectrical materials. The high absorption coefficient makes these materials interesting for the absorbing layer for thin-film solar cells production. It is known, that AgGaTe_2 crystalize in the chalcopyrite structure, which is described by the $I-42d$ space group. Today, the information on some physical properties important for the construction of the devices for practical usage is still lacking. Particularly, there is no information reported on elastic properties, nonlinear properties, and parametric effects under external fields like stress, electromagnetic field, temperature, etc.

In this work, we present the results of complex theoretical investigations of the optical, electronic, parameters of AgGaTe_2 crystals. The presented results are received by the *ab initio* calculations. The calculations were carried out using the plane-waves pseudopotential method based on the density functional theory (DFT). The effects of exchange and correlation of electrons were taken into account as

the local density approximation LDA/CA-PZ parameterization and the generalized gradient approximation GGA/PBE were used. The valence electrons have the following configuration: Ag $4d^{10} 5s^1$; Ga $3d^{10} 4s^2 4p^1$ and Te $5s^2 5p^4$. The unit cell geometry was relaxed by BFGS algorithm. For self-consistent electronic minimization, the eigen energy convergence tolerance was chosen at 24×10^{-7} eV and the tolerance of the electronic total energy convergence was 10^{-5} eV/atom. The convergence parameters used during optimization were as follows: the maximum force 3×10^{-2} eV/Å; maximum pressure 5×10^{-3} GPa and maximum displacement 1×10^{-4} Å.

It was established that the crystal has a direct bandgap located at Γ -point of the Brillouin zone. The calculated band gap value is equal to $E_g = 0.164$ eV and $E_g = 0.324$ eV for the GGA and LDA functionals [1]. The underestimation of the band gap was fixed using the scissor operator of 1.156 eV and 0.996 eV values, respectively. The analysis of the calculated total and partial density of state diagrams shows that the valence band top levels are formed by $4d$ states of silver and $5p$ states of tellurium and the bottom levels of the conduction band are formed by the $5p$ states of tellurium and gallium $4s$ states.

Using the band structure diagrams the optical spectra of the dielectric function, refractive indices and extinction coefficients were obtained. The calculated optical spectra reveal excellent agreement with the published experimental spectra received from optical ellipsometry for the wide range of energies. The dielectric function, refractive indices and extinction coefficient reveal relatively insignificant anisotropy along with main crystallographic directions.

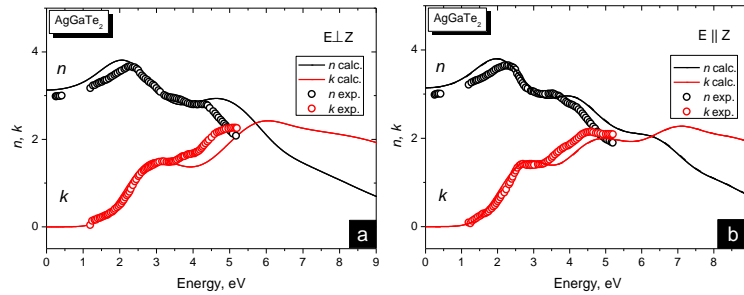


Fig. 1. The calculated refractive and extinction coefficients of the AgGaTe_2 crystals for (a) $E \perp Z$ and (b) $E \parallel Z$.

The elastic constants coefficients for the tetragonal symmetry of C_{ij} matrix are calculated using DFT calculation [2]. The elastic properties have a significant anisotropy as can be seen from 3D spatial distribution of Young's modulus $E(\varphi, \theta)$ [3]. From the elastic properties, the characteristics of the sound propagation along different directions in a solid were estimated. The sound velocities for the longitudinal v_l and transversal v_t modes of the AgGaTe_2 crystal were calculated using the C_{ij} values obtained in this work. Good agreement between all calculated and corresponding experimental data was achieved, which serves as firm proof of the applicability of the used calculation method to the studies of anisotropic crystalline materials.

M. Ya. Rudysh thanks the support by the PRELUDIUM 15 program of Polish National Science Center (Grant No. 2018/29/N/ST3/02901).

1. M. Ya. Rudysh, M. Piasecki, G.L. Myronchuk, P.A. Shchepanskyi, V. Yo. Stadnyk, O.R. Onufriv, M.G. Brik, *Infrared Phys. Technol.* **111**, 103476 (2020).

2. M. Ya. Rudysh, P.A. Shchepanskyi, A.O. Fedorchuk, M.G. Brik, C.-G. Ma, G.L. Myronchuk, M. Piasecki, *J. Alloys Compd.* **826**, 154232 (2020).

3. Majchrowski, M. Chrunik, M. Rudysh, M. Piasecki, K. Ozga, G. Lakshminarayana, I.V. Kityk, *J. Mater. Sci.* **53** (2), 1217-1226 (2018).

УДК 536.5, 535.3

БЕЗКОНТАКТНІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ТЕРМОСЕНСОРИ: ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ПРИНЦИП ДІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ

Дейна В., Сташук Р.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут
Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,
e-mail: zulkokarier@gmail.com

У всіх сучасних електронних пристроях застосовують термосенсори, які вимірюють температуру середовища, твердого тіла чи будь-якої речовини, використовуючи властивість варіації параметрів вимірювальних тіл при зміні температури. Крім того, ми використовуємо датчики температури у своєму повсякденному житті, будь то у формі термометрів, побутових водонагрівачів, мікрохвильових печей або холодильників. Зазвичай датчики температури мають широкий спектр застосування, зокрема у медицині, металургії, геотехнічному та атмосферному моніторингу та різних галузях промисловості. Особливо важливим є конструювання безконтактних сенсорів температури, де звичайні термодатчики не можуть здійснити вимірювання внаслідок впливу на них екстремальних фізичних параметрів (високої температури, радіації, тиску) та неможливості проникнення до точки реєстрації температури.

Безконтактні термосенсори вимірюють температуру, завдяки їх чутливості до електромагнітного випромінювання. У найпростішій конфігурації лінза фокусує випромінювання на детекторі, який у свою чергу перетворює цю енергію в електричний сигнал. Після компенсації температури навколишнього середовища цей сигнал подається на дисплей, як показник температури досліджуваного тіла. Такий принцип дії дозволяє вимірювати температуру з певної відстані, не вимагаючи контакту з об'єктом.

