

Міністерство освіти і науки України  
Інститут прикладної фізики Національної академії наук України  
Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка  
Фізико-математичний факультет



***СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ,  
ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ ТА  
МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ***

**МАТЕРІАЛИ  
V Всеукраїнської науково-практичної конференції  
молодих учених**

**22-24 квітня 2019 року**

**м. Суми**

**Міністерство освіти і науки України  
Інститут прикладної фізики Національної академії наук України  
Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка  
Фізико-математичний факультет**

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ,  
ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ ТА  
МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ**

**Матеріали  
V Всеукраїнської науково-практичної конференції  
молодих учених**

**(Суми, 22-24 квітня 2019 року)**

За редакцією к.ф.-м.н, доц. кафедри фізики та  
методики навчання фізики О.М. Завражної

Затверджено вченою радою фізико-математичного факультету

Суми

Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка

2019

**УДК 53:004(08)**

**М 34**

Рекомендовано до друку вченою радою фізико-математичного факультету Сумського державного педагогічного університету імені А.С.Макаренка

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

**Рецензенти:**

**Мороз І.О.** – доктор педагогічних наук, професор, зав. 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

**М 34** Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, м. Суми, 22-24 квітня 2019 р. / за ред. О.М. Завражної – Суми: СумДПУ, 2019. – 91 с.

У збірнику подані матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених «Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики». 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., 2019

© СумДПУ, 2019

## ЗМІСТ

<b>Артемов А. В., Денисенко В. Л. ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНО-ІНДУКОВАНОЇ СЕГРЕГАЦІЇ В РЕАКТОРНИХ МАТЕРІАЛАХ ЯДЕРНО-ФІЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ .....</b>	<b>7</b>
<b>Бессараб Ю. В. ІВІЛ ДЛЯ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ .....</b>	<b>8</b>
<b>Білик В. М. ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ТА МАКСИМАЛЬНОЇ ПРАВДОПОДІБНОСТІ ДО ЗАДАЧІ ПОБУДОВИ КОНЦЕНТРАЦІЙНИХ ПРОФІЛІВ .....</b>	<b>10</b>
<b>Бойченко О. В. ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ЯК ШЛЯХ ДО УДОСКОНАЛЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ПРИ ВИВЧЕНІ ФІЗИКИ.....</b>	<b>12</b>
<b>Буликан А. В., Мельник Н. В. РОЗВИТОК УЯВЛЕНЬ ПРО ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ .....</b>	<b>14</b>
<b>Гончаренко О. І., Коломієць В. М., Кравченко С. М. МЕТОД МАГНЕТРОННОГО РОЗПИЛЕННЯ ІМПУЛЬСАМИ ВИСОКОЇ ПОТУЖНОСТІ.....</b>	<b>17</b>
<b>Гудаков О. О., Білик В. М. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ РІХЕ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ РІЧНИХ КІЛЕЦЬ ДЕРЕВИНИ .....</b>	<b>19</b>
<b>Дементьев Є. А., Змієнко М. Ю. РАДІАЦІЙНО-ІНДУКОВАНА СЕГРЕГАЦІЯ В БІНАРНИХ СПЛАВАХ.....</b>	<b>22</b>
<b>Дяченко М. М., Холодов Р. І. ВАКУУМНЕ ПОДВІЙНЕ ПРОМЕНЕЗАЛОМЛЕННЯ В СИЛЬНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ ..</b>	<b>23</b>
<b>Жигуліна В. І. ВИКОРИСТАННЯ ЗАВДАНЬ ПРОФЕСІЙНОГО ЗМІСТУ НА УРОКАХ ФІЗИКИ У ПРОФЕСІЙНО-ТЕХНІЧНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ .....</b>	<b>25</b>
<b>Зінченко Є. І. ТЕРМІЧНЕ РОЗКЛАДАННЯ БІОГЕННИХ КАЛЬЦИТІВ .....</b>	<b>26</b>
<b>Коломієць В. М., Кравченко С. М., Шкурат О. І. РОЗРОБКА ВАКУУМНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТОНКОПЛІВКОВИХ СТРУКТУР .....</b>	<b>30</b>

<b>Кривцова Л. Ю., Тарадуда А. С. КЕРОВАНІЙ ТЕРМОЯДЕРНИЙ СИНТЕЗ – НАДІЯ СУЧАСНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....</b>	<b>32</b>
<b>Крикля С. В. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЇ АНІГЛЯЦІЇ В ПРОГРАМНОМУ ПАКЕТІ AVINIT .....</b>	<b>34</b>
<b>Кузнецов В. М. ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШАРІВ МАЛОЇ ТОВЩИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕНТГЕНІВСЬКОЇ ДИФРАКЦІЇ....</b>	<b>36</b>
<b>Купянський Г. Д. ФОРМУВАННЯ НАНОЧАСТОК СРІБЛА У ГІДРОГЕЛІ ПВС-ПЕГ ПІД ДІЄЮ ОПРОМІНЕННЯ ЕЛЕКТРОНАМИ .....</b>	<b>38</b>
<b>Лебединська Ю. С. ВИВЧЕННЯ ОСНОВ ДЕТЕКТУВАННЯ ЧАСТИНОК З ВИКОРИСТАННЯМ CERN OPEN DATA PORTAL У ЗАГАЛЬНООСВІТНІХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ .....</b>	<b>40</b>
<b>Лебединський С. О., Холодов Р. І. ВПЛИВ ЗОВНІШНЬОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПОЛЬОВУ ЕЛЕКТРОННУ ЕМІСІЮ.....</b>	<b>42</b>
<b>Левченков О. А. ПІДХОДИ ДО КЛАСИФІКАЦІЇ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ТОНКИХ ПЛІВОК.....</b>	<b>44</b>
<b>Лунгол О. М., Суховірська Л. П. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ СТУДЕНТІВ-МЕДИКІВ НА ЗАНЯТТЯХ З БІОФІЗИКИ .....</b>	<b>48</b>
<b>Марчук О. В., Гуцул О. В. ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕРАПІЇ У ДООПЕРАЦІЙНОМУ ПЕРІОДІ ЛІКУВАННЯ РАКУ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ .....</b>	<b>50</b>
<b>Матрос А. В. МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ МІЖПРЕДМЕТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ПРИ ВИВЧЕННІ ФІЗИКИ.....</b>	<b>52</b>
<b>Міщенко Д. К., Завражна О. М. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У ШКІЛЬНОМУ КУРСІ ФІЗИКИ .....</b>	<b>54</b>
<b>Мусієнко І. І., Холодов Р. І. ВПЛИВ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНІ МЕТАЛУ НА СТРУМ ПОЛЬОВОЇ ЕМІСІЇ У ВИПАДКУ БАГАТОСТУПЕНЕВИХ БАР'ЄРІВ.....</b>	<b>56</b>

<b>Овчаренко А. Ю. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ФАЗОВОГО КОНТРАСТУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНИХ ДЕФЕКТІВ.....</b>	<b>58</b>
<b>Остапенко І. В. ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ КВАНТОВИХ ТОЧОК.....</b>	<b>60</b>
<b>Подгорнова Д. Я., Тищенко Є. В. ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК УЯВЛЕНЬ ПРО ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД .....</b>	<b>61</b>
<b>Поліщук А. Ю. АВ ІНІТІО КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОЛЕКУЛИ ВОДИ .....</b>	<b>64</b>
<b>Рубан А. Г. ІНДИВІДУАЛІЗАЦІЯ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ.....</b>	<b>65</b>
<b>Салтикова А. І., Лохоня М. М. МЕТОДИЧНІ ТРУДНОЩІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОЕКТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ У ЗАГАЛЬНООСВІТНІХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ .....</b>	<b>67</b>
<b>Свиридюк Г. Ю., Фурс Т. В. ВПЛИВ <math>\beta</math>-ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОНОКРИСТАЛІВ <math>PbI_2</math> .....</b>	<b>68</b>
<b>Скороход Р. В. МОДЕЛЮВАННЯ РАДІАЦІЙНО-ІНДУКОВАНОЇ СЕГРЕГАЦІЇ В ПОТРІЙНИХ КОНЦЕНТРОВАНИХ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВАХ.....</b>	<b>70</b>
<b>Ткаченко Ю. А. НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНА ГРАМОТНІСТЬ В КОНТЕКСТІ НАНОНАУКИ І НАНОТЕХНОЛОГІЙ .....</b>	<b>71</b>
<b>Трофименко Я. В., Данильченко С.М. ВИЗНАЧЕННЯ ПОГЛИНУТОЇ ДОЗИ ДОЗИМЕТРОМ ФРИККЕ.....</b>	<b>74</b>
<b>Фоміна О. М. ВИКОРИСТАННЯ ЦІКАВИХ ДОСЛІДІВ ПРИ ВИВЧЕННІ ФІЗИКИ В ЗАГАЛЬНООСВІТНІЙ ШКОЛІ.....</b>	<b>76</b>
<b>Хелемеля О. В. ВПЛИВ СИЛЬНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ ТА АНІЗОТРОПНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ВТРАТИ ІОНА .....</b>	<b>77</b>
<b>Цапенко М. В. СТРУКТУРА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖУВАЛЬНА КОМПЕТЕНТНІСТЬ УЧНІВ ОСНОВНОЇ ШКОЛИ.....</b>	<b>79</b>

<b>Шульженко А. В. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ РЕЗЕРФОРДІВСЬКОГО ЗВОРОТНОГО РОЗСПЮВАННЯ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ РОЗПЛАВЛЕНИХ МЕТАЛІВ.....</b>	<b>81</b>
<b>Бессмертная О. С., Кедровский С. Н., Мовчан Д. Н., Коваль Ю. Н. ОСОБЕННОСТИ МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЗАКАЛЁННЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Zr-Ta.....</b>	<b>83</b>
<b>Полищук А. В., Кульментьев А. И. О ПРИМЕНЕНИИ ЛИНЕЙНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ФАЗОВОГО КОНТРАСТА В СВАРКЕ .....</b>	<b>85</b>
<b>Роевко О. Ю. ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ В ИПФ ИСТОЧНИКЕ .....</b>	<b>87</b>
<b>Чёрная В. А. ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ В УГЛОВОЙ ФАЗЕ ЛЕГКОСНЫХ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКОВ С ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ДЗЯЛОШИНСКОГО.....</b>	<b>88</b>

**Артемов А. В.**

аспірант, спеціальність «104 Фізика та астрономія»,

**Денисенко В. Л.**

кандидат фізико-математичних наук,  
доцент, старший науковий співробітник,

Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України,

м. Суми

*artemov.anton1993@gmail.com*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНО-ІНДУКОВАНОЇ СЕГРЕГАЦІЇ В РЕАКТОРНИХ МАТЕРІАЛАХ ЯДЕРНО-ФІЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ**

Реакторні матеріали - сплави, які використовуються в ядерних реакторах атомних електростанцій. Через велику інтенсивність радіоактивного опромінення таких матеріалів відбувається деградація їхніх властивостей, сплави стають крихкими. Це може привести до порушення мікроструктури стінок реактора. Тому розробка нових матеріалів може збільшити термін експлуатації реакторів і зменшити вартість їх утримання.

Сучасні технології дозволяють моделювати властивості нових реакторних матеріалів на комп'ютері за допомогою спеціальних програм. Однак, для точного аналізу все ж необхідні дослідження структури цих сплавів на практиці.

Для виконання поставлених задач використовуються, в основному, методи Резерфордівського зворотного розсіювання і метод індукованого частинками характеристичного випромінювання.

В методі Резерфордівського зворотного розсіювання (Rutherford backscattering spectrometry) пучок легких іонів ( $H^+$ ,  $He^+$ ) зіштовхується з мішенню. Детектор, розташований під кутом, близьким до  $180^\circ$ , фіксує кількість розсіяних частинок і їх енергію. Метод дозволяє дослідити склад і структуру матеріалу мішені. Однак, для нього є деякі обмеження. Вивчення надтонких плівок вимагає довготривалого дослідження. Також, на заводі може виявитися недостатня роздільна здатність детектуючого пристрою.

В методі індукованого частинками характеристичного випромінювання (Particle Induced X-ray Emission) прискорені заряджені частинки, які зіштовхуються з атомом, вибивають електрони з внутрішніх електронних оболонок. Заповнення вакантних місць з зовнішніх електронних оболонок супроводжується виділенням кванта рентгенівського випромінювання. Аналіз інтенсивності та довжини хвилі цього випромінювання дозволяє визначити склад і структуру досліджуваного матеріалу.



З безлічі завдань, що вирішуються перерахованими методами, нас цікавить, перш за все, експериментальне вивчення радіаційно-індукованої сегрегації[1,2] через визначення концентраційних профілів компонентів сплавів під опроміненням. Обидва методи дозволяють вирішувати таке завдання. В ІПФ НАНУ для вирішення цього завдання використовується метод PIXE. Тому в доповіді детально буде розглянуто визначення концентраційних профілів саме цим методом[3-7].

Робота виконана за рахунок коштів бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень» (КПКВК 6541230).

#### Список використаних джерел

1. G.S. Was, J.P. Wharry, B. Frisbie, B.D. Wirth, D. Morgan, J.D. Tucker, T.R. Allen, Journal of Nuclear Materials 411 (2011) 41-50.
2. R.V. Skorokhod, O.M. Buhay, V.M. Bilyk, V.L. Denysenko, O.V. Koropov, EastEur.J.Phys. Vol. 5 No.1 (2018) 61-69.
3. J. Miranda, J.Richards, R. Trejo-Luna, Nucl. Instr. and Meth. B 249 (2006) 394-396.
4. L.C. Feldman, J.W. Mayer, Fundamentals of surface and thin film analysis (North-Holland, Amsterdam, 1986).
5. M.Jaksk, M. Vajic, S. Fazinic, D. Rendic, T. Tadit, V. Valcovic, Nucl. Instr. and Meth. B40-41( 1989) 643-645.
6. P. Midy, I. Brissaud, Nucl. Instr. and Meth. B 103 ( 1995) 489-493.
7. Z. Smit, M. Holc, Nucl. Instr. and Meth. B 219-220 ( 2004) 524-529.

**Бессараб Ю. В.**  
інженер 2-ї категорії  
Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України,  
м. Суми  
*bessarabyuliya@ukr.net*

## ІВІЛ ДЛЯ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

Сучасний розвиток ядерно-фізичних методів аналізу структури і складу матеріалів відкриває широкі можливості для дослідження фізичних і хімічних властивостей різних природних і штучних матеріалів, а також тканин живих організмів. За допомогою пучків прискорених іонів можна досліджувати об'єкти культурної спадщини, такі як картини, кераміка, книги та ін. Одним з таких методів є люмінесценція індукована пучком іонів (ІВІЛ).

ІВІЛ це аналіз люмінесценції видимого діапазону, одержаної від твердих зразки при опроміненні зарядженими частинками. На відміну від процесів, що ведуть до виникнення рентгенівських променів, в яких беруть участь внутрішні атомні оболонки, процес люмінесценції пов'язаний з переходами зовнішніх електронів, які беруть участь в хімічних зв'язках атомів або в дефектах решітки. З цієї причини ІВІЛ чутливий до локального хімічного середовища сполук і сліду замісників та до мікроструктури решітки. Отже, ІВІЛ як аналітичний метод в принципі схожа на катодолюмінесценцію (КЛ), яка звичайно використовується для аналізу мінералів і напівпровідників. Ця подібність дозволяє використовувати базу даних СЛ-спектров для аналізу особливостей ІВІЛ, виникаючих для різних сполук.

