ISSN 2521-6996

Національна академія наук України
Інститут прикладної фізики
Міністерство освіти і науки України
Наукове товариство студентів, аспірантів, докторантів та молодих учених СумДПУ імені А. С. Макаренка
Кафедра фізики та методики навчання фізики
СумДПУ імені А. С. Макаренка

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ, ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ ТА МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ

Присвячена 30-річчю незалежності України

МАТЕРІАЛИ
VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, молодих учених, науково-педагогічних працівників та фахівців з міжнародною участю

12-14 квітня 2021 року
м. Суми

Національна академія наук України
Інститут прикладної фізики
Міністерство освіти і науки України
Наукове товариство студентів, аспірантів, докторантів та молодих учених СумДПУ імені А. С. Макаренка
Кафедра фізики та методики навчання фізики
СумДПУ імені А. С. Макаренка

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ, ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ ТА МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ

Присвячена 30-річчю незалежності України

Матеріали
VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, молодих учених, науково-педагогічних працівників та фахівців з міжнародною участю

(Суми, 12-14 квітня 2021 року)

За редакцією кандидата фізико-математичних наук, доцента, завідувача кафедри фізики та методики навчання фізики О.М. Завражної

Суми
Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка
2021

УДК 53:004(08)
М 34

Рекомендовано вченою радою Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка
(Протокол №11 від 26.04.2021 р.)

Упорядник: Завражна О. М., кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри фізики та методики навчання фізики

Рецензенти:
Холодов Р. І. – доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Інституту прикладної фізики Національної академії наук України.
Салтикова А. І. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та методики навчання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка.

М 34 Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, молодих учених, науково-педагогічних працівників та фахівців з міжнародною участю, присвяченої 30-річчю незалежності України. м. Суми, 12-14 квітня 2021 р. / за ред. О. М. Завражної – Суми: СумДПУ, 2021. – 96 с.

У збірнику подані матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, молодих учених, науково-педагогічних працівників та фахівців з міжнародною участю «Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики», присвяченої 30-річчю незалежності України. У тезах представлені результати теоретичних і експериментальних досліджень.

Для наукових співробітників, викладачів навчальних закладів освіти, аспірантів та студентів.

Матеріали подаються в авторській редакції.

Відповідальність за достовірність інформації, автентичність цитат, правильність фактів, посилань несуть автори.

© Завражна О.М., 2021
© СумДПУ, 2021

Тематичні напрями роботи конференції

1. *Квантова теорія поля.*
2. *Взаємодія іонів та електронів низьких енергій з речовиною.*
3. *Радіаційне матеріалознавство.*
4. *Фазовий контраст, біофізика та медицина.*
5. *Комп'ютерне моделювання фізичних процесів.*
6. *Питання теорії та методики навчання фізики та нанотехнологій.*
7. *Інноваційні підходи до навчання фізики в ЗЗСО та ЗВО.*
8. *Актуальні проблеми освіти та технологій у середній та вищій школі.*

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Сторіжко В. Ю.	Голова програмного комітету, академік НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, директор Інституту прикладної фізики України.
Холодов Р. І.	доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, доцент, заступник директора з наукової роботи Інституту прикладної фізики НАН України.
Ворошило О. І.	кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, учений секретар Інституту прикладної фізики НАН України.
Пономарьов О. Г.	доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу фізики пучків заряджених частинок Інституту прикладної фізики НАН України.
Харченко Д. О.	доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу моделювання радіаційних ефектів та мікроструктурних перетворень у конструкційних матеріалах Інституту прикладної фізики НАН України.
Кульментьєв О. І.	доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Інституту прикладної фізики НАН України.
Завражна О. М.	кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри фізики та методики навчання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка.
Каленик М. В.	кандидат педагогічних наук, доцент, декан фізико-математичного факультету СумДПУ імені А. С. Макаренка.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Ворошило О. І.	Голова організаційного комітету, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, учений секретар Інституту прикладної фізики НАН України.
Завражна О. М.	Співголова організаційного комітету, кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри фізики та методики навчання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка.
Салтикова А. І.	кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та методики навчання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка.
Лебединський С. О.	кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник, голова Ради молодих вчених Інституту прикладної фізики НАН України.
Лобас О. М.	викладач кафедри фізики та методики навчання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка.
Салтиков Д. І.	доктор філософії (природничі науки), викладач кафедри фізики та методики навчання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка, представник наукового товариства студентів, аспірантів, докторантів та молодих учених СумДПУ імені А. С. Макаренка.