Одним із методів створення безконтактних оптичних термосенсорів ґрунтується на чутливості фотолюмінесцентного (ФЛ) випромінювання до температурних змін [1]. У зв'язку із цим

проводяться дослідження ефективності випромінювання люмінесцентних центрів у халькогенідних напівпровідниках. При збудженні лазером із довжиною хвилі 980 нм досліджено спектри ФЛ в монокристалі $(\text{Ga}_{54,59}\text{In}_{44,66}\text{Er}_{0,75})_2\text{S}_{300}$ при різних температурах. На основі спектрів антистоксової та стоксової ФЛ монокристалу $(\text{Ga}_{54,59}\text{In}_{44,66}\text{Er}_{0,75})_2\text{S}_{300}$ розрахована інтегральна інтенсивність ФЛ для максимумів 805 і 1540 нм. Встановлено, що інтегральна інтенсивність ФЛ лінійно залежить від температури зразка. Така залежність є підставою рекомендувати монокристал $(\text{Ga}_{54,59}\text{In}_{44,66}\text{Er}_{0,75})_2\text{S}_{300}$ як матеріал для конструювання оптичних сенсорів температури.

1. Effect of temperature on the structure and luminescence properties of $\text{Ag}_{0,05}\text{Ga}_{0,05}\text{Ge}_{0,95}\text{S}_2\text{-Er}_2\text{S}_3$ glasses / V. V. Halyan, I. V. Kityk, A. H. Kevshyn [and others]. *J. Lumin.* 2017. Vol. 181. P. 315–320.

УДК 539.2: 536.421.1

ОПТИМІЗАЦІЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ $\text{ZnO}/\text{CdS}/\text{CdTe}$ В СЕРЕДОВИЩІ SCAPS

асп. Запукхляк Ж.Р., студ. Катанова Л.О.

ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»,
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна,
e-mail: zhanna.zapukhlyak@pnu.edu.ua

На даний час аналізувати експериментальні вимірювання без побудови точної моделі практично неможливо, тому чисельне моделювання має ряд переваг та велике значення для розуміння фізичних властивостей та конструкції сонячних елементів на основі кристалічних, полікристалічних та аморфних матеріалів.

Чисельне моделювання необхідне для інтерпретації розширених вимірювань на складних структурах, проте не всі програми мають повноцінний математичний апарат для аналізу комірки від етапу її створення до розрахунку кінцевих параметрів, зокрема фактору заповнення (FF) та ефективності (η).

SCAPS (Solar Cell Capacitance Simulator) – це одновимірна програма моделювання тонкоплівкових сонячних елементів, розроблена на кафедрі електроніки та інформаційних систем (ELIS) університету в Генті (Бельгія).

Спочатку програма була розроблена для структур CuInSe_2 та сімейства CdTe . Останні розробки дають можливість застосовувати програму також для кристалічних (сімейство Si та

GaAs) та аморфних (a-Si та мікрморфний Si) сонячних елементів. SCAPS видає результати комп'ютерного моделювання на панелі результатів у вигляді характеристик: $J(V)$, $C(V)$, $C(f)$, зонних діаграм, густини розподілу носіїв чи струмів часткової рекомбінації для кожного проміжного значення напруги зсуву або довжини хвилі

У даній роботі виконано комплексне моделювання фотоелектричних властивостей комірки на основі гетероструктури ZnO/CdS/CdTe. Автори дослідили як введення кожного нового шару та його товщина впливають на ефективність кінцевої комірки. При цьому, додаючи кожен наступний шар, щоразу переглядалися властивості нової гетеросистеми.

Структура пристрою сонячного елемента, яка використовувалась в кінцевому моделюванні, зображена на рис. 1.

Результати моделювання для гетероструктури ZnO/CdS/CdTe ($d_{CdTe}=3$ мкм, $d_{CdS}=50$ нм), товщина шару ZnO варіювалась в діапазоні 10-300 нм, наведено на рис. 2. Визначено найкращі значення ефективності такої системи: 15,15% та 18,68% (з та без дефектів, відповідно). Сформульовано висновок, що ефективність кінцевої структури ZnO/CdS/CdTe більшою мірою залежить від добре підібраних між собою товщин шарів CdS та CdTe.

Встановлено, що матеріал заднього контактного шару також впливає на ефективність кінцевої комірки. Перспективним матеріалом, що використовується як шар заднього контакту в сонячних елементах CdTe, є CuO [3].

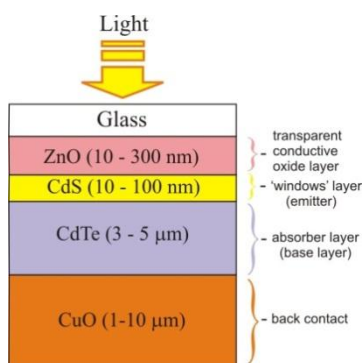


Рис. 1. Будова сонячного елемента на основі CdTe для кінцевого моделювання готових пристроїв.

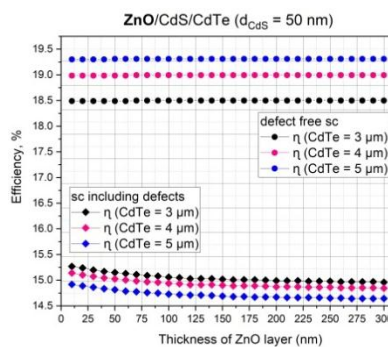


Рис. 2. Зміна величини ефективності η для гетеропереходу ZnO/CdS/CdTe як функції товщини шару прозорого провідного оксиду ZnO ($d_{ZnO}=10-300$ нм).

Він характеризується як нетоксичний, легкодоступний та недорогий матеріал, що має високий коефіцієнт поглинання у видимому діапазоні [4]. Товщина шару варіювалась в межах 1-10 мкм з кроком 1 мкм. Найвище значення ефективності при введенні шару CuO становило $\sim 20,94\%$ ($d_{CuO}=5$ мкм).

Дослідження виконується в рамках проекту молодих вчених МОН України «Технологія та комп'ютерна симуляція оптимізованих фотоелектричних систем II покоління на основі сполук II-VI» номер державної реєстрації 0121U108153.

1. Morales-Acevedo, N. Hernández-Como, G. Casados-Cruz, Modeling solar cells: a method for improving their efficiency, Mater. Sci. Eng. B 177(16), 1430–1435 (2012) (<https://doi.org/10.1016/j.mseb.2012.01.010>).

2. M. Burgelman, J. Verschraegen, S. Degraeve, P. Nollet, Modeling thin-film PV devices, Prog. Photovoltaics Res. Appl. 12(2-3), 143–153, (2004) (<https://doi.org/10.1002/pip.524>).

3. G. Wisz, P. Sawicka-Chudy, P. Potera, M. Sibiński, R. Yavorskyi, Ł. Głowa, B. Cieniek, M. Cholewa, Morphology, composition, structure and optical properties of thermal annealed Cu₂O thin films prepared by reactive DC sputtering method, Molecular Crystals and Liquid Crystals 672(1), 81-91 (2018) (<https://doi.org/10.1080/15421406.2018.1542110>).