ІВІЛ використовують для аналізу неорганічних пігментів, що зазвичай використовуються в картинах. Зокрема, в розглянутій роботі досліджено, як ІВІЛ може давати спектральні характерні особливості різних пігментів за час збору набагато менший, ніж потрібний для збору повного спектру РІХЕ, що зводить до мінімуму радіаційні пошкодження зразка.. ІВІЛ аналіз вказує, що люмінесцентні пігменти мають спектральні особливості, які можуть бути використані в якості відбитки пальців для їх ідентифікації. Наявність захисного шару лаку на картинах є складною проблемою для аналізу РІХЕ, так як він поглинає м'які рентгенівські промені. Вплив лакового шару на ІВІЛ спектр досліджується, показуючи, що він зазвичай не впливає на спектр випромінювання, особливо для матеріалів, такі як лазурит, які не можуть бути проаналізовані РІХЕ при покритті лаком.

#### **Список використаних джерел**

1. Quaranta, J. Salomon, J.C. Dran, M. Tonezzer, G. Della Mea, 2007. Ion beam induced luminescence analysis of painting pigments., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 254 (2007) 289–294.
2. A Quaranta, J C Dran, J Salomon, J C Pivin, A Vomiero, M Tonezzer, G Maggioni, S Carturan, and G Della Mea, 2006. Analysis of art objects by means of ion beam induced luminescence, Journal of Physics: Conference Series 41 (2006) 543–546.
3. James R. Huddle, Patrick G. Grant, Alexander R. Ludington, Robert L. Foster, 2007. Ion beam-induced luminescence., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 261 (2007) 475–476.
4. P.D. Townsend., Variations on the use of ion beam luminescence, 2007. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 286 (2012) 35–39.

**Білик В. М.**  
молодший науковий співробітник,  
Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України,  
м. Суми  
*v.m.bilyk.sumy@gmail.com*

## **ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ТА МАКСИМАЛЬНОЇ ПРАВДОПОДІБНОСТІ ДО ЗАДАЧІ ПОБУДОВИ КОНЦЕНТРАЦІЙНИХ ПРОФІЛІВ**

Ядерна енергетика на сьогоднішній день виробляє близько 11% електроенергії в світі. В таких країнах як Бельгія, Франція, Словаччина, Угорщина, Україна відсоток електроенергії виробленої на атомних електростанціях складає 50 і більше відсотків [1]. З огляду на це, питання пов'язані з розробкою та вдосконаленням ядерних реакторів мають важливе значення. Одним із них є питання радіаційної стійкості цирконієвих сплавів, оскільки цирконієвий сплав застосовують як оболонку для тепло видільного елемента, який знаходиться в активній зоні реактора.

Одним із явищ що спостерігаються при опроміненні цирконієвого сплаву та і матеріалів взагалі, є явище перерозподілу концентрації елементів в приповерхневому шарі матеріалу. Як наслідок можуть змінюватись властивості цього шару. Тому важливою задачею є отримання концентраційних профілів для приповерхневих шарів.

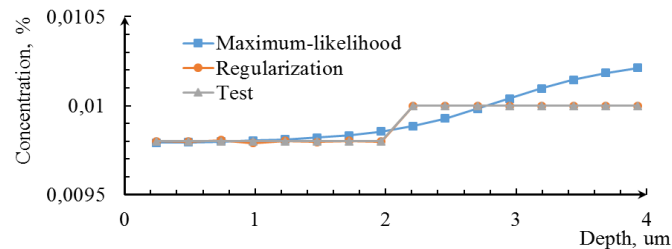
Один із шляхів розв'язку даної задачі є застосування методу PIXE (протонно індукованої рентгенівської емісії). В силу наявності похибок при вимірюванні та похибок при проведенні обчислень рентгенівського виходу, розв'язок даної задачі може мати велику нестійкість. Тому для подолання нестійкості розв'язку необхідно застосовувати алгоритми регуляризації.

Дана робота присвячена застосуванню алгоритмів регуляризації та максимальної правдоподібності до задачі побудови концентраційних профілів на основі методу PIXE.

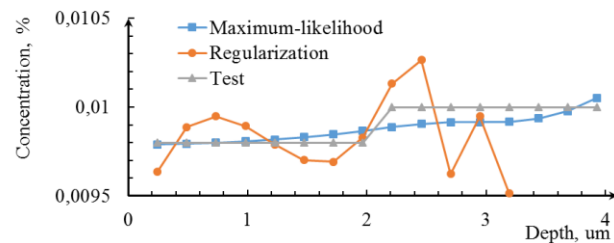
Було проаналізовано роботу двох алгоритмів для побудови концентраційного профілю на основі методу PIXE. А саме алгоритм регуляризації на основі розширення матриці [], а також алгоритм максимальної правдоподібності (Maximum likelihood).

Для перевірки роботи алгоритмів було взято різні види концентраційних профілів. На основі даних профілів будувалась матриця даних, а потім з матриці знову відновлювались концентраційні профілі. Для імітування похибок в вимірюваннях і розрахунках на матрицю даних накладався шум. Значення шуму складали 0,1 %, 1 %, 10 %.

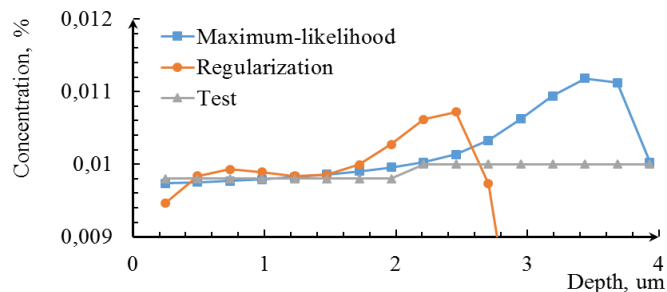
За результатами перевірки роботи алгоритмів можна сказати що застосований нами алгоритм «регуляризації» дає точний розв'язок при відсутності шуму, при збільшенні шуму похибка в розв'язку значно зростає. Алгоритм максимальної правдоподібності натомість видає більш стабільний результат, але володіє певною похибкою навіть у випадку відсутності шуму (Рис. 1).



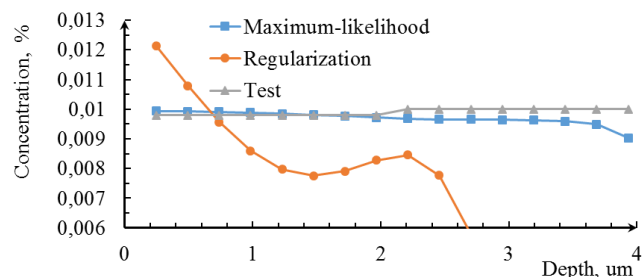
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Результат застосування алгоритмів відновлення концентраційного профілю до тестового профілю: а) без шуму, б) шум 0,1 %, в) шум 1 %, г) шум 10 %.

### Список використаних джерел

1. <http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>.
2. Жданов А.И., Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки. (2008) № 1(16). С. 149–153.
3. S.C. Liew, K.K. Loh, S.M. Tang, Nucl. Instr. and Meth B85 (1994) 621-626.

**Бойченко О. В.**

магістрант, спеціальність «014 Середня освіта. Фізика»,  
Сумський державний педагогічний  
університет імені А. С. Макаренка,  
м. Суми  
*boichenkoleha@outlook.com*

## **ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ЯК ШЛЯХ ДО УДОСКОНАЛЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ПРИ ВИВЧЕНІ ФІЗИКИ**

На даному етапі освіти перед учителем ставиться завдання створити такі умови для дитині, щоб вона само розвивалася та самоудосконалювалася. Для цього процес навчання має бути сконструйований з максимальним наближенням до запитів і можливостей дитини.

Головна мета навчання фізики в середній школі полягає в розвитку особистості учнів засобами фізики як навчального предмета, зокрема завдяки формуванню в них предметної компетентності на основі фізичних знань, наукового світогляду й відповідного стилю мислення, розвитку експериментальних умінь і дослідницьких навичок, творчих здібностей і схильності до креативного мислення.

Фізика - це наука експериментальна, тому саме навчання фізики неможливо уявити без фізичного експерименту. Без добре поставлених фронтальних і лабораторних робіт, демонстраційних дослідів, не можна забезпечити розуміння і засвоєння в учнів певного навчального матеріалу з фізики.

Важливість експерименту є в тому, що при наданні учням нових знань він сформує в них початкові уявлення про досліджувані явища, створює образи, що лежать в основі багатьох фізичних понять, наприклад, такі як механічний рух, траєкторія, електричний струм, коливання та інші.

Ми зупинимося на одному з видів експерименту – фронтальному експерименті. На відміну від лабораторних робіт, на яку ми можемо відводити цілий урок, для проведення фронтального експерименту нам достатньо буде 5-10 хвилин.

Короткотривалість виконання і різноманітність експериментальних завдань дозволяє їх включити в окремі етапи уроків з метою вирішення різних навчально-дослідницьких завдань:

- на початку теми уроку,
- наочністю до пояснення вчителя,
- при систематизації та узагальненні вивченого навчального матеріалу на уроці;
- у відтворенні практичних навичок.

Фронтальні експериментальні завдання виконують на типових лабораторних установках. Хоча можливе і застосування, в деяких випадках, найпростіших саморобних приладів, доступних матеріалів і пристосувань.

Частіше саме виконання фронтальних завдань дозволяє прищепити в учнів деякі початкові практичні навички в поводженні з найпростішими вимірювальними приладами та іншими приладами.

Фронтальні заняття дозволяють включати в пошук вирішення того чи іншого завдання одночасно увесь клас. Процес їх виконання відбувається під постійним і безпосередньо наглядом вчителя. Отже, будь-яка помилка швидко виявляється і легко виправляється учнем або за вказівками вчителя, або шляхом допомоги більш сильних учнів.

Позитивним моментом у фронтальному експерименті є те, що виконання цих завдань не вимагає звіту про виконану роботу в учнів та оцінки їх роботи. Кількість завдань по кожній темі визначається ступенем важливості тих чи інших понять чи практичних умінь; часом, відведеного програмою на вивчення теми і можливістю виконання завдань у школі. Завдання взаємно пов'язані на уроках з навчальним матеріалом. Це дозволяє систематично виконувати їх протягом усього навчального року і тим самим навчати фізики учнів на експериментальній основі.

Використання фізичного експерименту дозволяє викликати інтерес учнів, активізувати розумові здібності, сприяє утворенню більш міцних знань фізики, розвиває уміння та навички самостійно працювати та аналізувати результати дослідів, удосконалює у них абстрактне мислення. При навчанні учні здобувають досвід:

- вивчення явища, спостереження властивостей речовин та тіл;
- працювати над вимірюваннями фізичних величин;
- як користуватися приладами;
- пропонувати свої припущення;
- обмірковувати результати дослідження;
- брати участь в обговоренні;
- та найголовніше - робити висновки.

Отже, якщо учні будуть самостійно виконувати різні досліди і спостерігати за демонстрацією учителя фізичних експериментів та слухати

його, читати підручника і ознайомлюватися з літературою, то така робота буде мати більш позитивні результати. Тому, в школі викладання та навчання передбачає широке використання експерименту, обговорення з учнями особливостей його постановки і знайдених результатів. Слід відмітити, що програмою проведення фізичного експерименту з рішенням розрахункових завдань не передбачається. Для перевірки засвоєння рекомендується проводити контрольні роботи, отримувати відповіді на якісні питання, написання рефератів з подальшим аналізом їх змісту на уроках.

#### Список використаних джерел

1. Бар'яхтар В. Г. Фізика 11 кл. : підручник для загальноосвітніх навчальних закладів. Академічний рівень. Профільний рівень / В.Г. Бар'яхтар, Ф. Я. Божинова, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна. – Харків: Ранок, 2011. – 320 с.
2. Величко С.П., Неліпович В.В. Вивчення фізичних властивостей рідких кристалів у середній загальноосвітній школі: Посібник для вчителів /За ред. С.П. Величка–Херсон: ТОВ «Айлант», 2010.–180с.
3. Програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. 10-11 класи. Профільний рівень. Київ, 2010. - Режим доступу до програми: <http://www.mon.gov.ua/index.php/ua/diyalnist/osvita>.
4. Садовий М. І. Методика і техніка експерименту з оптики: посіб. [для студ. вищих пед. навч. закладів та вчителів] / Садовий М. І., Сергієнко В. П., Попов І. В. - [2-е вид., перероб. і доп.] - Кіровоград: Сабоніт, 2008. - 253 с.

*Рекомендовано до публікації кандидатом фізико-математичних наук, доцентом Салтиковою А.І.*

**Буликан А. В., Мельник Н. В.**

курсанти,  
спеціальність «172 Телекомунікації та радіотехніка»,  
Військовий інститут телекомунікацій  
та інформатизації імені Героїв Крут  
м. Київ  
*bogdansus@gmail.com*

## РОЗВИТОК УЯВЛЕНЬ ПРО ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

Ще давні греки помітили, що коли два бурштинові камінці потерти шовком чи шерстю, то вони «заряджаються» і взаємодіють на відстані. Поянювалося це тим, що «заряджені» тіла створюють навколо себе «електричні поля», через які й відбувається взаємодія. Кулон встановив закон взаємодії двох точкових «зарядів». Однак взаємодія відбувається не абстрактно, а реально. Тому треба відповісти «предметно»: що являє

собою «поле»? В математиці поняття «поле» є синонімом слова «розподіл». Наприклад, термін «поле векторів» означає **розподіл** векторів у просторі чи на площині. У фізиці поняття «поле» може означати **розподіл у просторі невідомих частинок**, які вилучаються тілами і через які й відбувається взаємодія. Електрони і протони, будучи **різними речовинами**, вилучають «**частинки взаємодії**», причому різні («додатні» і «від’ємні»), завдяки чому відбувається відштовхування чи притягування.

Уявімо, що тіло  $m_1$  випромінює «частинки взаємодії» (рис. 1). Лінії на рисунку зображують розподіл («поле») цих частинок у просторі. Очевидно, що коли тіло  $m_2$  знаходиться ближче до тіла  $m_1$ , на нього потрапляє більше «частинок взаємодії» (рис. 1), ніж у випадку, коли тіло  $m_2$  знаходиться далі (рис. 2).