Стома В. М.	доктор філософії (професійна освіта), викладач кафедри фізики та методики навчання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка, представник наукового товариства студентів, аспірантів, докторантів та молодих учених СумДПУ імені А. С. Макаренка
Хелемеля О. В.	кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник Інституту прикладної фізики НАН України.

ПРОГРАМНО-РЕДАКЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Завражна О. М.	Голова програмно-редакційного комітету, кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри фізики та методики навчання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка.
Салтикова А. І.	кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та методики навчання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка.
Каленик М. В.	кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики та методики навчання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка.
Салтиков Д. І.	доктор філософії (природничі науки), викладач кафедри фізики та методики навчання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка, представник наукового товариства студентів, аспірантів, докторантів та молодих учених СумДПУ імені А. С. Макаренка.
Стома В. М.	доктор філософії (професійна освіта), викладач кафедри фізики та методики навчання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка, представник наукового товариства студентів, аспірантів, докторантів та молодих учених СумДПУ імені А. С. Макаренка.
Дєдушева І. В.	завідувач навчальної лабораторії кафедри фізики та методики навчання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка.

ЗМІСТ

Батурін В. А., Карпенко О. Ю., Єрьомін С. О., Роєнко О. Ю. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ПЛАЗМОВО-МОДИФІКОВАНИХ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ДО ВАКУУМНИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПРОБОЇВ 8

Батурін В. А., Литвинов П. О., Пустовойтов С. О., Карпенко О. Ю., Роєнко О. Ю. РОЗПОРОШУВАЛЬНЕ ДЖЕРЕЛО ІОНІВ МЕТАЛІВ 10

Баштова А. І. ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ β-Nb ФАЗИ В БІНАРНИХ СПЛАВАХ Zr-Nb ПІДДАНИХ РАДІАЦІЙНОМУ ОПРОМІНЕННЮ 12

Бєлінський А. О., Соловйов В. М., Татаренко А. О., Слюсаренко М. А. НЕЕКСТЕНСИВНА ПРИРОДА ГРАВІТАЦІЙНИХ ХВИЛЬ 12

Білик В. М. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ РІХЕ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙНОГО ПРОФІЛЮ В ЗРАЗКАХ Zr СПЛАВУ З ІМПЛАНТОВАНИМ Zr 14

Бугай О. М., Білик В. М., Шульженко А. В. ХАРАКТЕРИЗАЦІЯ БРОНЗОВИХ ВИРОБІВ З РОЗКОПОК ЦЕРКВИ СПАСА НА БЕРЕСТОВІ 16

Бур'янов О.А., Кваша В.П., Марцьоха А.В., Фам Д.К., Мусієнко О.С. ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНАЧИМОСТІ ЗВ'ЯЗКОВОГО АПАРАТУ У СТАБІЛІЗАЦІЇ АКРОМІАЛЬНО-КЛЮЧИЧНОГО СУГЛОБА 17

Возний В. І., Пономарьов О. Г., Сайко М. О., Павленко Ю. А. ВИМІРЮВАННЯ ЕМІТТАНСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕННІНГОВСЬКОГО ДЖЕРЕЛА ІОНІВ 19

Возний В. І., Пономарьов О. Г. ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНДУКТИВНОГО ВИСОКОЧАСТОТНОГО ДЖЕРЕЛА ІОНІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПАКЕТА COMSOL 21

Ворона М. І., Денисенко О. І., Лебедь О. А. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ АНІГІЛЯЦІЇ ПОЗИТРОНІВ В КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ РЕАКТОРІВ .. 23

Ворошило О. І., Недорешта В. М. РЕЗОНАНСНЕ НАБЛИЖЕННЯ В КЕД ПРОЦЕСАХ 2-ГО ПОРЯДКУ ЗА СТАЛОЮ ТОНКОЇ СТРУКТУРИ 25

Гайда В. Я. ФОРМУВАННЯ РЕФЛЕКСИВНО-АНАЛІТИЧНОГО КОМПОНЕНТА САМООСВІТНЬОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ УЧНІВ НА УРОКАХ ФІЗИКИ 26