4. P. Sawicka-Chudy, M. Sibiński, E. Rybak-Wilusz, M. Cholewa, G. Wisz, R. Yavorskyi, Review of the development of copper oxides with titanium dioxide thin-film solar cells, AIP Advances 10(1), 010701 – 010701-15 (2020) (<https://doi.org/10.1063/1.5125433>).

УДК 53.096

ОСОБЛИВОСТІ МІЖДОЛИННОГО РОЗСІЯННЯ В n-Si В ТЕМПЕРАТУРНОМУ ІНТЕРВАЛІ 78-300 К

доц. Захарчук Д.А., студ. Фесь І.А.

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська 75, м. Луцьк,

e-mail: dima.zakharchuk@gmail.com

Розсіяння носіїв заряду в n-Si характеризується рядом особливостей, що пов'язано, в першу чергу, з суттєвою роллю міждолинного розсіяння. Міждолинне розсіяння в n-Si зумовлено переходами, котрі супроводжуються випромінюванням або поглинанням електроном фонона з високим значенням імпульсу, тобто фонона, з достатньо високою енергією, який може бути або акустичним, або оптичним. Тому міждолинне розсіяння може бути суттєвим лише при досить високих температурах [1].

З метою в'яснення ролі f- і g-переходів у міждолинному розсіянні, досліджено ефект поздовжнього п'єзоопору, пов'язаний з міжмінімумним переселенням носіїв заряду при одновісній пружній деформації n-Si для випадку $X||J||[100]$. Результати дослідження п'єзоопору на кристалах n-Si, для яких в області температур 78-300К виконувались умови переважно фононного розсіяння ($n_e = 4.09 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$) зображено на рис. 1.

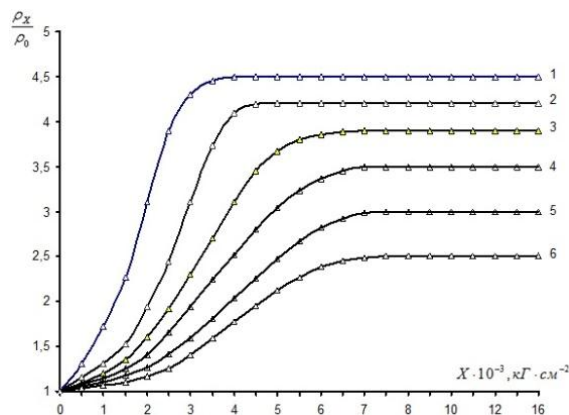


Рис. 1. Залежності $\frac{\rho_x}{\rho_0} = f(X)$ n-Si ($n_e = 4.09 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$) для T, K: 1-78, 2-118, 3-158, 4-198, 5-238, 6-300.

Така поведінка залежностей $\frac{\rho_\infty}{\rho_0} = f(T)$ пояснюється різним внеском міждолинного розсіювання

f-типу в чисельник (ρ_∞) та знаменник (ρ_0) відношення $\frac{\rho_\infty}{\rho_0}$, а саме: при $X > 12000 \frac{\text{кГ}}{\text{см}^2}$, у чисельнику внесок міждолинного розсіювання виявляється повністю виключеним у досліджуваному температурному інтервалі внаслідок повного переселення електронів у мінімуми, які опускаються при одновісній деформації у напрямку [100], тоді як внесок міждолинного розсіювання в ρ_0 зі збільшенням температури тільки зростає.

Крім того, наявність міждолинного розсіювання призводить до зменшення значень X, при яких спостерігається вихід на насичення залежностей $\frac{\rho_x}{\rho_0} = f(X)$ з ростом температури, а залежності $L_g(C \cdot 10^4) = f(X)$, якими користуються для визначення константи деформаційного потенціалу ϵ_u , стають нелінійними при даних температурах [2]. Виникають труднощі також при визначенні параметру анізотропії K в області $T > 100\text{K}$ на основі вимірювання лише значень поздовжнього п'єзоопору ($\rho_{//}$). Враховуючи вищезазначене, є підстави вважати, що міждолинне розсіювання в n-Si суттєво впливає на больцманівський перерозподіл носіїв між долинами, що опускаються та піднімаються при одновісній пружній деформації.

Тому для визначення параметрів анізотропії k і k_t в широкій області температур, крім значень поздовжнього п'єзоопору $\rho_{//}$, необхідні вимірювання й поперечного п'єзоопору ρ_{\perp} , в області насичення. Відповідні дослідження показали, що при умові переважаючого акустичного розсіювання при температурі 78 K зміна даних параметрів, визначених обома методами, несуттєва, і не виходить за межі точності експерименту, що узгоджується з висновками теорії анізотропного розсіювання.

1.Баранский П.И., Федосов А.В., Гайдар Г.П. Фізичні властивості кристалів кремнію та германію в полях ефективного зовнішнього впливу. - Луцьк. "Надстир'я", 2000.- 280 с.

2.Баранский П.И., Буда И.С., Даховский И.В., Коломеец В.В. Электрические и гальваномагнитные явления в анизотропных полупроводниках. - К.: Наукова думка, 1977. - 269с.

ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНИХ ТА П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ КРИСТАЛІВ ТАНТАЛАТУ ЛІТІЮ УЛЬТРАЗВУКОВИМ МЕТОДОМ

студ. Їдак І. В., асп. Підгорний Д. О.

кафедра прикладної фізики і наноматеріалознавства,

Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, 79013, вул.Устияновича 5,

e-mail: ihor.yidak.pf.2018@lpnu.ua

Кристали танталату літію (LiTaO_3) мають унікальні електрооптичні, акустичні, п'єзоелектричні, піроелектричні та нелінійно-оптичні властивості, що в поєднанні з широким діапазоном прозорості (0,4 – 5 мкм) та високим порогом оптичного пошкодження, робить їх хорошим матеріалом для нелінійної оптики, зокрема в інфрачервоній області спектру, піроелектричних детекторів, п'єзоелектричних перетворювачів, акустичних фільтрів тощо [1-2]. Властивості цих кристалів частково були досліджені раніше, але зважаючи на великий розкид значень багатьох фізичних параметрів в літературі, ми вирішили провести комплекс вимірювань та розрахунків різноманітних фізико-оптичних властивостей і визначити всі компоненти відповідних тензорів, які їх описують. Кінцевою метою таких досліджень є проведення 3D-аналізу просторової анізотропії цих властивостей, щоб запропонувати найбільш ефективні геометрії використання кристалів танталату літію на основі всіх досліджених фізичних ефектів. Ці дослідження ми розпочинаємо з вивчення пружного та п'єзоелектричного ефектів ультразвуковим методом, який базується на теорії Крістофеля [3].