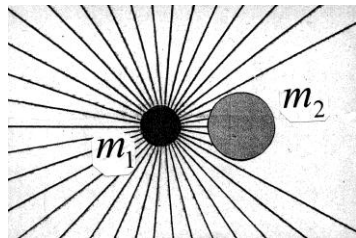


Рис. 1

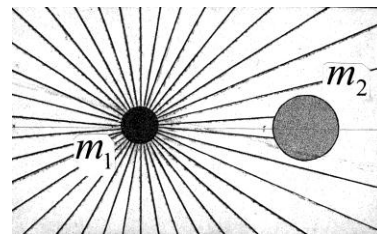


Рис. 2

Абстрактною мовою це означає, що «напруженість» чи «потенціал» «поля» «частинок взаємодії» на близькій відстані більші, ніж на далекій. Якщо електрон і протон випромінюють частинки, завдяки яким відбувається взаємодія, то зачіпаємо зовсім іншу проблему – проблему будови електрона і протона. Адже для забезпечення взаємодії, яка безсумнівно існує, вони повинні щось вилучати, а значить вони мають складну будову. Те, що протон складений із кварків – відомо, але виявити їх окремо поки-що нікому не вдалося. Можливо електрон також є складною і дуже високоенергетичною структурою.

Не має пояснення також сам фізичний (не абстрактний) механізм притягування. Якщо відштовхування через обмін частинками зрозуміле – відбувається передача кількості руху, то чому тіла притягуються і який механізм притягування – незрозуміло. Можливо механізм притягування між електроном і протоном подібний до притягування гравітаційного? Вважається, що гравітаційна взаємодія відбувається через гравітони – особливі частинки, які перебувають в коливальному стані. Вони



відштовхують тіло, яке їх випромінює, але при поглинанні навпаки – «тягнуть» тіло на себе (рис. 3 ) [1].

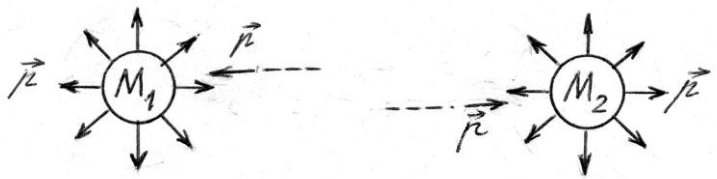


Рис. 3

Якщо вважати, що електрони і протони випромінюють **різні** «частинки взаємодії», наприклад, електрони випромінюють  $x_e$ -частинки, а протони –  $x_p$ -частинки, то через ці частинки відбувається взаємодія. Між електронами і протонами відбувається притягування і утворюється електронейтральна речовина, в якій однакова кількість електронів і протонів. А при взаємодії електронів між собою буде взаємне відштовхування. Так само відштовхуються протони. Так пояснює взаємодію між частинками відомий фізик-теоретик Стівен Хокінг: «Частинка речовини, наприклад електрон або кварк, випускає частинку, яка є переносником взаємодії. В результаті віддачі швидкість частинки речовини змінюється. Потім частинка переносник налітає на іншу частинку речовини і поглинається нею. Це зіткнення змінює швидкість другої частинки, ніби між цими двома частинками речовини діє сила [2, с. 38]».

Можна зробити висновок, що поняття «поле» реально означає розподіл в просторі навколо зарядів частинок взаємодії, які вилучаються електронами і протонами.

#### Список використаних джерел

1. Sus' B.A. Unusual interpretation of traditional physics problems. The third scientific-methodological edition / B.A. Sus', B.B. Sus', O.B. Kravchenko. –Kyiv: PC "Prosvita", 2012. – 121 p.
2. Хокинг Стівен. Краткая история времени / Стівен Хокинг. – СПб.: Амфора. 2001. – С. 38-39.

*Рекомендовано до публікації доктором педагогічних наук, професором Сусем Б.А.*

**Гончаренко О. І.**  
інженер 1-ї категорії,  
**Коломієць В. М.**  
старший науковий співробітник,  
**Кравченко С. М.**  
молодший науковий співробітник  
Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України,  
м. Суми  
*Interferensia@yandex.ru*

## **МЕТОД МАГНЕТРОННОГО РОЗПИЛЕННЯ ІМПУЛЬСАМИ ВИСОКОЇ ПОТУЖНОСТІ**

Захисні покриття підвищують експлуатаційну стійкість (зносостійкість, корозійну стійкість) деталей машин та інструментів в порівнянні зі стійкістю, яка досягається відомими способами термічної обробки. Використання захисних покриттів дозволяє отримувати особливі властивості робочої поверхні деталей (наприклад, жаростійкість, теплопровідність, заданий коефіцієнт тертя), а також дозволяють заощаджувати дефіцитні і дорогі метали. Такі покриття використовуються не тільки для захисту, а й для відновлення вже зношеної поверхні, тим самим знижуючи потреби в запасних частинах.

З 90-х років ХХ ст. для отримання захисних покриттів широкого розповсюдження набула методика магнетронного розпилення в середовищі аргону, яка показала досить високі результати фізико-механічних властивостей отриманих покриттів. Стало зрозумілим, що використання цієї методики може бути перспективним при виготовленні деталей, що працюють в умовах високої температури, тиску, навантаження, агресивного середовища [4].

Основними матеріалами, які використовуються для захисних покриттів, є Та, Ті, Zr, Nb і сплави на їх основі, покриття леговані рідкоземельними металами іттрієвої (Y, Nd) і церієвої (Ce, La, Pr) груп, високоентропійні сплави та керамічні покриття.

Основним недоліком традиційного методу магнетронного розпилення є низька іонізація атомів розпиленого матеріалу (близько 10 %), що не дозволяє керувати властивостями покриттів шляхом прискорення іонів цього матеріалу. Для вирішення цієї проблеми в 1999 році В. Кузнецовим був розроблений метод магнетронного розпилення імпульсами високої потужності (HIPIMS) (High-power impulse magnetron sputtering) [1]. Це нова PVD-технологія з важливою відмінністю – пікова потужність на катодах в імпульсі становить декілька МВт. Завдяки такій високій піковій потужності вміст іонів металу мішені в плазмі збільшується з 10% до 70%.

За умови застосування потенціалу зміщення близько 100 В, збільшення кількості іонізованих атомів металу, призводить до поліпшення адгезії, твердості, щільності і зменшення шорсткості захисного покриття. Тому останнім часом досить активно розглядається питання використання методу магнетронного розпилення імпульсами високої потужності при отриманні захисних покриттів [3].

У звіті лабораторії Venet (USA) наводиться порівняльний аналіз фізико-механічних характеристик плівок Ta й Cr отриманих традиційним магнетронним розпиленням при постійному струмі DC (Direct current) і методом HIPIMS [2]. Середня потужність напылення становила 2 кВт, осадження здійснювалося в середовищі інертного газу аргону при тривалості процесу в 1 годину. На основі проведених досліджень були зроблені наступні висновки:

- тести індентування показали, що адгезія плівок покриття, які отримані в режимі DC гірша, ніж адгезія плівок отриманих в режимі HIPIMS;
- результати атомно-силової мікроскопії показали, що покриття отримані в режимі HIPIMS мають незначну шорсткість близько 9 нм;
- покриття, які отримані в режимі HIPIMS мають значення твердості в 1,5 – 2 рази більші за значення твердості покриттів, які отримані в DC режимі.

Зазначимо, що методика HIPIMS може бути використана не тільки для отримання захисних покриттів, але і для попереднього очищення поверхні підкладки. При збільшенні потенціалу зміщення до декількох сотень вольт, відбувається не напылення матеріалу на підкладку, а її травлення. Також методику HIPIMS можна використовувати для іонної імплантації матеріалу мішені в підкладку на кілька нанометрів, що збільшує дифузійний зв'язок і, відповідно, адгезію покриття до підкладки.

Отже, технологія отримання захисних покриттів методом імпульсів високої потужності, завдяки утворенню значної кількості іонів матеріалу мішені, забезпечує поліпшення топографії покриттів, їх мікроструктури та призводить до збільшення щільності покриття. З огляду на всі переваги, методика HIPIMS є однією з найбільш перспективних технологій отримання зносо- та корозійностійких покриттів та потребує більш глибокого дослідження.

#### Список використаних джерел

1. A novel pulsed magnetron sputter technique utilizing very high target power densities / V. Kouznetsov, K. Macak, J.M. Schneider et al. // Surf. Coat. Technol. – 1999. – V. 122. – P. 290 – 293.
2. New PVD technologies for new ordnance coatings / S.L. Lee, R. Wei, J. Lin et al. // Techn. Report ARWSB-TR-12007, April 2012.

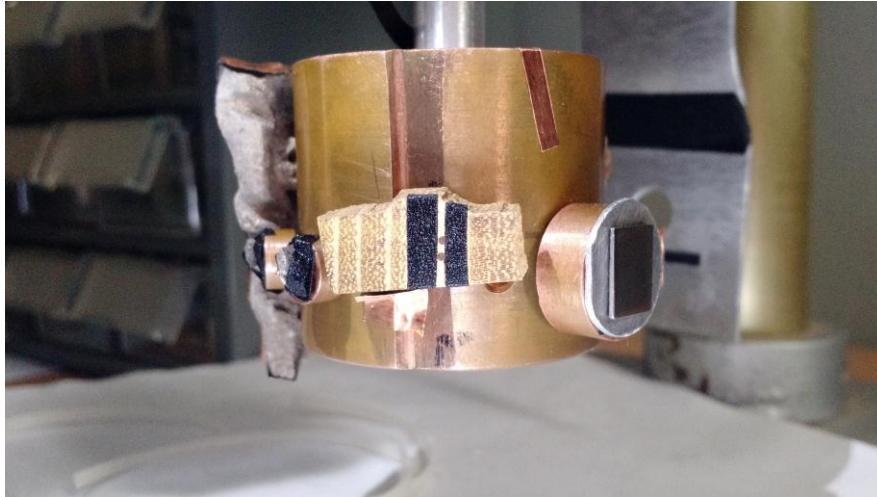
3. Phase tailoring of Ta thin films by highly ionized pulsed magnetron sputtering / J. Alami, P. Eklund, J.M. Andersson et al. // Thin Solid Films. – 2010. – V. 515. – P. 3134 – 3438.
4. Никитин М.М. Магнетронное распыление: эволюция схем напыления и ионизация потоков, взаимодействующих с подложкой / М.М. Никитин // Физика и химия обработки материалов. – 2011. – №2. – С.27 – 36.

**Гудаков О. О.**  
молодший науковий співробітник,  
**Білик В. М.**  
молодший науковий співробітник,  
Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України,  
м. Суми  
380984313381@ua.ru

### **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ PIXE ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ РІЧНИХ КІЛЕЦЬ ДЕРЕВИНИ**

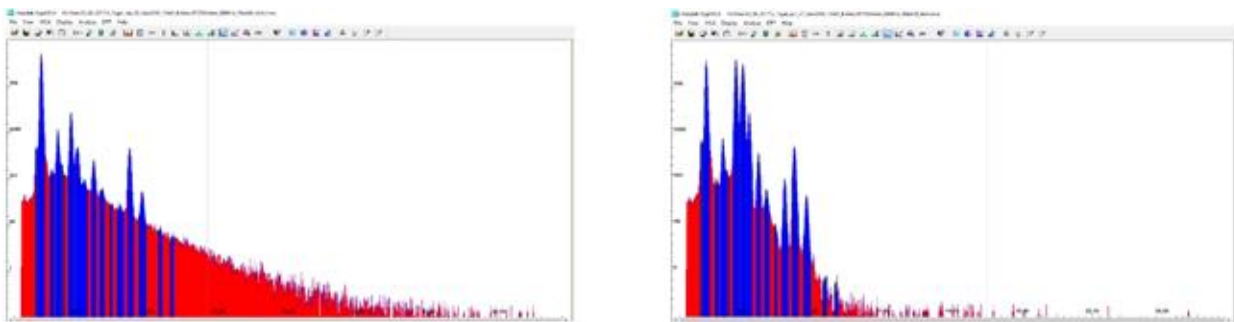
Аналіз складу річних кілець дозволяє відновити дані про склад атмосфери та ґрунту на певній території у заданий час. Найбільш розповсюджені дослідження елементного складу річних кілець з використанням хроматографії та мас-спектрометрії. Метод PIXE вирізняється винятковою точністю та спрощеною підготовкою проб для аналізу. Принципова можливість аналізу деревини методом PIXE була проілюстрована фінськими вченими [1].

Для аналізу було обрано деревину *Robinia pseudoacacia*, оскільки ця рослина має широкі річні кільця та різкий перехід від ранньої до пізньої деревини. Аналіз було проведено в Інституті прикладної фізики НАН України на базі компактного електростатичного прискорювача «Сокіл». Для реєстрації рентгенівського випромінювання використовувався детектор Amptek XR100 – SDD, а для отримання спектрів – програмне забезпечення Amptek DppMCA. Подальша обробка спектрів з метою розрахунку концентрацій елементів проводилась в програмі GUPIX. Аналіз деревини супроводжується труднощами пов'язаними із її діелектричними властивостями. При взаємодії з протонами на поверхні зразка утворюється заряд, який погано стікає до інтегратору струму. Крім того накопичення заряду на поверхні зразка збільшує фон на отриманих спектрах. Для вирішення даної проблеми на поверхню зразка наклеювалась вуглецева клейка стрічка.



*Рис. 1 Зразок з наклеєною на поверхню вуглецевою стрічкою. Крпками позначено місця проведення аналізу.*

Із стрічки на поверхню клеїлась спеціальна маска із щілиною шириною приблизно 1 мм.



*Рис. 2 Приклад двох спектрів: ліворуч – спектр від зразка на поверхні якого накопичується заряд, праворуч – спектр від зразка з поверхні якого заряд стікав*

Такий спосіб підготовки зразків дає змогу не тільки отримувати спектри з низьким рівнем фону, а й обирати місце на поверхні зразка в якому буде проведено аналіз елементного складу (певні обмеження накладає геометрія зразка). Іншою проблемою для аналізу деревини є її вологість. В результаті чого стає складно отримати достатній для аналізу вакуум в системі. Для вирішення цієї задачі зразки попередньо сушилися при температурі 60°C. Крім того вирізались зразки мінімальних розмірів. Для проведення аналізу використовувався пучок протонів з енергією в 1000 keV. Струм пучка складав від 15 до 25 нА. Діаметр пучка на зразку ~1 мм.

При аналізі даних встановлено, що у пізній деревині кількісно переважають всі наявні елементи окрім Си. Таке явище виникає у наслідок участі Си в синтезі клітинної стінки рослин [2], яка більш активно синтезується при фазі утворення ранньої деревини.