Гальмаков В. С., Коноз К. О., Пухно С. В. КОМУНІКАТИВНА КОМПЕТЕНТНІСТЬ ЯК СКЛАДОВА ПРОФЕСІОНАЛІЗМУ МАЙБУТНЬОГО ФАХІВЦЯ 28

Декарчук С.О. ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ІНТЕРАКТИВНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПОСІБНИКІВ З ФІЗИКИ 29

Дяденчук А.Ф. ФОРМУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО МИСЛЕННЯ У МАЙБУТНІХ ЕКОЛОГІВ ПРИ ВИВЧЕННІ ЗАГАЛЬНОГО КУРСУ ФІЗИКИ 31

Дяченко М. М., Холодов Р. І. НЕЛІНІЙНІ КОЛЕКТИВНІ ЕФЕКТИ ПРИ ГАЛЬМУВАННІ ЗАРЯДЖЕНОЇ ЧАСТИНКИ В ЗАМАГНІЧЕНІЙ ЕЛЕКТРОННІЙ ПЛАЗМІ 32

Ільченко В. Р., Каленик М. В. УЗАГАЛЬНЕННЯ І СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ЗНАНЬ УЧНІВ З ФІЗИКИ 33

Коломієць В. М., Шкурат О. І., Кравченко С. М., Юнда А. М. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ НАПИЛЕННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РОЗПИЛЕННЯ ІМПУЛЬСАМИ ВИСОКОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ВНУТРІШНІЙ ПОВЕРХНІ КАНАЛУ ПОВНОМІРНОГО АРТИЛЕРІЙСЬКОГО СТВОЛА КАЛІБРУ 30 ММ 37

Коробко Я. Р., Завражна О. М., Дєдушева І. В. ІГРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ НА УРОКАХ ФІЗИКИ 39

Крикля С. В., Денисенко О. І. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЇ АНІГІЛЯЦІЇ В ТОЧКОВИХ ДЕФЕКТАХ 41

Лебединський С. О., Холодов Р. І. МОДЕЛЮВАННЯ СТРУМУ ПОЛЬОВОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ ЕМІСІЇ З РЕАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ МЕТАЛУ 42

Литвинов П. О., Батурін В. А., Пустовойтов С. О., Роєнко О. Ю. ЗБІЛЬШЕННЯ ЕМІСІЙНОЇ ЩІЛЬНОСТІ НЕГАТИВНИХ ІОНІВ З ИПФ-ДЖЕРЕЛА ЗА РАХУНОК СТВОРЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В ОБ'ЄМІ ЕМІСІЙНОЇ ОБЛАСТІ ПЛАЗМИ 44

Литвинов П. О., Батурін В. А., Пустовойтов С. О., Роєнко О. Ю. ОПТИМІЗАЦІЯ ФІЗИЧНОГО МЕХАНІЗМУ ГЕНЕРАЦІЇ НЕГАТИВНИХ ІОНІВ В ИПФ-ДЖЕРЕЛІ 45

Медведовська О. Г. ОГЛЯД ХМАРНИХ СЕРВІСІВ, ПІДТРИМУЮЧИХ СПІЛЬНУ РОБОТУ НАД ДОКУМЕНТОМ У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ НА ОСНОВІ WEB-СЕРВІСУ GOOGLE TRENDS 47

Мельник Ю. С. ОСОБЛИВОСТІ ВИВЧЕННЯ ЗАКОНІВ МЕХАНІКИ В БАЗОВОМУ КУРСІ ФІЗИКИ 49

Могильницький М. В. ФОТОГРАММЕТРИЧНІ ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ВИЩОЇ ТА СЕРЕДНЬОЇ ШКОЛИ 51

Мусієнко І. І., Холодов Р. І. ВПЛИВ РЕЗОНАНСНИХ УМОВ НА СТРУМ ПОЛЬОВОЇ ЕМІСІЇ З ДВОШАРОВОЇ ПОВЕРХНІ МЕТАЛУ 52

Недорешта В. М., Ворошило О. І. РЕЗОНАНСНА КІНЕМАТИКА РОЗСІЯННЯ ЕЛЕКТРОНІВ ТА ФОТОНІВ ВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ В СИЛЬНОМУ ЛАЗЕРНОМУ ПОЛІ 55