Кристали LiTaO_3 відносяться до точкової групи симетрії $3m$ і мають 6 незалежних пружних коефіцієнтів, 4 незалежних п'єзоелектричних коефіцієнти і 2 незалежні діелектричні константи, які можна визначити, розв'язавши рівняння Крістофеля і вимірявши в певних напрямках швидкості поширення повздовжніх і поперечних акустичних хвиль.

$$\left| \rho v^2 \delta_{ik} - C_{ikm} n_l n_m - \frac{(e_{lmi} n_l n_m)(e_{pqk} n_p n_q)}{\varepsilon_0 \varepsilon_{rs} n_r n_s} \right| = 0, \quad (1)$$

де δ_{ik} - символ Кронекера, C_{ikm} - тензор пружних коефіцієнтів, $n_l, n_m, n_p, n_q, n_r, n_s$ - напрямні косинуси поширення хвилі, e_{lmi}, e_{pqk} -тензори п'єзоэффекту, $\varepsilon_{rs}, \varepsilon_0$ -тензор відносної діелектричної проникності і електрична стала відповідно, ρ -густина кристала, v - швидкість поширення акустичної хвилі.

Вираз (1) є рівнянням Крістофеля для п'єзоелектричних кристалів. До прикладу, найпростішого вигляду воно набуває для хвиль, які поширюються вздовж осі OZ:

$$\begin{vmatrix} \rho v^2 - C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & \rho v^2 - C_{44} & 0 \\ 0 & 0 & \rho v^2 - C_{33} - \frac{e_{33}}{\epsilon_0 \epsilon_{33}} \end{vmatrix} = 0.$$

Звідси, розкривши визначник, отримуємо два розв'язки і можемо розрахувати коефіцієнт C_{44} , а другий коефіцієнт C_{33} після розрахунку e_{33} :

$$C_{44} = \rho v_{3,1}^2 \text{ та } C_{33} = \rho v_{3,3}^2 - \frac{e_{33}}{\epsilon_0 \epsilon_{33}}.$$

Ми вивели формули для заповнення матриць пружних та п'єзоелектричних коефіцієнтів на основі вимірюваних швидкостей акустичних хвиль.

Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено зразки прямого та $X/45^\circ$ зрізів кристалу LiTaO_3 , на яких методом Пападакіса [4] було виміряно необхідні швидкості як поздовжніх, так і поперечних акустичних хвиль вздовж осей кристалографічних осей $X, Y, Z, 4, \bar{4}$, які приведені в таблиці:

Позначення*	$V_{1,1}$	$V_{1,2}$	$V_{1,3}$	$V_{2,1}$	$V_{2,2}$	$V_{2,3}$	$V_{3,1}$	$V_{3,2}$
Величина, м/с	5516	3294	3916	3571	5692	3636	3667	3667

Позначення*	$V_{3,3}$	$V_{4,4}$	$V_{4,\bar{4}}$	$V_{4,1}$	$V_{\bar{4},1}$	$V_{1,\bar{4}}$	$V_{\bar{4},\bar{4}}$
Величина, м/с	5930	6155	3338	3377	3902	3313	5689

*тут у $V_{i,j}$ перший індекс означає напрямок поширення акустичної хвилі, а другий її поляризацію.

На їхній основі було розраховано всі компоненти матриць пружних та п'єзоелектричних коефіцієнтів кристалів LiTaO_3 , отримані результати порівнюються із наявними в науковій літературі.

1. Lithium Niobate (LiNbO_3) and Lithium Tantalate (LiTaO_3) (mt-berlin.com)
2. Кузьминов Ю.С. Ниобат и танталат лития. Материалы для нелинейной оптики. – Москва: Наука, 1975, -224 с.
3. Баранский К. Н. Физическая акустика кристаллов. — Москва: Изд-во МГУ, 1991. -143 с.
4. Papadakis E.P. Ultrasonic phase velocity by the pulse-echo-overlap method incorporating diffraction phase correction // J.Acoust.Am. 1967. V.42. №5. P1045-1051.

ЛІХТАР НА СОНЯЧНІЙ БАТАРЕЇ

студ. Куршель Д.С.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут
Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,
e-mail: apfpd.lutsk@gmail.com

Вивчення принципу роботи та можливостей застосування ліхтарів на сонячній батареї, їх плюси та мінуси є актуальною задачею сьогодення. Це спричинено тим, що вони є екологічно чистими, так як використовують заряд від сонячної батареї, а не одноразові батарейки. В таких ліхтарях використовуються світлодіодні лампи, тому вони споживають менше енергії ніж звичайні лампи. Також ліхтарики такого типу можна використовувати у віддалених місцях, де важко знайти джерело електроенергії, через те що їх не потрібно заряджати від стаціонарного джерела живлення.

Ліхтарик на сонячній батареї – це ліхтарик який живиться від сонячної батареї, та зберігає енергію в акумуляторні батарейки. У великій кількості таких ліхтариків застосовуються світлодіодні лампи.

Принцип роботи таких ліхтариків схожий до роботи вуличного ліхтаря. У спокійному режимі за допомогою сонячної батареї, яка розташована на ліхтарику, буде накопичуватись і зберігатись енергія сонячного світла в акумуляторі. Щоб розпочати використання такого ліхтаря потрібно змінити його режими, зі спокійного у режим роботи. Після цієї зміни сонячні батареї перестануть накопичувати сонячну енергію, а акумулятор розпочне подавати енергію.

Мінусів у таких ліхтариків не багато. Один з таких мінусів це те що акумулятор без енергії сонячного світла може розряджатись самостійно, внаслідок чого може пошкодитись акумулятор. Тому потрібно регулярно розряджати його вручну.

На даний момент ліхтарики на сонячній батареї не користуються великою популярністю. Хоч вже є протиударні та водозахисні моделі, також є багато моделей таких ліхтариків які включають в себе такі функції, як зарядний пристрій для телефону, радіосигнал АМ/ФМ або сирена для виклику допомоги в екстрених випадках. Також є експериментальний сонячний ліхтарик розміром з кредитну картку. Він має білий світлодіод, що живиться від 16 сонячних елементів.

У даній роботі проаналізовано принцип роботи ліхтарів на сонячній батареї, їх плюси та мінуси. Можна сказати що плюсів більше ніж мінусів, і застосування таких ліхтарів набагато вигідніше ніж звичайних ліхтариків. Є надія, що ліхтарі на сонячних батареях набудуть більшої популярності, і будуть використовуватись у житті частіше.