### Macroelements & microelements concentration in different part of tree ring

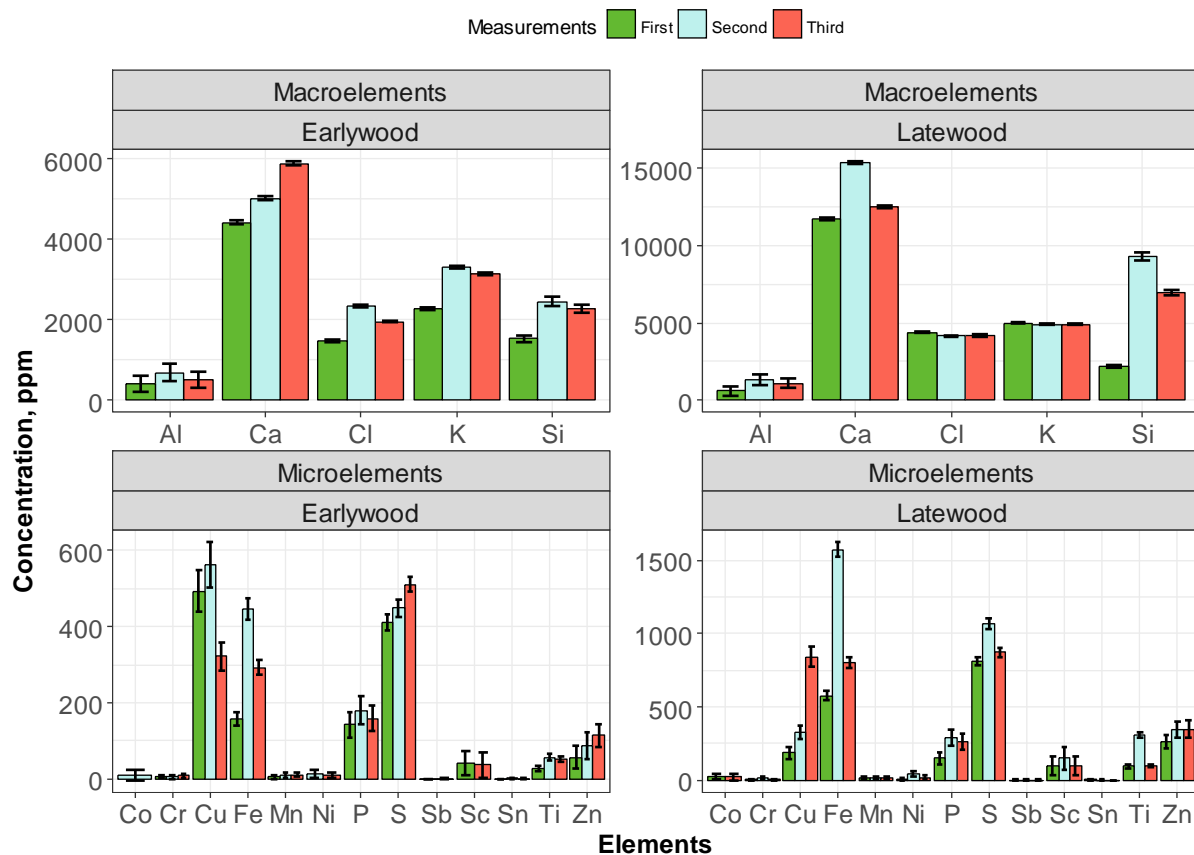


Рис. 3 Концентрація елементів у ранній та пізній деревині

Встановлений факт підтверджує працездатність методу PIXE та доцільність його використання для аналізу елементного складу річних кілець.

#### Список використаних джерел

1. Buchanan B. B. et al. Biochemistry & molecular biology of plants. – Rockville, MD : American Society of Plant Physiologists, 2000. – Т. 40.
2. Hänsch R., Mendel R. R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl) //Current opinion in plant biology. – 2009. – Т. 12. – №. 3. – С. 259-266.
3. Harju L. et al. Analysis of trace elements in trunk wood by thick-target PIXE using dry ashing for preconcentration //Fresenius' journal of analytical chemistry. – 1997. – Т. 358. – №. 4. – С. 523-528.

Демєнтєв Є. А.  
студент, спеціальність «6.040203 Середня освіта. Фізика»,  
Змієнко М. Ю.  
студент, спеціальність «6.040201 Середня освіта. Фізика»,  
Сумський державний педагогічний  
університет імені А. С. Макарєнка,  
м. Суми  
*edementev8@gmail.com,*  
*exupret@gmail.com,*

## **РАДІАЦІЙНО-ІНДУКОВАНА СЕГРЕГАЦІЯ В БІНАРНІХ СПЛАВАХ**

Активний інтерес до ядерної енергетики як джерела електроенергії пошавила дослідження ефектів опромінення у ферито-мартенситних (F–M) сплавах, які є першочерговими кандидатами на матеріал для структурних компонентів деяких ядерних реакторів нового покоління. Ці сталі мають високу міцність при підвищених температурах, стійкі до термічних напруг і є розмірно стабільними при опроміненні.

Також даний інтерес потребує фундаментального розуміння еволюції мікроструктури сплавів в широкому діапазоні температур та різноманітних умов опромінення [3].

Як відомо, в матеріалах, які використовуються в ядерних реакторах, нейтронне опромінювання породжує нерівноважні точкові дефекти (вакансії та міжвузельні атоми) у великих концентраціях, а також лінійні та об'ємні структурні дефекти (дислокації, пори та виділення нової фази) [3]. Експерименти показують, що під час опромінення сплаву при підвищених температурах (0.3 – 0.5 Тпл.) відбувається просторовий перерозподіл компонентів даного сплаву.

Дане явище називається радіаційно-індукованою сегрегацією і може призвести до збагачення або збіднення домішкових та легуючих елементів в областях навколо вільних поверхонь, дислокацій, пор, меж між фазами та міжзеренних меж [5]. Це викликає зміни локальних властивостей твердого тіла і сприйнятливості до процесів, які можуть негативно позначитися на механічних властивостях, корозійній стійкості тощо [3]. Дане явище певною мірою притаманне для всіх сплавів. Існують два домінуючі механізми сегрегації: вакансійний і міжвузельний [5], які виникають завдяки оберненому ефекту Кіркендала.

У першому випадку потік вакансій до нерухомих стоків дефектів врівноважується протилежним за напрямком потоком атомів компонентів сплаву, в іншому випадку – потік міжвузельних атомів врівноважується потоком атомів компонентів сплаву, які мігрують як міжвузельні атоми [4].

Точкові дефекти, які виникають внаслідок опромінювання матеріалу, є рухомими і переміщуються до місць їх поглинання (стоків дефектів). Сегрегація відбувається, коли даний легуючий компонент переважно асоціюється з потоком дефектів. Збагачення або збіднення окремого елемента залежить від відносної взаємодії кожного елемента з потоком дефектів [4].

Аналіз літератури з даної теми дає можливість рухатися в бік розрахунків, що і є нашою метою надалі.

#### **Список використаних джерел**

1. Voyevodin V.N., Neklyudov I.M. Evolution of the structure phase state and radiation resistance of structural materials. – Kiev: Naukova dumka, 2006. – 376 p.
2. Voyevodin V.N. Structural materials of nuclear power – challenge to 21 century // Problems of Atomic Science and Technology. – 2007. – Vol. 90. – P. 10-22.
3. Was G.S. Fundamentals of Radiation Materials Science: Metals and Alloys. – New York: University of Michigan, Springer, 2007. – 828 p.
4. Was G.S., Wharry J.P., Frisbie B., Wirth B.D., Morgan D., Tucker J.D., Allen T.R. Assessment of radiation-induced segregation mechanisms in austenitic and ferritic-martensitic alloys // J. Nucl. Mater. – 2011. – Vol. 411. – P. 41-50.
5. Koropov O.V. Differential equations of radiation-induced segregation in five-component metal alloys // Proc. of Eighteenth International Scientific Mykhailo Kravchuk Conference, October 7-10, 2017, Kyiv: Vol. 1. – Kyiv: NTUU “KPI”, 2017. – P. 86 - 90.

**Дяченко М. М.**

кандидат фізико-математичних наук,  
науковий співробітник,

**Холодов Р. І.**

кандидат фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник,

Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України,  
м. Суми

*mykhailo.m.diachenko@gmail.com*

## **ВАКУУМНЕ ПОДВІЙНЕ ПРОМЕНЕЗАЛОМЛЕННЯ В СИЛЬНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ**

Як відомо з класичної електродинаміки, електромагнітні хвилі не змінюють своєї поляризацію при розповсюдженні у вакуумі. Але згідно квантової електродинаміки (КЕД) можливе народження віртуальних електрон-позитронних пар фотонами в зовнішньому полі, які в свою чергу можуть взаємодіяти з цим полем. Таким чином, можливе протікання



нелінійних КЕД ефектів, зокрема ефекту вакуумного подвійного променезаломлення. При цьому зовнішнє поле перетворює фізичний вакуум на анізотропне середовище з різними показниками заломлення вздовж та перпендикулярно по відношенню до поля і тому можлива зміна поляризації фотона.

Не дивлячись на те, що цей ефект був передбачений досить давно, ще й досі немає прямого експериментального підтвердження. Але з появою потужних лазерних установок [1], високочутливих приладів для вимірювання еліптичності й кута повороту площини поляризації електромагнітного випромінювання [2], надчутливих телескопів [3], які аналізують поляризацію випромінювання від нейтронних зірок ця задача стає вкрай актуальною.

В даній роботі теоретично розглянуто поляризаційний тензор у магнітному полі на основі функції Гріна електрона через суму по рівням Ландау. Проведено розрахунки поляризаційного тензора для довільного випадка та для найнижчих рівнів Ландау. Знайдено для м'яких фотонів (енергія яких менша ніж порогова енергія для народження електрон-позитронних пар) показники заломлення фізичного вакууму, які характеризують ефект вакуумного подвійного променезаломлення, різниця яких має вигляд:

$$n_{\parallel} - n_{\perp} = \frac{\alpha}{6\pi} h,$$

де  $\alpha$  – постійна тонкої структури,  $h = H/H_c$ ,  $H_c \approx 4.41 \cdot 10^{13} \text{ Гс}$ .

#### Список використаних джерел

1. Tesileanu O. Extreme Light Infrastructure / O. Tesileanu, D. Ursescu, R. Dabu, N. Zamfir // J. Phys.: Conf. Ser. – 2013. – Vol. 420. – P. 012157.
2. Della Valle F. The PVLAS experiment: measuring vacuum magnetic birefringence and dichroism with a birefringent Fabry–Perot cavity / F. Della Valle, A. Ejlli et al. // Eur. Phys. J. C. – 2016. – Vol. 76. – P. 24.
3. Mignani R. Evidence for vacuum birefringence from the first optical polarimetry measurement of the isolated neutron star RX J1856.5 –3754 // R. Mignani, V. Testa et al. // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 2017. – Vol. 465. – P. 492.

**Жигуліна В. І.**  
викладач фізики,  
ДНЗ «Сумське міжрегіональне вище професійне училище»  
м. Суми

## **ВИКОРИСТАННЯ ЗАВДАНЬ ПРОФЕСІЙНОГО ЗМІСТУ НА УРОКАХ ФІЗИКИ У ПРОФЕСІЙНО-ТЕХНІЧНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ**

Фізика є одним із обов'язкових загальноосвітніх предметів у професійно-технічних навчальних закладах при підготовці майбутніх кваліфікованих робітників. На сьогодні спостерігається низький інтерес до її вивчення. Це пояснюється тим, що учні не розуміють значущості предмета для оволодіння професійними знаннями, вміннями та навичками. Використання завдань професійного змісту сприяє свідомому засвоєнню курсу фізики, забезпечує розуміння учнями суті фізичних закономірностей, які вивчаються. Такий підхід є однією з умов підвищення актуалізації пізнавальної діяльності учнів, що забезпечує ефективність освітнього процесу, створює умови для подальшої практичної діяльності, всебічного розвитку особистості, сприяє кращій підготовці майбутніх фахівців для сучасного виробництва, зростанню продуктивності праці. Використання завдань професійного змісту є одним зі шляхів реалізації ідей професійного спрямування навчання фізики. Через розв'язування задач з фізики професійного змісту відбувається реалізації зв'язку курсу фізики і спецдисциплін у професійно-технічних навчальних закладах.

Задачею професійного змісту можна вважати таку задачу, в якій ідеться про виробничі процеси, розглядаються реальні виробничі моменти, машини та прилади. Зазвичай, ці задачі викликають значний інтерес в учнів, особливо якщо їх розв'язання наштовхує на практичне вирішення виробничого завдання. Задачі професійного змісту викладач повинен використовувати на уроках фізики систематично, оскільки з їх допомогою демонструється безпосередній зв'язок теорії та практики. Такі завдання мають важливе значення для освітнього процесу, тому що підвищують теоретичний рівень навчання фізики, покращують професійну підготовку учнів, забезпечують зв'язок фізики з виробництвом, активізують навчальний процес, допомагають глибше пізнати фізику і краще зрозуміти необхідність її вивчення для оволодіння майбутньою професією.

Наприклад, під час вивчення фізики для учнів які навчаються за професією «Слюсар з ремонту колісних транспортних засобів» пропоную завдання, які містять дані з професії та спецпредметів:

1. Обчисліть кутову швидкість ротора електродвигуна автомобіля, що обертається з частотою  $8 \text{ с}^{-1}$ .

2. З якою швидкістю рухається автомобіль ВАЗ-2111, якщо колесо діаметром 61,14 см виконує 180 обертів за 1 хвилину? Чому дорівнює період обертання колеса?
3. Поясніть, чому небезпечно переходити дорогу близько до автомобіля, який гальмує перед перехрестям на червоний сигнал світлофора.
4. Через який час після початку аварійного гальмування зупиниться вантажівка, що рухається зі швидкістю 12 м/с, якщо коефіцієнт тертя становить 0,4?
5. Вантажівка масою 20 т рухається рівномірно прямолінійно зі швидкістю 54 км/год. Яка кінетична енергія вантажівки?

Отже, використання професійно спрямованих завдань у курсі фізики робить вагомий внесок у засвоєння фізичних знань майбутніх фахівців. Впровадження професійно спрямованих завдань у освітній процес дозволить створити цілісне і системне уявлення учнів про структуру і зміст курсу фізики і його значення для майбутньої професійної діяльності; цілеспрямовано формувати початкові професійні знання, навички і вміння під час вивчення фізики.

**Зінченко Є. І.**  
молодший науковий співробітник,  
Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України,  
м. Суми  
*yarabey93@gmail.com*

## **ТЕРМІЧНЕ РОЗКЛАДАННЯ БІОГЕННИХ КАЛЬЦИТІВ**

Досліджено спектри термічної десорбції (TDS) газоподібного діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), що виділяється з біокомпозитного карбонатного ряду белемніту (*Belemnitella Orbigny*). Основним компонентом складу є кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ). Показано, що структура спектра TDS карбонатного реєстру є функцією рівня дисперсності компонентів цього біокомпозиту.

Збільшення концентрації ультрадисперсних і мікродисперсних компонентів кальциту в складі біокомпозиту призводить до суттєвої зміни типу спектра теплової десорбції  $\text{CO}_2$ , що проявляється у появі додаткових температурних областей десорбції (піків) та їх зміщення на область більш низьких температур (Рис. 1).

При обробці термограм можна судити про монолітність зразку, оскільки при наявності дефективних частин кристалу кількісне співвідношення виходу  $\text{CO}_2$  змінюється.