Новак О. П. ІОНІЗАЦІЯ К-ОБОЛОНКИ ВАЖКОГО ІОНА КОРОТКИМ ЛАЗЕРНИМ ІМПУЛЬСОМ 57

Обухов О. А. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОБТІКАННЯ РЕАКТИВНИХ СНАРЯДІВ ПОВІТРЯНИМ ПОТОКОМ 59

Овчаренко А. Ю., Лебедь О. А. АНАЛІТИЧНИЙ ОПИС ФОРМУВАННЯ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ФАЗОКОНТРАСТНОГО ЗОБРАЖЕННЯ 59

Овчаренко Ю. М. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЛАВІВ Fe-Cu, Fe-Ni ТА Fe-Cu-Ni МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ДИНАМІКИ 61

Острик В. І. МЕТОД ПРОДОВЖЕННЯ КРАЙОВИХ УМОВ У ЗАДАЧАХ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ 63

Подгорнова Д. Я., Сусь Б. А. РУХ ЧАСТИНКИ З ВЕЛИКОЮ ШВИДКІСТЮ І ХВИЛЬОВИЙ ПРОЦЕС 64

Положій Г. Є., Ребров В. А., Колінько С. В., Саливон В. Ф., Пономарьов О. Г., Калінкевич О. М., Калінкевич О. В., Зінченко Є. І. ВДОСКОНАЛЕННЯ КАНАЛУ ПРОТОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ЛІТОГРАФІЇ НА АПК "СОКОЛ" В ІНСТИТУТІ ПРИКЛАДНОЇ ФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ 66

Пономарьов О. Г., Садовий С. О., Возний В. І. МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИКИ ПУЧКА В ІОННОМ ІНЖЕКТОРІ ДЛЯ КОМПАКТНОГО ЯДЕРНОГО МІКРОЗОНДУ 67

Ребров В. А., Колінько С. В., Саливон В. Ф., Пономарьов О. Г. КАНАЛ ПРОТОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ЛІТОГРАФІЇ 68

Сайко М. О., Рідченко С. О., Ігнатенко С. М., Марійчук О. В. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ УНІВЕРСАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ НАУКОВО-МІСТКИХ ПРОЦЕСІВ НА ПРИКЛАДІ ВАКУУМНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАПИЛЕННЯ ПОКРИТТІВ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РОЗПИЛЕННЯ 69

Салтиков Д. І., Яременко Я. В., Міщенко Д. К. ДЕЯКІ ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ СУЧАСНОЇ ФІЗИКИ В ШКІЛЬНОМУ КУРСІ 70

Салтикова А. І., Лобас О. М., Чепурко І. О. ПИТАННЯ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ У ШКІЛЬНОМУ КУРСІ ФІЗИКИ 73

Сергієнко Л. Г. ДИДАКТИЧНІ КРИТЕРІЇ УПРАВЛІННЯ УСПІШНІСТЮ СТУДЕНТІВ 74

Скороход Р. В., Коропов О. В. МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ДИСЛОКАЦІЙНОЇ ПІДСИСТЕМИ НА ЕФЕКТИ РАДІАЦІЙНО-ІНДУКОВАНОЇ СЕГРЕГАЦІЇ В ТРИКОМПОНЕНТНОМУ СПЛАВІ Fe-20%Cr-8%Ni 76

Стародуб С. С., Лебедь О. А. АКТУАЛЬНІ КОМПАКТНІ ДЖЕРЕЛА РЕНТГЕНІВСКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ 78

Тилик С. В., Кузьменко Г. М. ЕЛЕМЕНТИ ІСТОРИЗМУ ЯК ЗАСІБ РОЗВИТКУ ІНТЕРЕСУ УЧНІВ ДО ФІЗИКИ 79

Ткач В. С. ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСТАНЦІЙНОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ В КПІ ІМ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО 81

Трофименко Я. В., Хелемеля О. В., Калінкевич О. В., Калінкевич О. М., Данильченко С. М. ВПЛИВ НИЗЬКОІНТЕНСИВНОГО РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА МЕРИСТЕМУ КІНЧИКІВ КОРЕНІВ *ALLIUM CEPA* 83