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА. ЕФЕКТИ ЗЕЄБЕКА ТА ПЕЛЬТЬЄ

студ. Литвиненко С. С., студ. Конотопчик І. О.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут
Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,
e-mail: litvinkosergij07@gmail.com

З розвитком технологій з'являється потреба в створенні нових джерел енергії, в тому числі і електричної. Існує безліч способів отримання електрики. Гідроенергетика займається перетворенням кінетичної енергії води в електричну. На атомних електростанціях відбувається перетворення енергії ділення ядер в теплову, а потім і в електричну енергію. Однак з появою напівпровідникових термоелектричних матеріалів з'явилася можливість прямого перетворення теплової енергії в електричну за рахунок термоелектричних генераторів. Перетворення відбувається за основними термоелектричними принципами, названими на честь великих вчених: ефект Зеєбека, Пельтьє і Томсона. Дослідження цих ефектів сприяє вирішенню проблеми енергетичної безпеки, внаслідок підвищення значення альтернативної енергії.

Початок XIX століття ознаменоване «Золотим віком фізики та електротехніки». Термоелектричні явища були вперше виявлені Зеєбеком в 1823 році. Суть явища Зеєбека полягає в тому, що при виникненні струму в замкнутому електричному колі, яке складається із різних провідників, з'єднаних між собою спаями (термопара), які знаходяться в неізотермічних умовах. Виникаюча при цьому в розімкнутому колі ЕРС, називається термоелектрорухомою силою E . Вона залежить від абсолютних значень і від різниці температур відповідних спаїв і визначається природою матеріалів, які знаходяться в контакті один з одним.

В невеликому інтервалі температур E можна рахувати з достатнім рівнем точності, пропорційну різницю температур спаїв, і деякому коефіцієнту α , так званий коефіцієнт диференціальної термо – ЕРС який визначається згідно виразу:

$$E = \alpha_{1,2}(T_2 - T_1)$$

Або якщо точніше то:

$$-dE = \alpha_{1,2}dT$$

Коефіцієнт термо – ЕРС α визначається в першу чергу матеріалами з яких складається термопара, для позначення яких ми ввели позначення 1 і 2, і також залежить від різниці температур (в деяких випадках зі зміною температури термо – ЕРС навіть змінює знак).

Пізніше, у 1834 році французький вчений Жан-Шарль Пельтьє, аналізуючи ефект Зеєбека, експериментував з краплею води, поміщеною на стику двох провідників (вісмуту і сурми). При пропусканні струму в одному напрямку крапля води замерзала, а при зміні напрямку струму вона танула. За допомогою цього експерименту було встановлено, що при проходженні струму через

контакт двох провідників в одному напрямку тепло виділяється, в іншому – поглинається. Дане явище було названо ефектом Пельтьє.

Ефект Пельтьє – явище виділення або поглинання тепла на контактах двох провідників при проходженні через них електричного струму.

Класична теорія пояснює явище Пельтьє тим, «що при переносі електронів струмом з одного металу в іншій, вони прискорюються або сповільнюються внутрішньою контактною різницею потенціалів між металами[5]. У разі прискорення кінетична енергія електронів збільшується, а потім виділяється у вигляді тепла. У зворотному випадку кінетична енергія зменшується, і енергія поповнюється за рахунок енергії теплових коливань атомів другого провідника, таким чином він починає охолоджуватися.

Цей процес є оборотним, електричний струм може подаватися через контакт для створення градієнта температури (а отже і теплового потоку), або ж градієнт температури може використовуватися для генерування електричного струму.

Величина тепла Пельтьє, що виділяється і його знак залежать від виду контактуючих речовин, сили струму і часу його проходження. Розмірність коефіцієнта Пельтьє:

$$[П] \text{ СІ} = \text{Дж} / \text{Кл} = \text{В}.$$

Ефект Пельтьє, як і всі термоелектричні явища, виражений особливо сильно в ланцюгах, складених з електронних (n – тип) і діркових (p – тип) напівпровідників. У цьому випадку ефект Пельтьє має інше пояснення.

Сучасні модулі Пельтьє – це конструкція, що складається з двох пластин – ізоляторів (як правило, керамічних), з розташованими між ними послідовно з'єднаними термопарами. З спрощеною схемою такого елемента можна ознайомитися на представленому нижче рисунку 5.

Модуль Пельтьє, являє собою термоелектричний холодильник, що з послідовно з'єднаних напівпровідників p - і n - типу утворюють p - n і n - p – переходи. Кожен з таких переходів має тепловий контакт з одним з двох радіаторів. В результаті проходження електричного струму певної полярності утворюється перепад температур між радіаторами модуля Пельтьє, один радіатор працює як холодильник, інший радіатор нагрівається і служить для відводу тепла. На рис. 6 представлений зовнішній вигляд типового модуля Пельтьє:

Типовий модуль забезпечує значний температурний перепад, який становить кілька десятків градусів. При відповідному примусовому охолодженні нагріваючого елемента радіатора, другий радіатор – холодильник, дозволяє досягти від'ємних значень температур. Для збільшення різниці температур можливе каскадне включення термоелектричних модулів Пельтьє при забезпеченні адекватного їх охолодження. Це дозволяє порівняно простими засобами отримати значний перепад температур і забезпечити ефективне охолодження елементів, що захищаються.

ФІЗИКА УТВОРЕННЯ ВЕСЕЛКИ

студ. Налєпа А.О.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут
Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,
e-mail: nalepa2010@ukr.net

Веселка – це один з найвідоміших оптичних ефектів, пов'язаних з погодою, і один з найпрекрасніших шедеврів природи. Веселка – це відмінна демонстрація розпорошення світла і свідчення того, що видиме світло складається з спектру довжин хвиль, кожна з яких пов'язана з чітким кольором.

Ісаак Ньютон показав, що біле світло (сонячне світло) через призму можна розкласти на кольори веселки: червоний, оранжевий, жовтий, зелений, блакитний, синій та фіолетовий. Проходження кольорового спектру через призму дозволяє поєднати його знову в біле. Тобто призма не забарвлює світло. Також Ісаак Ньютон з'ясував, що вода може заломлювати світло. Отже, в основі утворення веселки є заломлення світла в дощових краплинах.

Як і у випадку заломлення світла через призму з непаралельними сторонами, заломлення світла на двох кордонах краплі призводить до розсіювання світла на спектр кольорів. Оскільки межі не паралельні одна одній, подвійна рефракція призводить до чіткого поділу сонячного світла на складові кольори. Найменше заломлюється червоне світло, а найбільше – фіолетове.