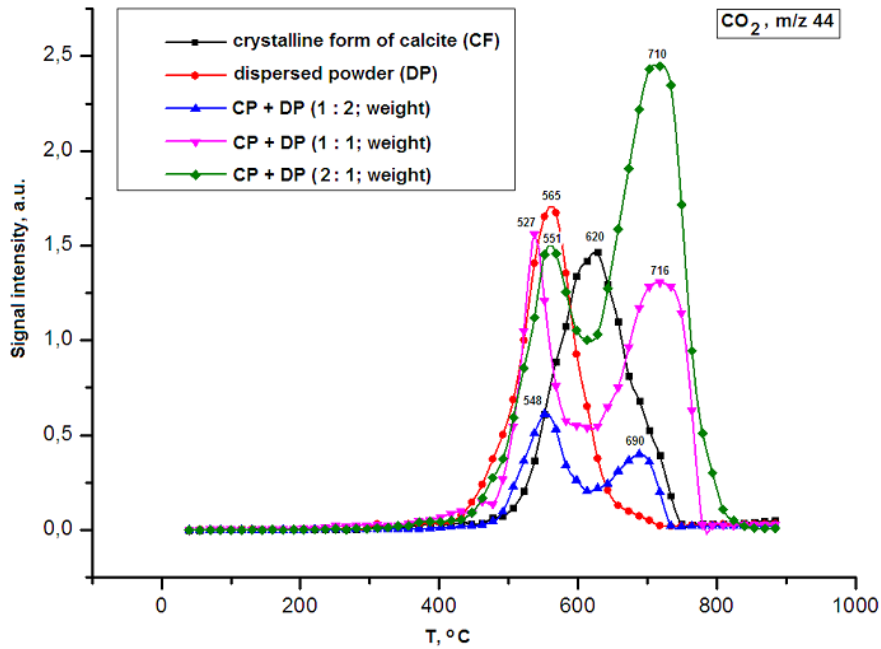


Рис. 1. Термограма карбонатного белемніту (*Belemnitella Orbigny*)

Також, отримано спектри термічної десорбції діоксиду вуглецю, виділеного з конусної раковини та ячної шкарлупи (Рис. 2, 3, 4).

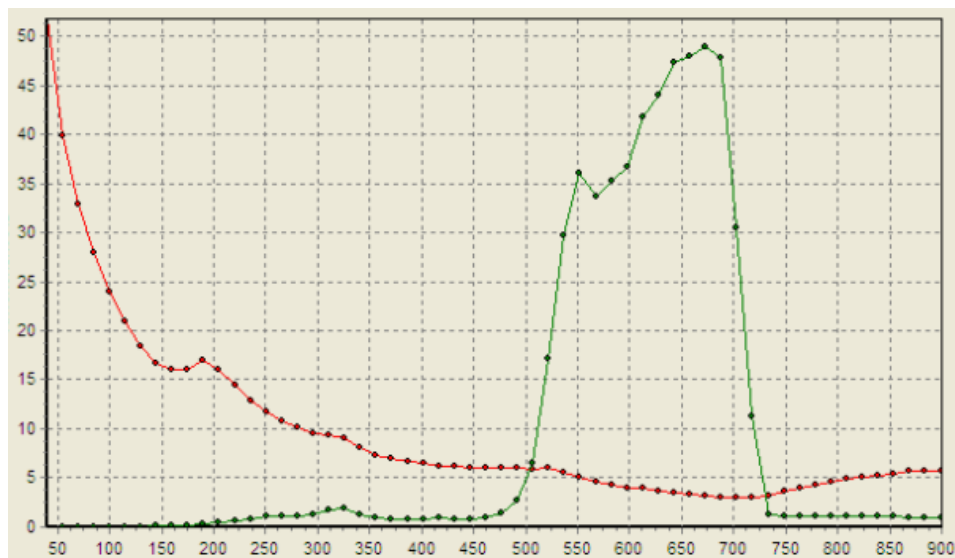


Рис. 2. Термограма конусної раковини. Кристалічна форма

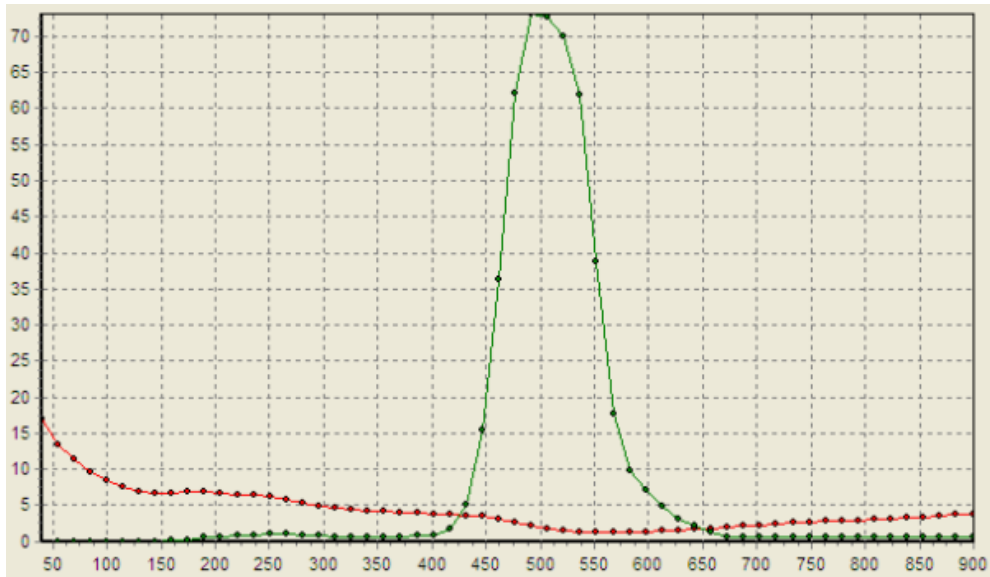


Рис. 3. Термограма конусної раковини. Дисперсна форма

Дисперсність зразку суттєво впливає на термограму. Піки зміщуються до областей меншій температур.

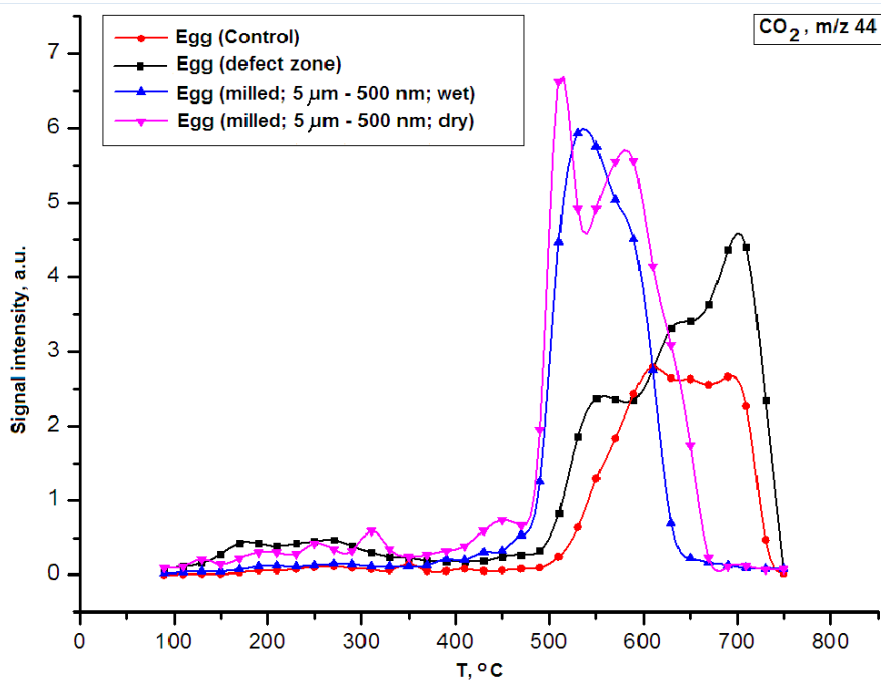
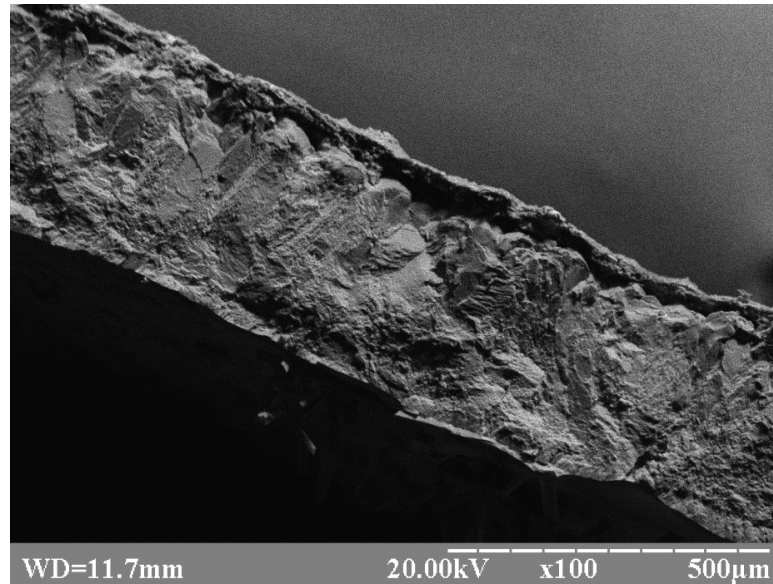


Рис. 4. Термограма яєчної шкарлупи



*Рис. 5. Злом яєчної шкарлупи під РЕММА-102. Демонстрація неоднорідності зразку, зовнішнього, внутрішнього шарів та середини*

Виходячи з аналізу, оболонки містять карбонат кальцію в кристалічній формі. Проведений процес термічної обробки розкладає зразок на оксид кальцію. Результати підтвердили, що розмір частинок вплинув на процес. Зразок з меншим розміром частинок демонструє більш високу швидкість розкладання в більш короткий час і при більш низькій температурі порівняно з більшим розміром частинок. Таким чином, зразок споживав більше енергії для ініціювання процесу.

Дослідження важливі у будівництві, зменшення затрат енергії для обробки матеріалу більш суттєві у масовому виробництві. Яєчна шкаралупа використовується у медицині, косметології, також, є потенційно економічним альтернативним адсорбентом.

Вважаю, що наша робота надасть релевантну інформацію про важливі питання, як прогнозування продуктивності процесу адсорбенту в реальних промислових стоках в ряді умов експлуатації і для демонстрації використання недорогих адсорбентів в промисловому масштабі.

#### **Список використаних джерел**

1. Пашенко А.А., Теория цемента, К, 1991.
2. Кузьменков М.И., Хотянович О.Е., Химическая технология вяжущих веществ, Минск 2008.

**Коломієць В. М.**  
старший науковий співробітник,  
**Кравченко С. М.**  
молодший науковий співробітник,  
**Шкурат О. І.**  
зав. відділу інноваційних проектів та трансферу технологій,  
Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України,  
м. Суми  
*vkolom8@gmail.com*

## **РОЗРОБКА ВАКУУМНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТОНКОПЛІВКОВИХ СТРУКТУР**

Отримання тонких покриттів у вакуумі є досить розповсюдженою технологією, яка знаходить все нові області застосування та постійно розвивається. На сьогодні технологія вакуумного нанесення покриттів використовується при виготовленні оптичних фільтрів, просвітлювальної оптики, астрономічних дзеркал, елементів рентгенівської оптики, корозійно- та зносостійких покриттів [3].

Процес отримання тонкоплівкових покриттів потребує і відповідного обладнання. На сьогодні парк вакуумних універсальних постів в Україні в основному складає ВУП-5М виробництва ВАТ «Selmi», який є розробкою 80-х років минулого століття, але широкий спектр нових задач в різних областях науки і техніки висуває все нові вимоги до виготовлення тонкоплівкових структур. В основному ці вимоги стосуються розширення діапазонів технологічних параметрів напилення, методів напилення та контролю, і найголовніше відтворюваності експерименту.

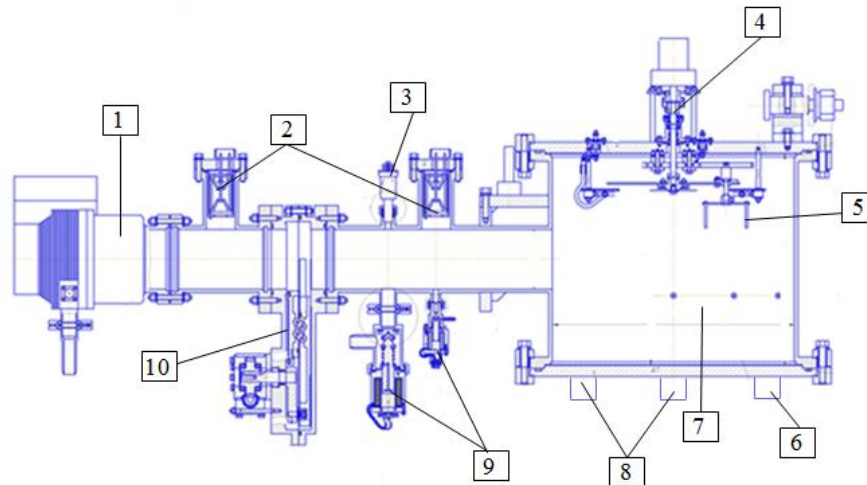
Для вирішення цих завдань у Науково-дослідному центрі Інституту прикладної фізики НАН України розроблено комплект конструкторської документації на сучасний вакуумний універсальний пост. Нова вакуумна установка призначена для отримання як одношарових, так і багатошарових плівок методами магнетронного розпилення в середовищі одного робочого газу або суміші газів.

Основними особливостями приладу є: використання потужного блоку живлення HiPIMS (розпилення імпульсами високої потужності) потужністю до 6 кВт; можливість очищення підкладки та розпилення декількох матеріалів без розгерметизації об'єму за рахунок розміщення в вакуумній камері 2-х магнетронів та 1-ї приставки для іонного травлення; використання безмасляного вакууму порядку  $10^{-5}$  Па; повна автоматизація процесу напилення з реалізацією декількох режимів доступу до налаштувань; контроль товщини під час напилення.

Вакуумна система приладу включає турбомолекулярний насос продуктивністю до 600 л/с, форвакуумний насос продуктивністю до 5 л/с, 3-х каналну систему напуску та датчики контролю вакууму (див. рис. 1).

Вертикально розміщена робоча камера має циліндричну форму розмірами 413 мм у діаметрі та 362 мм у висоту (об'єм близько 48,5 дм<sup>3</sup>).

Для отримання рівномірних по товщині покриттів у вакуумній установці реалізована планетарна система обертання підкладок. Також передбачено пристрій для термостабілізації підкладок. Обертання зразків у вакуумній камері здійснюється за допомогою крокового двигуна.



*Рис. 1. Складальне креслення основної частини вакуумної системи:*

*1 – турбомолекулярний насос; 2 – високовакуумний перетворювач;*

*3 – вакуумметр термопарний; 4 – механізм обертання зразків;*

*5 – зразки; 6 – приставка для іонного травлення; 7 – вакуумна камера; 8 – магнетрон; 9 – клапан електромагнітний; 10 – високовакуумний затвор*

Окремо зупинимось на блоках живлення магнетронних розпилювальних систем. Відзначимо, що основним недоліком методу магнетронного розпилення є низька іонізація матеріалу розпилення, що не дозволяє керувати структурою і властивостями покриттів шляхом прискорення іонів цього матеріалу. Ця проблема вирішується використанням методу HIPIMS [1]. При його використанні висока пікова потужність (порядку 1 МВт), сприяє збільшенню вмісту іонів металу мішені в плазмі до 90% в залежності від потужності блоку живлення. Це збільшення щільності іонізованих атомів металу, за умови застосування потенціалу зміщення, призводить до поліпшення адгезії, твердості, щільності і зменшення шорсткості захисного покриття [2]. Тому в новому вакуумному пості реалізований саме метод магнетронного розпилення імпульсами високої потужності.