Трофименко Я. В., Хелемеля О. В., Калінкевич О. В., Калінкевич О. М., Данильченко С. М., Скляр А. М. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НИЗЬКОІНТЕНСИВНОГО РЕНТГЕНВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ТА ДЕКОРАТИВНІ КУЛЬТУРИ 84

Хелемеля О. В. УРАХУВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗНАКУ ЗАРЯДУ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ ВАЖКОЇ ЗАРЯДЖЕНОЇ ЧАСТИНКИ 87

Шуліпа Р. О., Павленко Ю. А., Возний В. І. ПРИЛАД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЕМІТТАНСУ ПУЧКА ПРОТОНІВ НА ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОМУ ПРИСКОРЮВАЧІ «СОКІЛ» 88

Bystrik Yu. S., Denisov S. LIMITING DISTRIBUTION FOR THE XY-MODEL OF BALLISTIC LÉVY WALKS 89

Kul'ment'ev A. I. EXCHANGE OF INFORMATION BETWEEN ADJACENT LEVELS IN MULTI-LEVEL COMPUTER SIMULATION 90

Білик В.М., Калінкевич О.В., Калінкевич О.М., Данильченко С.М. РІХЕ-АНАЛІЗ МАГНІТНИХ СОРБЕНТІВ НА ОСНОВІ ХІТОЗАНУ ТА МАГНЕТИТУ 92

Калінкевич О. В., Калінкевич О. М., Зінченко Є. І., Чіванов В. Д., Данильченко С. М. ДОСЛІДЖЕННЯ НАКОПИЧЕННЯ ВОДНЮ В МЕДИЧНИХ ІМПЛАНТАТАХ З Ti-Zr СПЛАВІВ З МОДИФІКОВАНОЮ ПОВЕРХНЕЮ ЗА УМОВ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОГО НАВОДНЕННЯ 94

Баштова А. І.
кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник,
Інститут прикладної фізики НАН України,
м. Суми, Україна
anna29bashtova@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ β-Nb ФАЗИ В БІНАРНИХ СПЛАВАХ Zr-Nb ПІДДАНИХ РАДІАЦІЙНОМУ ОПРОМІНЕННЮ

Робота присвячена вивченню стійкості преципітатів β-фази Ніобію в системах Zr-Nb підданих нейтронному опроміненню. Дослідження проводилось з використанням методу фазового поля, що узагальнений урахуванням динаміки точкових дефектів, їхніх стоків та дислокацій невідповідності. Детально розглядаються локальний розподіл концентрації Nb, концентрації вакансій та густина дислокацій невідповідності на етапах підготовки зразка та його опромінення при різних швидкостях набору дози та температурах. Динаміка та статистика випадіння преципітатів β-Ніобію вивчаються та аналізуються в умовах опромінення нейтронами при 550*K* та 600*K*, а також швидкостях набору дози 10^{-4}–10^{-5}*з.н.а./с.* Показано, що домени β-Ніобію повільно ростуть за сценарієм Оствальдівського визрівання під час опромінення до 2*нм* зі зменшенням їх чисельної густини за рахунок виникнення точкових дефектів та упорядкування дислокацій невідповідності. Визначено, що при дозах до (2-3)*з.н.а.* балістичне перемішування атомів призводить до розчинення преципітатів, тоді як при підвищених дозах дифузійні процеси переважають атермічне атомове перемішування, що призводить до зростання преципітатів. Також показано, що дислокаційні петлі с-типу впливають на динаміку росту розміру доменів β-Ніобію. Проведена оцінка зміцнення, що відбулось під впливом радіації. Отримані в роботі результати підтверджуються експериментальними даними.

Бєлінський А. О.
студент, спеціальність «014 Середня освіта (Інформатика)»,
Соловйов В. М.
доктор фізико-математичних наук, професор,
Татаренко А. О.
студент, спеціальність «014 Середня освіта (Фізика)»,
Слюсаренко М. А.
кандидат педагогічних наук, доцент,
Криворізький державний педагогічний університет,
м. Кривий Ріг, Україна
krivogame@gmail.com

НЕЕКСТЕНСИВНА ПРИРОДА ГРАВІТАЦІЙНИХ ХВИЛЬ

Відкриття гравітаційних хвиль (gravitational waves – GW) [1] є одним із найбільш видатних подій у фізиці за останні десятиліття. Будучи сигналом, що продукується складними системами, GW проявляють нетривіальні властивості, зокрема, ентропію.