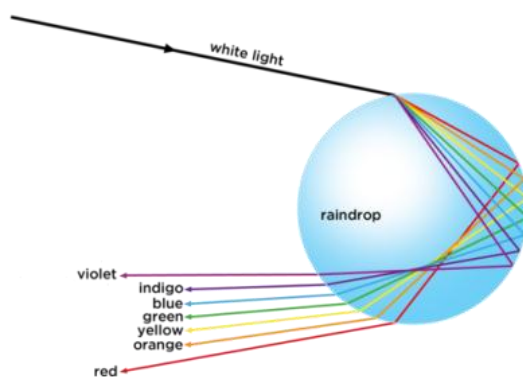


Рис.1 Розкладання білого світла на спектр

Ми бачимо веселки тому, що кут між червоними променями на виході з краплі та початковим напрямком сонячного світла, що падає на краплю, завжди менше ніж 42° . Для фіолетового світла цей кут становить близько 40° . Кути виходу сонячного світла із краплини пояснюють кольорові смуги веселки.

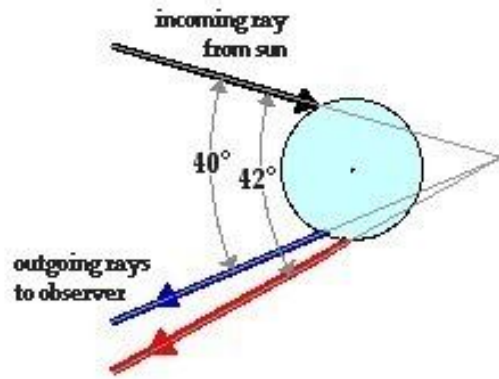


Рис.2 Кути між падаючими і заломленими променями

Кожна крапля діє у повітрі, як лінза, призма і дзеркало одночасно – це і є основним принципом веселки. Краплі розсіюють сонячне світло нерівномірно в будь-якому напрямку і прагнуть сфокусувати світло на 138° від напрямку падаючого променя (кут, який означає, що ви бачите веселку, коли стоїте спиною до Сонця). [1]

Уявна лінія – це лінія, яка проходить від Сонця через голову спостерігача до кінця, утвореної людиною, тіні. Ця лінія проходить через антисонячну точку. Це показує, де утворилася б веселка, якби їй не перешкоджав горизонт Землі. [2, 93-96]

Розташування веселки буде залежати від висоти Сонця над горизонтом:

- коли Сонце високо над горизонтом, то веселка малих розмірів і розташована низько;
- коли Сонце низько над горизонтом, то веселка сягає великих розмірів і розташована по середині неба;
- коли Сонце розташоване приблизно вище 42° висоти, веселка знаходиться нижче горизонту і її не видно спостерігачу.[3]

Висновки:

1. Червона смуга розташована із зовнішнього краю веселки.
2. Фіолетова смуга розташована із внутрішнього краю веселки.
3. Небо всередині веселки – світле і ясне (тому, що суміш кольорів ми сприймаємо як біле світло).
4. Світло від веселки поляризоване.

1.Rainbows.The simple magic of their shape and colors still puzzles [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.scientificamerican.com/article/rainbows> (дата звернення 28.03.2021)

2.Левін Волтер, Гольдштейн Воррен Проста фізика. Від атомного ядра до межі Всесвіту / пер. з англ. Тетяна Сахно. – К.: Наш формат, 2019. – 296 с.: іл.

3.On the Physics of Rainbow, by Federica Volpi [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://inters.org/physics-of-rainbow> (дата звернення 28.03.2021).

ОТРИМАННЯ ТА ВОЛЬТ-АМПЕРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУР ОКСИД/CuInSe₂-ZnIn₂Se₄

студ. Тарасенко А. О.¹, уч. Ходаківський Є. О.²

¹Навчально-науковий фізико-технологічний інститут

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: orestsabala@gmail.com,

²Комунальна установа "Волинська обласна Мала академія наук", вул. В.Чорновола 3, м. Луцьк,

e-mail: khodakivskiy_je@gymnasia21.lutsk.ua

Робота присвячена дослідженню електричних властивостей двошарових структур оксид/CuInSe₂-ZnIn₂Se₄, отриманих відпалом у повітрі монокристалічних зразків CuInSe₂-ZnIn₂Se₄ при T=620 °C протягом 20 хв та дослідженню їх вольт-амперних-характеристик.

Сполуки CuInSe₂ та тверді розчини на їх основі, часто використовуються як матеріали поглинаючого шару тонкоплівкових гетеропереходів сонячних елементів. Ефективність фотоелектричних перетворювачів на основі цих сполук залежить як від методу отримання гетеропереходу, так і від типу гетеропереходу. Саме це і обумовлює розвиток нових методів отримання дво- та багатошарових структур та актуальність досліджень їх фізичних властивостей. Результати експериментальних досліджень для монокристалів CuInSe₂-ZnIn₂Se₄ з вмістом 10 мол.% ZnIn₂Se₄ представлені на рис.1. Результати для структур оксид/CuInSe₂-ZnIn₂Se₄ з вмістом 5, 15, 20 мол.% ZnIn₂Se₄ мали аналогічний вигляд.

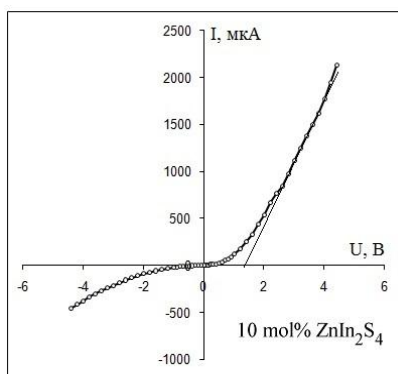


Рис. 1. Вольт-амперні характеристики поверхнево-бар'єрних структур Ox/CuInSe₂-ZnIn₂Se₄ з 10 мол.% ZnIn₂Se₄

У результаті проведених досліджень та аналізу експериментальних результатів показано, що електричні властивості оксид/CuInSe₂-ZnIn₂Se₄ залежать від складу монокристалів CuInSe₂-

ZnIn₂Se₄. Вони проявляють випрямні властивості. Коефіцієнт випрямлення для кращих структур при напрузі, близькій до напруги відсікання, становив 8. Прямі вітки вольт-амперних характеристик структур оксид/CuInSe₂-ZnIn₂Se₄ добре описуються характерним для фотодіода експоненціальним рівнянням. Обернені вітки вольт-амперних характеристик структур оксид/CuInSe₂-ZnIn₂Se₄ описуються степеневим законом, показник степеня у якому змінювався в залежності від напруги та компонентного складу кристалів CuInSe₂-ZnIn₂Se₄. Електричні параметри структур оксид/CuInSe₂-ZnIn₂Se₄ залежать від компонентного складу монокристалів підложки. Поверхнево-бар'єрні структури оксид/CuInSe₂-ZnIn₂Se₄, отримані термообробкою CuInSe₂-ZnIn₂Se₄ в повітрі, можуть знайти використання при розробці фотоелектроперетворювачів. Із аналізу літературних джерел [1-4] та аналізу наших результатів, можна зробити висновки, що зміна часу відпалу та температури відпалу призводить до зміни електричних властивостей *Ox*/CuInSe₂-ZnIn₂Se₄.