Контроль товщини покриттів в процесі напилення здійснюється за допомогою кварцового вимірювача товщини. Для зменшення впливу температури на частоту кварцового датчика передбачено його охолодження водою. Також в тримач датчика вмонтовано магніт, який мінімізує нагрів датчика швидкими електронами.



Розроблена вакуумна установка, завдяки використанню сучасних засобів напилення покриттів, контролю за технологічним процесом, отримання вакууму в робочій камері та управління, дозволить виконувати широкий спектр наукових і науково-технічних задач як фундаментального, так і прикладного характеру.

#### Список використаних джерел

1. New PVD technologies for new ordnance coatings / S.L Lee., R. Wei, J. Lin et al. // Techn. Report ARWSB-TR-12007, April 2012.
2. Phase tailoring of Ta thin films by highly ionized pulsed magnetron sputtering / J. Alami, P. Eklund, J.M. Andersson et al. // Thin Solid Films. – 2010. – V. 515. – P. 3134 – 3438.
3. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнология / Гусев А.И. – М.:Физматлит., 2005. – 416 с.

**Кривцова Л. Ю.**

курсант, спеціальність «Транспортні технології  
(на повітряному транспорті)»,

**Тарадуда А. С.**

викладач,

Криворізький коледж Національного авіаційного університету,  
м. Кривий Ріг

*alla-taraduda@ukr.net*

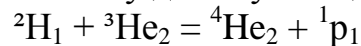
## КЕРОВАНІЙ ТЕРМОЯДЕРНИЙ СИНТЕЗ – НАДІЯ СУЧАСНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Однією з проблем сьогодення є необхідність пошуку нових джерел енергії. Ресурси Землі, які є традиційними джерелами енергії, людство вже майже вичерпало. Крім того, і екологія нашої планети залишає бажати кращого. Тому розвиток альтернативної енергетики є перспективним напрямком досліджень багатьох науковців. Одним з таких видів альтернативної енергетики є керований термоядерний синтез, що надає можливість отримувати енергію буквально з води, майже не залишаючи відходів роботи (крім нешкідливих для екології водню та гелію).

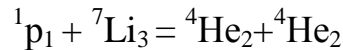
Складною науково-технічною проблемою, якою займаються фахівці з усього світу, є керовані термоядерні реакції. Якби ця проблема була розв'язана, то людство б отримало невичерпну кількість енергії, сировиною для отримання якої є майже безмежні запаси води. На відміну від ядерної реакції, яка потребує застосування зосереджених в атомних ядрах рідкісних елементів урану і торію, керована термоядерна реакція надає можливість отримати енергію за рахунок утворення гелію з широко поширеного в природі водню (дейтерій  ${}^2\text{H}_1$ , тритій  ${}^3\text{H}_1$ ).

Природним джерелом енергії багато дослідників вважають енергію синтезу. У майбутньому людство може отримати невичерпне джерело

енергії завдяки розвитку технології керованого термоядерного синтезу. Паливо для даного виду синтезу можна добувати з морської води, а це означає, що монополізм палива у даному випадку виключається [1].



А також запаси палива — літію є в достатній кількості в природі, а саме в воді солених озер, земній корі, в магмі, або магматичній породі, пегматиті.



Керовану термоядерну реакцію синтезу гелію з важких ізотопів водню шляхом нагрівання можна здійснювати шляхом пропускання електричного струму через плазму. Щоб утримати нагріту плазму від зіткнення зі стінками камери, дослідники планують застосувати магнітне поле. Але створення керованої термоядерної реакції стикається з великою кількістю проблем. Однією з них є необхідність регульованого нагрівання плазми до десятків мільйонів градусів. За цих умов для утримання плазми необхідно створити магнітне поле близько 60 ке (кілоерстед).

Іншими проблемами, що виникають при спробах отримати керовану термоядерну реакцію, є:

- забезпечення повної ізоляції плазми від стінок установки, в якій вона знаходиться так як при зіткненні зі стінками відбудеться миттєве охолодження і плазма перестане існувати.

- крім того, і стінки при зіткненні з плазмою не можуть залишитися в твердому стані. Отже, плазма має бути з усіх боків оточена вакуумом.

- щоб утримати плазму від зіткнення зі стінками, застосовується магнітна теплоізоляція. Під час якої частинки не можуть вільно переміщуватися в перпендикулярному магнітному полі, яке повинно утримувати плазму.

- проблемою є розробка матеріалу, здатного витримати нейтронне бомбардування, яке, за словами вчених, повинно бути в 100 разів інтенсивніше, ніж в традиційних ядерних реакторах.

Термоядерний синтез (в теорії) дозволяє отримати більше енергії і при цьому не супроводжується виділенням побічних радіоактивних продуктів.

І цей процес не є винаходом людини. Всесвіт активно і повсюдно використовує термоядерні реактори. Найближчим з них для нас є Сонце.

#### Список використаних джерел

1. <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=18142>
2. <http://shkolyar.in.ua/atom/termoyaderna-reakciya>
3. <http://moyaosvita.com.ua/fizuka/termoyaderna-reakciya>
4. Журнал «Квант» kvant.mccme.ru
5. <https://futurum.today/kerovanyi-termoiadernyi-synteziak-alternatyvnyi-metod-otrymannia-enerhii/>
6. <https://narodna-pravda.ua/ru/2018/06/27/amerykanskij-fizyk-znajshov-vyrishennya-svitovoyi-energetychnoyi-kryzy/>

**Крикля С. В.**  
аспірант,  
спеціальність «01.04.20 - фізика пучків заряджених частинок»  
Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України,  
м. Суми  
*s.krykليا@gmail.com*

## **МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЇ АНІГІЛЯЦІЇ В ПРОГРАМНОМУ ПАКЕТІ ABINIT**

Вивчення фізико-механічних властивостей металів являється одним із ключових завдань матеріалознавства. Це завдання представляє великий інтерес, як з точки зору фундаментальної науки, так і з точки зору численних технічних і технологічних додатків. Металознавство і матеріалознавство мають багату історію, і в недалекому минулому використовували, в основному, експериментальні методи дослідження.

Ситуація в цій області науки сильно змінилася після появи сучасних обчислювальних систем і відповідного програмного забезпечення. Методи розрахунку і моделювання фізичних властивостей реальних твердих тіл з перших принципів дозволяють отримувати хороші результати практично без підгінних параметрів для досить складних об'єктів. Однак, такі розрахунки вимагають дуже великих обчислювальних витрат і не можуть бути вирішені на звичайних (персональних) комп'ютерах. Це пов'язано з тим, що навіть сучасні багатоядерні персональні комп'ютери не дозволяють вирішувати зазначені вище завдання за розумну кількість машинного часу.

В основі більшості методів розрахунку з перших принципів лежить теорія функціоналу електронної густини (DFT) [1] спільно з наближенням локальної електронної густини (LDA) [2] для обліку ефектів обміну і кореляції. Для обчислення постійної решітки і пружних констант твердого тіла з перших принципів можна використовувати кілька методів. Найбільш точним і теоретично добре обґрунтованим є метод функції лінійного відгуку (RF) на зовнішній вплив [3]. Він реалізований в програмному комплексі ABINIT [4]. Це великий і складний програмний комплекс, який з самого початку створювався для великих сучасних паралельних кластерів. Інший метод називається методом кінцевих різниць або "ручний" метод. Він полягає в тому, що другі похідні енергії за обсягом і деформацій обчислюються чисельно методом кінцевих різниць, по раніше обчислених

повним значенням енергії всіх атомів в елементарній комірці. Цей метод простіше і економніше першого. Однак, він стає занадто громіздким і незручним для низькосиметричних кристалів. Інша дуже важлива його гідність полягає в тому, що його можна використовувати з будь-яким пакетом розрахунку електронної зонної структури кристала.

ABINIT дозволяє обчислити повну енергію системи, густину заряду і електронну структуру в рамках теорії функціонала густини. Для роботи використовуються вхідний скрипт і псевдопотенціали, що визначають взаємодію елементів. Важливий також і той факт, що в ABINIT вбудована підтримка періодичних граничних умов, яка вкрай важлива, оскільки часто доводиться моделювати системи всього з декількох десятків атомів [5].

Процес моделювання в ABINIT проходить в кілька етапів, які виділені виключно з метою зручності і носять смисловий, не формалізований характер. Спочатку потрібно правильно оцінити можливості техніки, це надзвичайно важливо, тому що будучи програмою для розрахунків з перших принципів, ABINIT вимагає величезних ресурсів для розрахунку великих систем. Після оцінки технічних ресурсів слід описати систему відповідних розмірів. До описуваних параметрів відносять: розмір області моделювання, опис типів атомів, положення і тип кожного атома системи, ряд параметрів, пов'язаних з енергією, алгоритми, які будуть використані в процесі моделювання, і тд. Наступним кроком буде запуск створеного скрипта з метою уточнення параметрів, вже на основі результатів розрахунків з перших принципів, і відповідно внесення необхідних змін. Після чого слідує власне моделювання процесу. Залежно від конкретного випадку, результати моделювання можна вивчити як чисто чисельно по вихідних файлах так і переробивши їх в будь-яке візуальне представлення.

#### Список використаних джерел

1. Hohenberg P, Kohn W, *Phys. Rev.* 136 864 (1964).
2. Kohn W, Sham L, *Phys. Rev.* 140 1133 (1965).
3. Baroni S, Giannozzi P, Testa A, *Phys. Rev. Let.* B **58** 1861 (1987).
4. Gonze X, Bueken J-M, Caracas R, Detraux F, Fuch M, Rignanese G-M, Sindic L, Verstraete M, Zerah G, Jollet F, Torrent M, Roy A, Mikami M, Ghoses P, Raty j-Y, Allan D, *Comput. Mater. Sci.* **25** 478 (2002).
5. ABINIT [Офіційний сайт]. URL: <http://www.abinit.org/>

**Кузнецов В. М.**  
кандидат фізико-математичних наук,  
науковий співробітник,  
Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України,  
м. Суми  
*vldnik84@gmail.com*

## ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШАРІВ МАЛОЇ ТОВЩИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕНТГЕНІВСЬКОЇ ДИФРАКЦІЇ

Для дослідження шарів малої товщини (меншої, ніж інформативна глибина рентгенівського випромінювання) з використанням дифрактометрів, заснованих на схемі фокусування за Брегом-Брентано, застосовується метод сковзного пучка. Цей метод базується на тому, що при зменшенні глибини зондування поверхневого шару зразка відбувається зменшенні кута сковзання рентгенівського пучка.

Схема фокусування по методу сковзного пучка приведена на рис. 1. В даному випадку рентгенівські промені, які виходять із трубки, падають під кутом сковзання  $\alpha$  на поверхню зразка 3. Кут сковзання залишається незмінним, що досягається відключенням обертання тримача зразків. Детектор обертається, як і звичайно, з кутовою швидкістю  $2\theta$ .

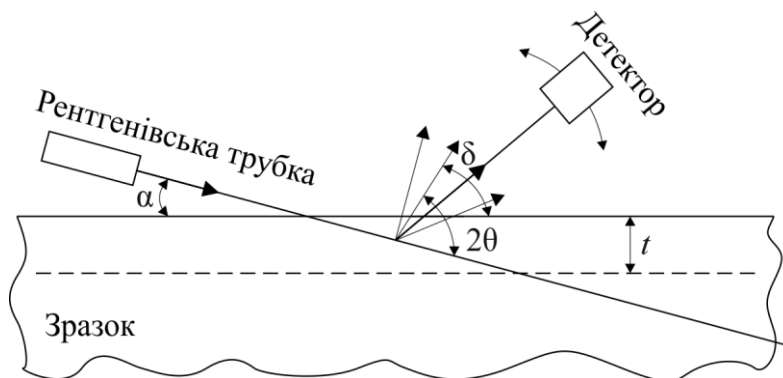


Рис. 1. Схема фокусування за методом сковзного пучка

Рентгендифракційні дослідження зразка методом сковзного пучка дозволяють отримувати відомості про фазовий склад, структуру і напружений стан поверхневого шару середньої товщини  $d_{10}$  (глибина зондування, при якій інтенсивність рентгенівського променя падає в 10 разів).

При використанні даного методу реєстрації дифрактограми фокусування по Брегу-Брентано порушується; фокус дифрагованих променів зміщується. Геометричне розширення, пов'язане з розфокусуванням, можна в якійсь мірі зменшити, використовуючи щілини

Солера, що обмежують горизонтальну розходимість дифрагованого пучка, проте дана методика призводить до падіння інтенсивності сигналу.

Кутову роздільну здатність дифрактограм, отриманих при малих кутах сковзання, можна поліпшити, якщо в якості елемента схеми, що визначає кутове положення дифрагованого пучка, застосувати плоский монокристал, закріплений перед детектором. Відповідний хід променів зображений на рис. 2.

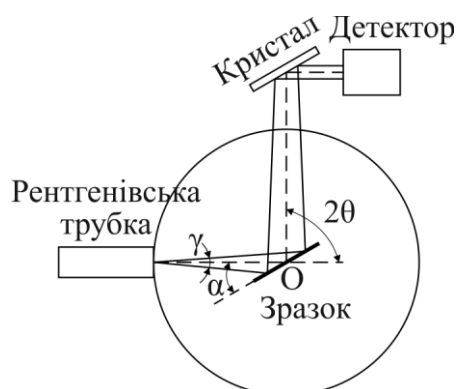


Рис. 2. Оптична схема методу сковзного пучка з використанням кристала-аналізатора

Кристал-аналізатор (наприклад, монокристал кварцу) жорстко закріплюється на кронштейні детектора і встановлюється таким чином, що при виході кронштейна на напрям дифрагованого променя кристал опиняється під власним брегівським кутом до цього напрямку. Весь дифрагований промінь, незалежно від його ширини, а відповідно й ступеня розфокусування, потрапляє в детектор, так як вікно останнього відкрито повністю. При незначному зміщенні (повороті) детектора разом з кристалом-аналізатором останній виходить із положення, що відображує, і дифрагований промінь більше не реєструється. Це дозволяє отримати дуже мале інструментальне розширення дифракційних ліній великої інтенсивності при реєстрації широких (розфокусованих) променів. Геометричне розширення, в основному, визначається горизонтальною розходимістю первинного пучка.

Розглянута схема в Інституті прикладної фізики НАН України реалізована на основі гоніометра ГУР-9, що використовується в серійному дифрактометрі ДРОН-4-07. У якості джерела рентгенівських променів застосована трубка БСВ-29 з мідним анодом і вузькою фокусною плямою (0,4 мм). Описані методики дозволяють отримувати дифрактограми тонких плівок в сковзному пучку: при нерухомому зразку; за симетричною схемою; криві гойдання при дослідженні мозаїчної структури.