Натхненний концепцією мультифрактального аналізу, Константіно Цалліс виявив, що ентропія Больцмана-Гіббса $S_{BG} = -k_B \sum_{i=1}^{W} p_i \ln p_i$ є неприйнятною для багатьох видів складних систем, оскільки статистична теорія Больцмана-Гіббса (БГ) припускає їх ергодичність, але вони їй не відповідають.

Тому, у 1988 році Цалліс висунув концепцію неекстенсивної термодинаміки, де новий вид ентропії [2, 3] приймає вигляд $S_q = -k_B(1-q)^{-1}(1-\sum_i p_i^q)$ через заміну експоненти q-експонентою – $e_q(x) = \left[1+(1-q)x\right]^{1/(1-q)}$ – та натурального логарифму q-логарифмом – $\ln_q(x) = (1-q)^{-1}(x^{1-q}-1)$.

Характеристичний ентропійний показник q тісно пов'язаний із мікроскопічною динамікою і характеризує ступінь кореляцій у системі. Із $q \to 1$, окремі структурні елементи системи стають більш незалежними один від одного та q-ентропія Цалліса S_q збігається до ентропіїї S_{BG}.

Там де традиційна статистична механіка не працює, неектенсивна теоретична концепція може бути застосована для дослідження множини різних нерівноважних систем: космічних променів та зірок, динаміки плазми і атмосфери; серця та мозку, фінансових активів та економічних показників.

Основною метою нашої роботи є аналіз динаміки гравітаційних хвиль у контексті неекстенсивного формалізму. У якості прикладу ми взяли дані гравітаційної хвилі GW150914 після фільтрації шуму (https://www.ligo.org/detections/GW150914.php). Для порівняння використовується часовий ряд аналогічної довжини для сигналу землетрусу (earthquake – EQ) [4]. Результати представлені на рисунку. Верхня частина візуалізує власне досліджувані хвилі, а нижня – функції розподілу нормалізованих сигналів та значення параметра неекстенсивності.