1. Effect of the preparation procedure and In₂O₃ thickness on the electrical and photovoltaic properties of In₂O₃/CuInSe₂ heterostructures / M. A. Abdullaev, I. K. Kamilov, D. Kh. Magomedova [at al.] // Inorganic Materials. – 2004. – Vol.40, №11. – P. 1181–1185.

2. Випрямні та фотоелектричні властивості поверхнево-бар'єрних структур, отриманих термообробкою монокристалів Cu_{1-x}Zn_xInSe₂ / В.В. Божко, О.В. Новосад, В.Р. Козер та ін. // Наук. вісн. Східноєвроп. нац. ун-ту ім. Лесі Українки: Фіз. науки. – 2013. – № 26. – С. 10–15.

3. Получение и свойства изотипных гетероструктур на основе n-CuInSe₂ // М. А. Магомедов, Г. А. Медведкин, В. Ю. Рудь, Ю. В. Рудь / ФТП. – 1992. – Т. 26, № 3. – С. 556–558.

4. Влияние термического окисления на электропроводимость и фоточувствительность структур In₂O₃/CuInSe₂ / М. А. Абдуллаев, И. К. Камишов, Дж. Х. Магамедова, П. П. Хохлачев // Неорг. мат. – 2007. – Т. 43, № 12. – С. 1424–1428.

ДАТЧИКИ ТРИАНГУЛЯЦІЇ

студ. Хомич Д. С., Трофімук С. В.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: apfpd.lutsk@gmail.com

Розробка оптичних світловодів відкриває широкі можливості розвитку нових методів вимірювання різних фізичних величин. Світловолокно може використовуватись насамперед для передачі оптичних сигналів, що несе інформацію про вимірювану величину. Хоча при цьому світловод відіграє пасивну роль, його використання дає цілий ряд істотних переваг: відключається вплив зовнішніх електромагнітних впливів, забезпечуються високі волого- і теплостійкість, хімічна інертність, можливість роботи у важкодоступних місцях, вибухонебезпечних

середовищах, простота і гнучкість вимірювальних методів та ін. Найпростіший приклад подібного використання – оптичний волоконний лічильник яких-небудь предметів, заснований на перериванні світлового променя .

Такий пристрій, що представляє собою, власне кажучи, довгий оптрон з відкритим оптичним каналом, може застосовуватися при відповідній модифікації вимірювальної схеми як датчик наявності рідини, стану поверхні предмета, швидкості його обертів, частоти коливання, просторового положення об'єкта (наприклад, високовольтний вимикач, при автоматичності зважуванні) і т. п.

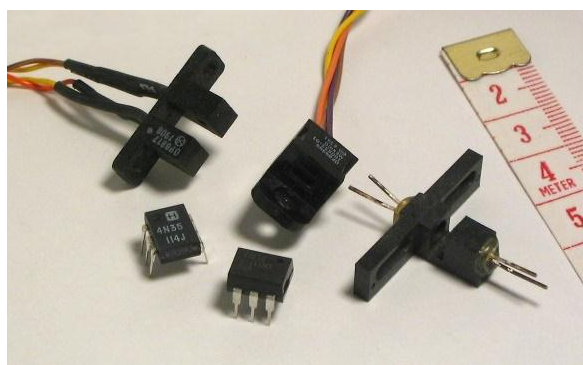


Рис.1 Оптод

Роздільна здатність датчика триангуляції залежить як від розмірів лазерного променя так і від розмірів пікселів детектування. У межах робочого діапазону, роздільна здатність також буде змінюватися залежно від відстані - найвища роздільна здатність (можливо, кілька мікрометрів) буде знайдена близько до мінімальної відстані зондування. Зі збільшенням відстані до максимальної відстані зондування, роздільна здатність поступово зменшується. Датчики триангуляції пропонують переваги низької ціни та швидкості вимірювання (можливі десятки або сотні кілогерц). Додавання можливості сканування положення лазерної плями триангуляції в площині об'єкта відкриває можливість зондування форми об'єкта. На додаток до обговорених вище обмежень відстані та точності, датчики триангуляції мають деякі додаткові обмеження:

А) Вони погано працюють для прозорих предметів, таких як скло, води або рідких поверхонь через погану видимість лазерної плями на цих поверхнях.

Б) Геометрія триангуляції означає, що головка датчика повинна мати мінімальну ширину для забезпечення відстані між його передавачем і детектором, який запобігає його використанню для зондування всередині предметів вузькі отвори. Крім того, ширина головки датчика повинна бути збільшена в міру збільшення бажаної робочої відстані, що означає, що датчики на відстані метрів можуть стати незручно великими.

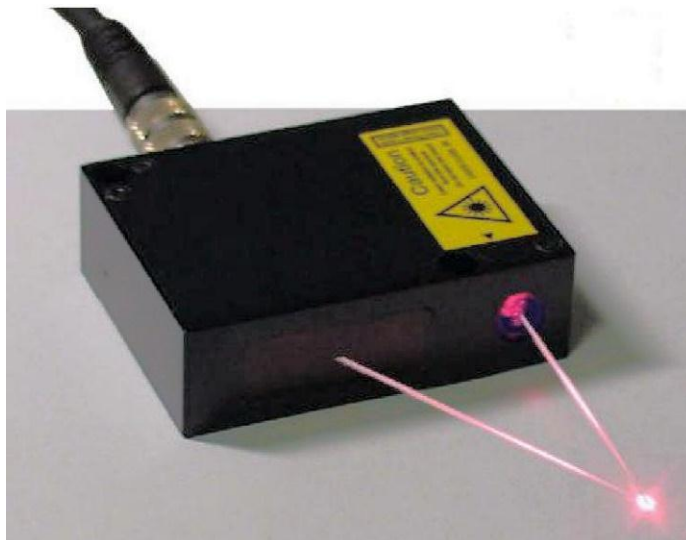


Рис.2 Датчик триангуляції

1.Berkovic G., Shafir E. Optical methods for distance and displacement measurements //Advances in Optics and Photonics Vol. 4, Issue 4,pp. 441-471 (2012)УДК 621.315.592

УДК 53.072

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИМУЛЯЦІЙ НА УРОКАХ ФІЗИКИ

студ. Шабала О.О., студ. Рудницький М.С.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: orestsabala@gmail.com

У роботі розглянута можливість використання віртуальних лабораторій, інтерактивних симуляцій «PhET Interactive Simulations» на уроках фізики.