**Купянський Г. Д.**  
магістрант, спеціальність «Прикладна фізика та наноматеріали»,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
м. Київ  
*kupglebs@gmail.com*

## **ФОРМУВАННЯ НАНОЧАСТОК СРІБЛА У ГІДРОГЕЛІ ПВС-ПЕГ ПІД ДІЄЮ ОПРОМІНЕННЯ ЕЛЕКТРОНАМИ**

Існує проблема надання бактерицидних властивостей медичним пов'язкам із радіаційно-зшитих полімерних гідрогелів. Вона зумовлена тим, що іонізуюча радіація, яка використовується для зшивки [1], деструктивно впливає на більшість фармакологічних засобів, розміщених в гідрогелі.

Ефективним антисептичним засобом стійким до радіації є наночастинки срібла, діаметром біля 50 нм за умови їх концентрації 20 мг/л та вище [2]. Нещодавно було показано, що можливе формування таких наночастинок безпосередньо в об'ємі поліакрилового гідрогелю в результаті радіаційно-хімічної реакції відновлення іонного срібла з використанням гамма-опромінення [3].

Метою даної роботи є дослідити можливості формування наночастинок срібла в об'ємі біосумісного гідрогелю на основі системи полівинилового спирту – поліетиленгліколю (ПВС-ПЕГ) під час його зшивки електронним опроміненням.

Досліджено процес формування наночастинок срібла у гідрогелі ПВС-ПЕГ, детально описаному в [1], у процесі опромінення електронами з енергією 4 МеВ у діапазоні доз 25-60 кГр. Вихідні розчини полімерів в якості джерела іонів срібла містили нітрат  $\text{AgNO}_3$  в діапазоні концентрацій 10-30 мг/л. Дослідженню спектри поглинання світла гідрогелями в діапазоні довжин хвилі 200-600 нм, а також дані електронної мікроскопії поверхні зневоджених гідрогелів.

На рис. 1 наведено спектри поглинання світла зразків гідрогелю з різним вмістом  $\text{AgNO}_3$  у вихідному розчині, які були опромінені однаковою дозою 50 кГр. Характерний широкий максимум, що спостерігається на рис. 1 за значень  $\lambda$  поблизу 400 нм – це смуга плазмонного поглинання наночастинок срібла [4]. Видно, що амплітуда смуги корелює з концентрацією нітрату срібла у вихідному розчині. При цьому положення максимуму цієї смуги з підвищенням концентрації  $\text{AgNO}_3$  зміщується в бік більших довжин хвилі світла  $\lambda$ . Ці дані наведено у табл. 1.

Амплітуда піків на рис. 1 пропорційна концентрації наночастинок срібла. Відповідно, зі зростанням концентрації нітрату срібла у розчині

зростає і концентрація наночастинок срібла у гідрогелі після опромінення. Положення смуги плазмонного поглинання використано для оцінки переважного розміру наночастинок відповідно даним роботи [4].

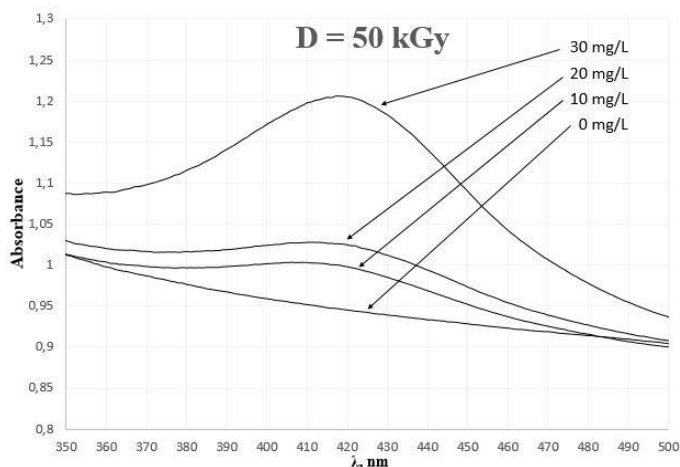


Рис. 1. Зміна амплітуди піку оптичної щільності гідро гелю в залежності від концентрації нітрату срібла. Доза опромінення - 50 кГр.

Отримані результати наведені у табл. 1. Видно, що зі збільшенням концентрації нітрату срібла у вихідному розчині збільшується і переважний розмір наночастинок срібла у гідрогелі.

Таблиця 1.

*Залежність розміру наночастинок від концентрації нітрату срібла*

Концентрація $\text{AgNO}_3$ , мг/л	$\lambda$ , нм	Розмір наночастинок, нм
10	406	51
20	411	56
30	417	62

Отримані результати інтерпретуються наступним чином.

При розчиненні нітрату срібла у воді і приготуванні гідрогелю утворюються позитивно заряджені іони срібла ( $\text{AgNO}_3 \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{NO}_3^-$ ). Під електронним опромінюванням відбувається іонізація та радіоліз води з утворенням великої концентрації вільних електронів. Певна їх частина взаємодіють з іонами срібла та відновлюють їх, тобто переводять їх із зарядженого іонного у нейтральний металевий стан. Відновлені атоми срібла завдяки відсутності електростатичного відштовхування преципітують один з одним, утворюючи наночастинок. Одночасно відбувається процес радіаційної зшивки полімерів, в результаті якого виникає 3D сітка із полімерних макромолекул. Розмір комірки такої сітки має масштаб порядку сотень нанометрів. Тому така наноструктуризація гідрогелю може становити певну перешкоду дрейфу наночастинок срібла і їх коагуляції у крупніші скупчення та перетворенню в звичайне колоїдне срібло. Можливо саме це є причиною відносно малої зміни домінантного розміру наночастинок при збільшенні в рази концентрації  $\text{AgNO}_3$  та дози



опромінення. Зазначимо, що в розглянутих діапазонах концентрацій срібла та доз електронного опромінювання базовий радіаційно-зшитий гідрогель зберігає фізико-хімічні властивості, необхідні для медичного застосування [1].

Таким чином, показана можливість формування наночастинок срібла в гідрогелі на основі системи ПВС-ПЕГ в процесі його радіаційної зшивки високоенергетичними електронами.

#### **Список використаних джерел**

1. Неймаш В. Б. та ін. Фізичні властивості радіаційнозшитих гідрогелів полівінілового спирту–поліетиленгліколю в контексті застосування в медичних пов'язках //Український фізичний журнал. – 2017. – №. 62, № 5. – С. 400-409.
2. Кістерска Л. Д. та ін. Інноваційна технологія виробництва біосумісних нанодезінфектантів нового покоління //Вісник Національної академії наук України. – 2015. – №. 1. – С. 39-48.
3. Boonkaew B. et al. Development and Characterization of a Novel, Antimicrobial, Sterile Hydrogel Dressing for Burn Wounds: Singl-Step Producton with Gamma Irradiation Creates Silver Nanoparticl s and Radical Polymerization //Journal of pharmaceutical sciences. – 2014. – Т. 103. – №. 10. – С. 3244-3253.
4. Дмитрук М. Л., Малинич С. З. Поверхневі плазмонні резонанси та їх прояв у оптичних властивостях наноструктур благородних металів //Укр. фіз. журн. Огляди. – 2014. – Т. 9. – №. 1. – С. 3-37.

**Лебединська Ю. С.**

магістрантка, спеціальність «014 Середня освіта. Фізика»,  
Сумський державний педагогічний  
університет імені А. С. Макаренка,  
м. Суми  
*yulia.musienko04@gmail.com*

### **ВИВЧЕННЯ ОСНОВ ДЕТЕКТУВАННЯ ЧАСТИНОК З ВИКОРИСТАННЯМ CERN OPEN DATA PORTAL У ЗАГАЛЬНООСВІТНІХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ**

Одним з методів вивчення частинок є дослідження їх треків за допомогою сучасних детекторів. Пропонується розглянути основи роботи детектора частинок та знайти частинку за її треком використовуючи дані з детектора CMS. Ці дані можна візуалізувати, наприклад, в інтерактивному візуалізаторі, який доступний на порталі OpenData ЦЕРНу [1]. Тепер учні можуть «виявити» частинки, які детектор CMS фіксує за допомогою інтерактивного візуалізатора експериментів з OpenData.

По-перше, учні мають розуміти, як працює детектор. Якщо заряджена частинка починає рухатися в однорідному магнітному полі

перпендикулярно до ліній індукції, то вона буде рухатися по колу. Частинки ми можемо детектувати за їхніми траєкторіями.

Для того щоб утворились нові частинки необхідно зіштовхнути частинки з високими енергіями. Для цього використовують прискорювачі заряджених частинок. Комплекс прискорювачів у ЦЕРНі є послідовністю прискорювачів, які прискорюють частинки до все більш високих енергій..

У Великому адронному колайдері (LHC) пучки частинок прискорюються до енергії 6,5 TeV кожен. І після цього протони, нарешті, спрямовують до двох прискорюючих кілець LHC. Промінь в одному кільці циркулює за годинниковою стрілкою, тоді як промінь в іншому – проти годинникової стрілки. Два пучки приводяться у зіткнення в чотирьох точках, у яких розташовані детектори ALICE, ATLAS, CMS та LHCb. Загальна енергія в точці зіткнення дорівнює 13 TeV.

Електромагніти навколо детекторів часток генерують магнітні поля для створення сили Лоренца. Сучасні детектори частинок складаються з шарів – піддетекторів або *калориметрів*, кожен із яких призначений для пошуку конкретних властивостей або конкретних типів частинок.

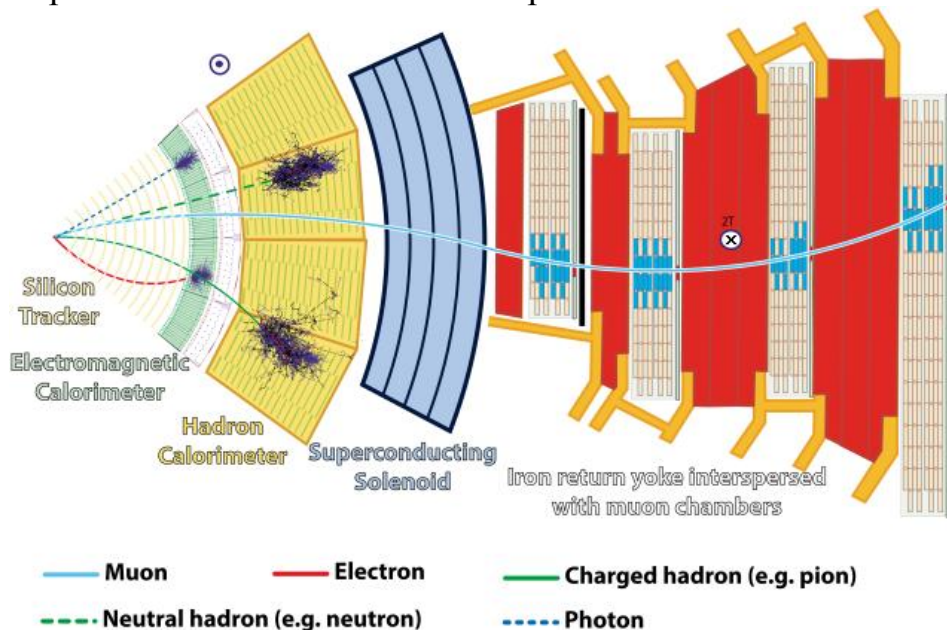


Рис. 1 CMS

*Трекери* – відстежувальні пристрої, що виявляють шляхи електрично заряджених частинок при їх проходженні та взаємодії з відповідною речовиною. Більшість пристроїв відстеження не створюють видимих треків частинок, а записують ті невеликі електричні сигнали, викликані частинками, коли вони рухаються всередині пристрою. Комп'ютерна програма потім реконструює записані шаблони треків.

*Електромагнітний калориметр* дає змогу визначити втрати енергії частинок при проходженні, коли вони взаємодіють з електрично зарядженими частинками у речовині. Електромагнітний калориметр слугує

для визначення енергій електронів і фотонів. Він виготовлений з кристалів, з'єднаних з фотодіодами. *Адронний калориметр* вимірює енергію частинок «адронів» з кварків і глюонів. Калориметри можуть зупиняти більшість відомих частинок, крім мюонів і нейтрино. Мюон може проникати через багатометровий шар заліза без взаємодії і не зупиняється жодним із калориметрів. Його ідентифікують за допомогою *детектора мюонів*.

Візуальний дисплей CMS може використовуватися для візуалізації даних, отриманих у детекторі CMS [1].

Ми пропонуємо використовувати ці дані під час проведення занять, щоб учні могли ознайомитися з різними частинами детектора та наслідками зіткнень різних частинок з утворенням треків.

Крім того, на порталі OpenData у папці «Освіта» представлені різні набори даних, які можна демонструвати. У наведеному вище прикладі було розглянуто розпад Z-бозона на два мюони. Залежно від набору даних, які відкриває користувач, візуалізація може бути різною.

#### **Список використаних джерел**

1. CERN OpenData Portal. – Режим доступу : <http://opendata.cern.ch/>  
*Рекомендовано до публікації кандидатом фізико-математичних наук, доцентом Салтиковою А.І.*

**Лебединський С. О.**

молодший науковий співробітник,

**Холодов Р. І.**

кандидат фізико-математичних наук,

старший науковий співробітник,

Інститут прикладної фізики

Національної академії наук України,

м. Суми

*lebedynskyi.s@gmail.com*

## **ВПЛИВ ЗОВНІШНЬОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПОЛЬОВУ ЕЛЕКТРОННУ ЕМІСІЮ**

Сучасні експерименти з фізики елементарних частинок потребують все більших енергій. Як наслідок, з'являється необхідність у конструюванні прискорювачів з надзвичайно великими прискорюючими градієнтами. У той же час зі збільшенням прикладених напруженостей електричного поля збільшується і кількість високовакуумних пробоїв у прискорюючих структурах. Багато дослідників відводять головну роль у цьому процесі польовій електронній емісії [1-3]. Теорія польової емісії

створена у 1928 році Фаулером та Нордгеймом [4] та уточнена того ж року Нордгеймом [5]. Вона до цих пір залишається основною теорією, що використовується для розрахунків струму польової емісії електронів.

У той же час розглядаються різні варіанти збільшення стійкості конструкційних матеріалів до пробою. Серед них модифікація поверхні металу, кондиціонування поверхні, прикладення магнітного поля. У даній роботі досліджується вплив зовнішнього магнітного поля паралельного поверхні у якості одного з факторів зменшення струму польової емісії електронів з металу.

Історично першою є робота Блатта [6], який розглянув плоску поверхню металу, з якої емітуються електрони, і перпендикулярне до неї зовнішнє магнітне поле. Проте вплив магнітного поля паралельного поверхні металу на коефіцієнт проходження потенціального бар'єру ще теоретично не досліджено.

У цій роботі теоретично розглянуто вплив зовнішнього магнітного поля паралельного поверхні металу у випадку  $E^2 - (cB)^2 > 0$ . Знайдено коефіцієнт проходження потенціального бар'єру у такому випадку:

$$D_B = \frac{4e^{-\frac{4}{3} \frac{\sqrt{2} \left( E^2 - 2 \left( \frac{U-W}{m \cdot c^2} \right) c^2 \cdot B^2 \right) \cdot \sqrt{m} \cdot (U-W)^{3/2}}{E^3 e h}} \sqrt{U-W} \left( E^2 - B^2 c^2 \right)^{3/4} E^{3/2} \sqrt{W}}{WE^3 + \left( E^2 - B^2 c^2 \right)^{3/2} (U-W)},$$

де  $E$  – напруженість електричного поля,  $-e$  – заряд електрону,  $m$  – маса електрону,  $B$  – індукція магнітного поля,  $c$  – швидкість світла у вакуумі,  $U$  – висота потенціального бар'єру,  $W$  – енергія падаючого на бар'єр електрона.