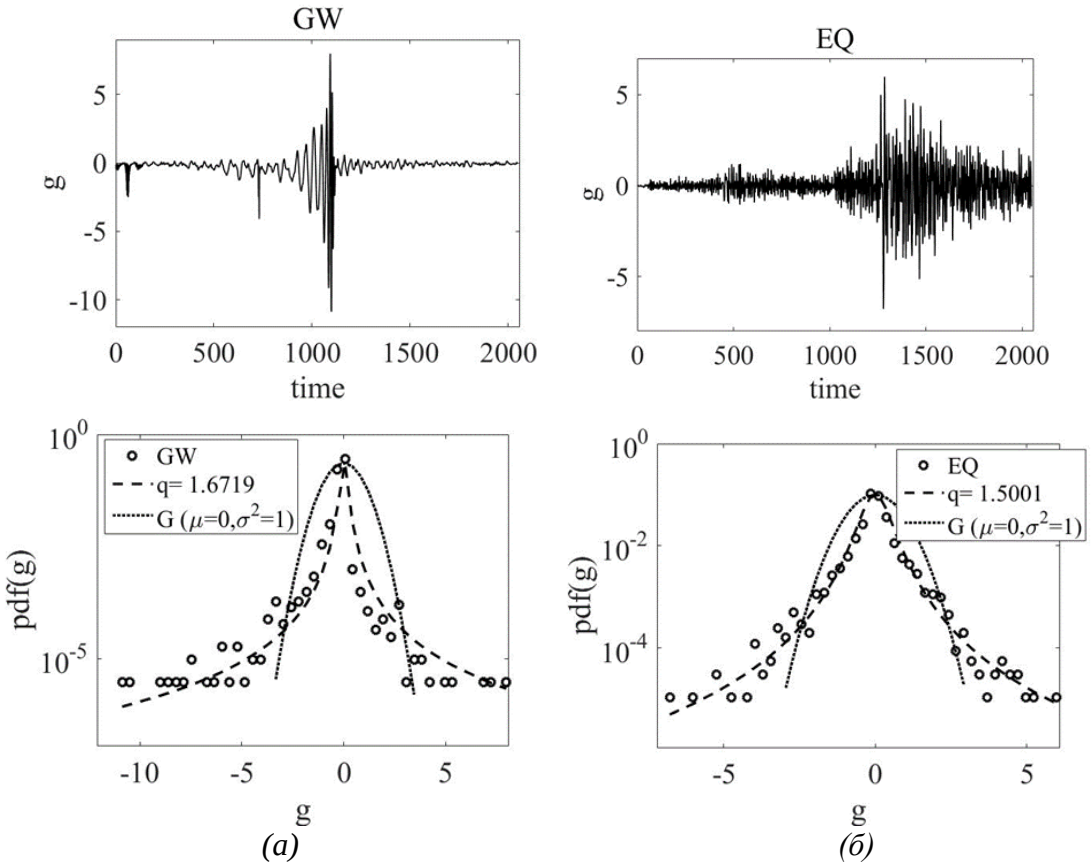

Рис. Порівняння функцій розподілу для сигналів GW (а) та EQ (б) із розподілом Гауса (G). Окрім цього, вказані параметри неекстенсивності q

Видно, що відповідні сигнали не відповідають нормальному розподілу і характеризуються довгими хвостами, а отримані значення $q > 1$ підтверджують неекстенсивну термодинаміку гравітаційних об'єктів, що генерують GW [5]. В подальшому ми плануємо провести комплексні дослідження триплету Цалліса [3] на наявному сімействі GW.

Список використаних джерел

1. Abbott, B.P. et al. (2016). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Phys. Rev. Lett.*, **116**, 061102. doi: 10.1103/physrevlett.116.061102
2. Gazeau, J.P. & Tsallis, C. (2019). Möbius Transforms, Cycles and q-triplets in Statistical Mechanics. *Entropy* 2019, **21**, 1155. doi: 10.3390/e21121155
3. Pavlos, G.P. et al. (2014). Universality of non-extensive Tsallis statistics and time series analysis: Theory and applications. *Physica A*, **395**, 58-95. doi: 10.1016/j.physa.2013.08.026
4. Fulcher, B.D., Little, M.A. & Nick, S. (2013). Jones Highly comparative time-series analysis: The empirical structure of time series and their methods. *J. R. Soc. Interface*, **10** (83), 20130048. doi: 10.1098/rsif.2013.0048
5. Shalaby, A.G., Oikonomou, V.K., Gamal G.L. & Nashed, G.G.L. (2021). Non-Extensive Thermodynamics Effects in the Cosmology off f(T) Gravity. *Symmetry*, **13**, 75. doi: 10.3390/sym13010075

Білик В. М.
молодший науковий співробітник,
Інститут прикладної фізики НАН України,
м. Суми, Україна
v.m.bilyk.sumy@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ PIXE ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙНОГО ПРОФІЛЮ В ЗРАЗКАХ Zr СПЛАВУ З ІМПЛАНТОВАНИМ Zr

Робота присвячена застосуванню методу PIXE до дослідження явища перерозподілу концентрації компонентів цирконієвого сплаву під дією опромінення важкими іонами. Основна ціль роботи, на основі методу PIXE, розрахувати концентраційні профілі для цирконієвих сплавів що піддавались опроміненню важкими іонами. Зокрема в даній роботі представлено дослідження Zr сплаву з імплантацією Zr.

Ідея побудови концентраційних профілів методом PIXE описана в [1, 2] та отримала подальший розвиток та застосування [3-7]. Щоб отримати концентраційний профіль методом PIXE необхідно проводити виміри для різних початкових енергій протонів, або проводити виміри для різних кутів між нормаллю до поверхні зразка та протонним пучком. Як в першому так і в другому випадку можна досягти різних максимальних глибин аналізу елементного складу.

Була підготовлена серія зразків цирконієвого сплаву марки Zr-4 та Zr-1. Підготовка полягала у опроміненні зразків до різних доз, зокрема в роботі використовувались зразки з дозою опромінення 50 dpa, шляхом імплантації в зразок іонів цирконію з енергією 300 keV. Опромінення відбувалось за допомогою «Високодозного іонного імплантора».