Актуальність даного дослідження обумовлюється тим, що останнім часом спостерігається інформатизація шкільної освіти. Поряд з використанням електронних підручників та довідників, пошуком додаткової інформації в інтернеті та її систематизацією, при вивченні нових тем на уроках з фізики важливим залишається використання комп'ютерних моделей фізичних явищ та процесів.

Одним із найпопулярніших інтернет-ресурсів з моделювання фізичних процесів та проведення віртуальних експериментів є безкоштовна система інтерактивних симуляцій «PhET Interactive Simulations». Сайт інтерактивних симуляцій PhET заснований у 2002 році лауреатом Нобелівської премії з фізики Карлом Віманом, призначений для створення і використання безкоштовних

інтерактивних симуляцій з математики та наук про природу [1, 2]. Система інтерактивних симуляцій «PhET Interactive Simulations» включає себе лабораторні роботи та демонстрації не лише з фізики, а й з хімії, математики та біології. Інтерактивні симуляції PhET з фізики поділяються на тематичні підрозділи: рух; звук і хвилі; робота, енергія, сила; теплота; квантові явища; світло, випромінювання; електрика, магнетизм, електричні кола. Всього представлено 80 інтерактивних симуляцій з фізики.

Особливістю використання віртуальних лабораторій, симуляторів та тренажерів, таких як «PhET Interactive Simulations» є те, що учні можуть їх використовувати не тільки на уроках з фізики, а і при самостійному вивченні нового матеріалу та в умовах дистанційного навчання. Інтерактивні симуляції PhET можна запускати через браузер та працювати, використовуючи Інтернет, завантажувати на ПК та працювати в автономному режимі, проводити віртуальні дослідження з фізики зі смартфона.

Використання «PhET Interactive Simulations» є безкоштовним та не потребує попередньої реєстрації, майже всі лабораторні роботи та демонстрації перекладені на українську мову.

1. <https://phet.colorado.edu/uk/>

2. https://en.wikipedia.org/wiki/PhET_Interactive_Simulations

УДК 543.544-414.2

ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛОРГАНІЧНИХ КАРКАСНИХ СТРУКТУР ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ТА ФІЛЬТРАЦІЇ ГАЗІВ

студ. Юсюк К.О.

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут

Волинського національного університету імені Лесі Українки, вул. Потапова 9, м. Луцьк,

e-mail: apfpd.lutsk@gmail.com

В роботі розглядається структура, властивості та перспективи використання нового типу пористих матеріалів - металорганічних каркасних структур (МОКС, Metal-organic frameworks, MOF's). Пористі матеріали активно застосовуються для зберігання і сепарації газів. Традиційні пористі матеріали є або органічними, або неорганічними. Органічні (наприклад, активоване вугілля) мають велику питому площу поверхні і високу адсорбуючу здатність, проте мають невпорядковану структуру. Неорганічні пористі матеріали є високо впорядкованими, проте їхні решітки мають порожнини обмеженого розміру. МОКСи поєднують в собі переваги як органічних, так і неорганічних матеріалів.

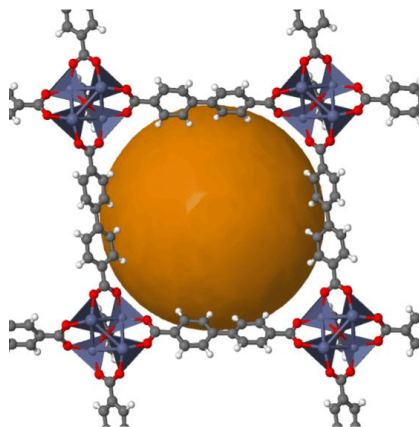


Рис.1 Схематичне зображення елементарної комірки двовимірної металорганічної каркасної структури. Сфера показує розмір пор. [1]

У вузлах кристалічної решітки цих матеріалів розташовані окремі атоми металів, або частіше оксидні кластери, між якими є органічні перемички –лінкери. Таким чином, МОКСи є однорідними, мають однакові розміри пор, що характерно для кристалів, іони металів з ненасиченими зв'язками активно взаємодіють з молекулами газів, покращуючи адсорбуючу здатність, проте питома площа поверхні цих пор цих матеріалів завдяки присутності неорганічних лігандів становить $(2-10) \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{г}$ [2]. МОКСи можуть утворювати просторові одно-, дво- або тривимірні структури. Незважаючи на те, що відомо біля 10 000 видів МОКС, їм відповідає невелика кількість типів структури [3]

Однією з переваг цих матеріалів є те, що усі пори є відкритими, тобто їх можна повністю звільнити від адсорбованих матеріалів. МОКСи застосовуються для адсорбції газів, зокрема, вловлювання CO_2 , вважаються перспективними для зберігання водню або метану для енергетики, можуть використовуватись як каталізатори та газоселективні мембрани. Пориста структура металоорганічного каркасу діє як напівпроникний бар'єр для транспортування в складі вакцин біологічної речовини - білка або антигену.

1. *Batten SR. Terminology of metal–organic frameworks and coordination polymers / SR Batten, NR Champness, XM Chen, J Garcia-Martinez, S Kitagawa, L Öhrström, M O'Keeffe, MP Suh, J Reedijk //Pure and Applied Chemistry.- 2013.- 85 (8).-P. 1715–1724.*

2. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.chemtube3d.com/mof-home-2/>

3. Шабловский Я.О. Формирование пористой структуры сорбентов на основе металл-органических каркасных соединений / Я.О. Шабловский //Хімія, фізика та технологія поверхні. - 2019. - Т. 10. № 2.- С. 190-198

Наукове видання

**III Міжнародна інтернет-конференція молодих учених та студентів
«АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ
І ПРИКЛАДНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ»**

Матеріали конференції

**III International internet conference for young researchers and students
«TOPICAL ISSUES OF FUNDAMENTAL AND
APPLIED STUDIES»**

BOOK OF ABSTRACTS

Відповідальність за достовірність фактів, власних імен, цитат, цифр та інших відомостей несуть автори публікацій.

Наклад 50 пр. Видавець і виготовлювач – Вежа-Друк
(м. Луцьк, вул. Бойка, 1, тел. (0332) 29-90-65).
Свідоцтво Держ. комітету телебачення та радіомовлення України
ДК № 4607 від 30.08.2013 р.