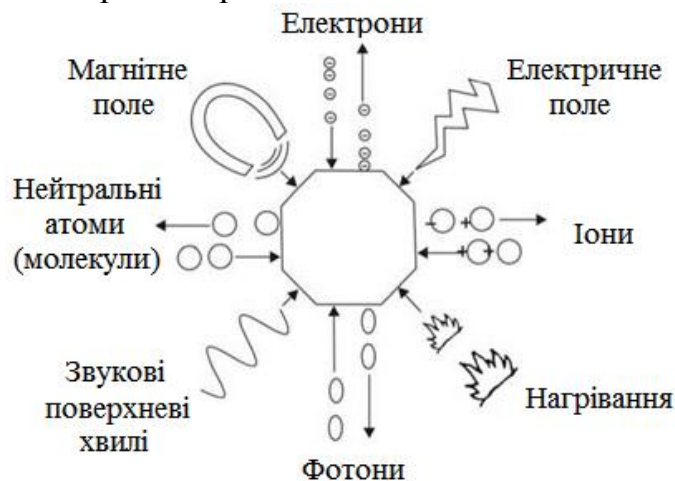
#### Список використаних джерел

1. Tarasova L.V. Sovremennyye predstavleniya o mekhanizme elektricheskogo proboya v vysokom vakuume Adv. Phys. Sci., 2 (1956), pp. 321-346.
2. Slivkov I.N. Electrical Insulation and Discharge in a Vacuum Atomizdat, Moscow (1972) Slivkov I.N. Processes at High Voltage in Vacuum Energoatomizdat, Moscow (1986).
3. Ilic D., Mostic D., Dolicanin E., Stankovic K., Osmokroviñ P. Mechanisms of electrical berakdown in low vacuums Sci. Publ. State Univ. Novi Pazar Ser. A: Appl. Math. Inform. and Mech., 3 (2011), pp. 85-99.
4. Fowler R. H., Nordheim L., «Electron emission in intense electric fields,» Proceedings of the Royal Society of London. Series A, т. 119, № 781, pp. 173-181, 1928.
5. Nordheim L. W., «The effect of the image force on the emission and reflexion of electrons by metals» Proceedings of the Royal Society of London. Series A., т. 121, № 788, pp. 626-639, 1928
6. Blatt F. J., «Field emission in a magnetic field» Physical Review, т. 131, № 1, pp. 166-169, 1963.

**Левченко О. А.**  
магістрант, спеціальність «014 Середня освіта. Фізика»  
Сумський державний педагогічний  
університет імені А.С.Макаренка,  
м. Суми  
*Leva32384@gmail.com*

## ПІДХОДИ ДО КЛАСИФІКАЦІЇ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ТОНКИХ ПЛІВОК

Правильна інтерпретація експериментів по аналізу механічних, хімічних, електричних та інших властивостей тонких плівок можлива лише після встановлення їх взаємозв'язку зі складом і структурою. Тому, одним із основних завдань при дослідженні тонко-плівкових зразків є визначення їх елементного складу. Елементний аналіз дозволяє не тільки отримати інформацію про елементний склад зразка, а й в подальшому створювати нові матеріали з потрібними властивостями. З кожним роком кількість методів таких досліджень швидко зростає. Якщо до 1973 року їх налічувалося близько п'ятдесяти, то лише за двадцять років їх кількість зросла більш ніж в 1,5 рази і продовжує зростати, але вже не так швидко. Усі методи засновані на аналізі взаємодії з поверхнею пучків електронів, іонів, фотонів тощо. При цьому обов'язкова наявність високого вакууму у камері для дослідження. У загальному випадку при аналізі поверхні можна виділити вісім основних видів зондуючого впливу на зразок, в результаті якого виникають один або декілька з чотирьох видів частинок, що несуть інформацію про поверхню на відповідний детектор (рис.1) [1].



*Рис. 1 Методи аналізу поверхні тонких плівок*

Для зондування поверхні використовуються пучки частинок (електронів, іонів, фотонів, нейтральних атомів) і інші види впливів (нагрівання, електричне або магнітне поле, звукові поверхневі хвилі). Всі вони, крім магнітного поля, викликають емісію вторинних частинок -

електронів, іонів, фотонів або нейтральних атомів [2]. Тому різні методи аналізу поверхні можна класифікувати відповідно до виду зондуючого впливу і типу частинок, які взаємодіють з поверхнею зразка чи випромінюються. Аналіз останніх дозволяє отримувати інформацію чотирьох видів: природа частинок, їх просторовий і енергетичний розподіл і їх кількість.

Так, наприклад, використовуючи підхід до класифікації по випромінюванню, що поглинається, можна розглянути такі методи як: ультрафіолетова - і інфрачервона - спектрометрія, атомно-абсорбційна спектрометрія та спектрометрія ядерно-магнітного резонансу(ЯМР) і електронного парамагнітного резонансу(ЕПР). Вони дозволяють провести дослідження складу речовини використовуючи випромінювання різних видів та довжин хвиль, що дає можливість використовувати різноманітне обладнання [3].

Також, можна розглянути класифікацію методів по вимірюванню вторинного випромінювання. Такі методи дають змогу провести дослідження елементного складу твердих тіл на основі аналізу вторинного випромінювання [5]. До них відносяться рентгенівський електронно-зондовий аналіз, мас-спектрометрія вторинних іонів, електронна спектроскопія, оже-спектроскопія (Таблиця 1.).

Таблиця 1.

Методи засновані на вимірюванні вторинного випромінювання

Метод	Спосіб впливу на пробу	Спосіб дозування енергії	Реактор	и, що призводять до виникнення	Вид сигналу
Рентгенівський електронно-зондовий аналіз	Потік прискорених електронів	Регулювання енергії і густини потоку електронів	Шари проби, які поглинають первинні електрони	Збудження внутрішніх електронних оболонок атомів	Випромінювання квантів рентгенівського випромінювання
Мас-спектрометрія вторинних іонів	Пучок прискорених іонів	Регулювання енергії і густини струму первинних іонів	Приповерхневі шари проби	Випромінювання і іонізація атомів з приповерхневих шарів	Потік іонів
Електронна спектроскопія	Потік рентгенівських або УФ – квантів	Регулювання струму джерела випромінювання	Приповерхневі шари проби	Іонізація атомів або молекул	Енергія і інтенсивність потоку електронів
Оже-спектроскопія	Потік електронів	Регулювання струму і енергії електронів	Приповерхневі шари проби	Випромінювання оже-електронів	Енергія і інтенсивність потоку електронів

Методи дослідження можуть поділятися по зонduючому впливу та частинкам, що детектуються. Ці методи дозволяють встановити якісний елементний склад поверхні, визначити кількість і природу абсорбованих на ній частинок і з'ясувати властивості поверхні атомів або абсорбованих частинок (Таблиця 2) [9]. Так, наприклад, при бомбардуванні поверхні іонами отримують потоки іонів, електронів, фотонів і нейтральних атомів. На детектуванні кожного з цих потоків базується певний метод дослідження або навіть декілька. Метод мас-спектрометрії вторинних іонів - це метод заснований на бомбардуванні іонами і утворенні вторинних іонів, детектування яких дає інформацію про хімічний склад зразка [8].

Таблиця 2.

*Класифікація методів аналізу поверхні по зонduючому впливу і частинкам, які детектуються*

<b>Метод</b>	<b>Частинки, що емітуються</b>	<b>Методи</b>
Теплова дія, емісія нейтральних атомів	Нейтральні атоми	Метод спалаху
Зондування електронами	Електрони, іони, нейтральні частинки, фотони	Дифракція повільних електронів, дифракція відбитих електронів, дифракція відбитих швидких електронів, дифракція непружно відбитих повільних електронів, електронна оже-спектроскопія, електронно-стимульована іонна десорбція, мас-спектрометрія з електронним поверхневим зондом, електронно-стимульована десорбція, мікроскоп десорбції поверхневих молекул, спектроскопія характеристичного випромінювання, спектроскопія порогових потенціалів[9]
Зондування іонами	Іони, нейтральні атоми чи молекули, електрони, фотони	Вторинна іонна мас-спектрометрія, розпилення, спектрометрія іонного розсіяння, електронна оже-спектроскопія, метод іонного мікрозонду з аналізом рентгенівських променів
Зондування фотонами	Фотони, нейтральні атоми чи молекули, електрони	ІЧ-поглинання, комбіноване розсіяння лазерного випромінювання, еліпсометрія, фото десорбція, рентгенівська фотоелектронна спектроскопія, електронна спектроскопія для хімічного аналізу
Зондування нейтральними частинками	Нейтральні атоми чи молекули, іони, електрони, фотони	Аналіз частинки, яка покидає мішень

До методів елементного аналізу, які використовуються найчастіше можна віднести рентгенівську фотоелектронну спектроскопію, оже-спектроскопію та мас-спектрометричні методи дослідження [10].

Отже, залежно від підходу до класифікації ми акцентуємо увагу на тих чи інших особливостях методу дослідження, на його можливостях і недоліках. Дослідження елементного складу тонких плівок є дуже важливим для сучасної фізики та техніки. Саме завдяки цим дослідженням активно розвиваються мікро- та нанотехніка. Оскільки елементний аналіз дозволяє не лише досліджувати структуру об'єкта, а і в подальшому, на його основі створювати деталі з заданими властивостями.

#### Список використаних джерел

1. Ханс А. Ван Спенг Фундаментальні методи параметрів в спектроскопії XRF // Розвиток рентгеноструктурного аналізу, т. 42, 2000.
2. Верховодов П. А. Рентгеноспектральний аналіз: вопросы теории и способы унификации. — Наукова Думка, 1984. — 159 с.
3. Петров В. И. Оптический и рентгеноспектральный анализ. — Металлургия, 1973. — 285 с.
4. Рамендик Г.И., Чупахин М.С., Таций Ю.Г., Держиев В.И. Аналітична хімія. — 1974. —Т.29, №2, С. 238.
5. А.с. 38/2170. (СССР). Высокочастотный искровой ионный источник/ А.Е. Зеленин, Г.Г. Скхарулидзе. Опубл. в Б.И. 1973. №22.
6. Золотов Ю.А., Кузьмин Н.М., Экстракционное концентрирование. М.: Химия, 1971. 272с.
7. Werner H.W., Morgan A.E. // Appl. Phys. 1976. V.47, № 4. P. 1232
8. В. Б. Лобода, В. С. Іваній, С. М. Хурсенко, В. С. Кшнякін, В. О. Кравченко, А. І. Салтикова, Ю. О. Шкурдода. Сучасні методи дослідження структури речовини. Суми: Університетська книга, 2010. — 259 с.
9. Углов, В. В. Методы анализа элементного состава поверхностных слоев : — Минск : БГУ, 2007. – 167 с.

*Рекомендовано до публікації кандидатом фізико-математичних наук, доцентом Салтиковою А.І.*



**Лунгол О. М.**  
кандидат педагогічних наук,  
**Суховірска Л. П.**  
кандидат педагогічних наук,  
Донецький національний медичний університет,  
м. Кропивницький  
*lunhol\_o\_m@ukr.net,*  
*suhovirskaya2011@gmail.com*

## **ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ СТУДЕНТІВ-МЕДИКІВ НА ЗАНЯТТЯХ З БІОФІЗИКИ**

Відповідно до програми навчальної дисципліни «Медична та біологічна фізика» напряму підготовки 1201 «Медицина», складеної на основі типової програми, затвердженої ЦМК з вищої освіти МОЗ України від 3 жовтня 2016 р., яка використовується на кафедрі медичної фізики та інформаційних технологій №2 Донецького національного медичного університету передбачено вивчення основ математичної обробки медико-біологічних даних, що складають основу дослідницької діяльності майбутнього лікаря. Опрацьовувати результати медико-біологічних даних студенти вчаться під час виконання лабораторних робіт «Методи оцінки похибок при прямих і непрямих вимірюваннях» та «Методи статистичної обробки вибірових даних». Перша робота полягає у вимірюванні об'єму легенів за допомогою спірометра (прямий спосіб вимірювання) та через площу поверхні тіла (непрямі вимірювання) згідно рівняння Дубойса. Аналіз результатів вимірювання проводиться за допомогою обчислення абсолютної (прямого та непрямого виміру), приладової та відносної похибки вимірюваної величини, середньоквадратичного відхилення, коефіцієнту Стьюдента. У другій роботі передбачена статистична обробка даних попередньої лабораторної роботи. Студенти набувають навичок з побудови інтервального ряд розподілу й гістограми відносних частот вибіркової сукупності медико-біологічних даних, вчаться робити точкову оцінку параметра, що був вибраний для дослідження, проводити інтервальну оцінку істинного значення вимірюваної величини із заданою довірчою ймовірністю, будувати кореляційну таблицю та кореляційне поле, обчислювати вибіровий коефіцієнт парної кореляції та оцінювати вірогідність коефіцієнта кореляції.

Отримані знання студенти використовують для аналізу наступних 10 лабораторних робіт, передбачених програмою. Наприклад, відповідно до

лабораторної роботи «Фізичні основи клінічного методу вимірювання тиску крові» студенти проводять статистичну обробку результатів вимірювання двома видами сфігмоманометрів: механічним і ртутним. Завдання ускладнене вимірюванням артеріального тиску у двох станах з обома інструментами: у спокої та після фізичного навантаження. У висновку студенти мають описати не лише результати вимірювання з медичної сторони, математичне порівняння результатів вимірювання, а й безпеку використання зазначених приладів.

Під час роботи з електричними приладами (лабораторні роботи: «Робота з електрокардіографом. Побудова середньої електричної вісі серця», «Вивчення імпедансу живої біологічної тканини», «Змінний імпульсний синусоїдальний електричний струм. Дарсонвалізація. Лікувальне застосування дарсонвалізації»), студенти аналізують: фізичну та біологічну складові впливу на організм людини даної установки, алгоритм роботи з приладом, результати експерименту, особливості техніки безпеки при роботі з даним приладом тощо, проводять математичну обробку та порівняння результатів вимірювання. Значна частка робіт з використанням медичного електрообладнання приходить на практикум на базі фізіотерапевтичного відділення Комунального закладу «Кіровоградський обласний кардіологічний диспансер». Студенти вивчають фізичні основи будови і дії, технічні дані, конструктивні особливості, біологічний вплив та медичне використання наступних приладів: інгалятор ультразвуковий Ultrasonic Nebulizer Модель LD-265U; апарати переносні мікрохвильового випромінювання; «Ранет ДМВ 20» прилад фізіотерапевтичний переносний; опромінювач ультрафіолетовий для групових локалізованих опроміненнь Стаціонарний УГН 1; апарат для фізіотерапії багатofункціональний моделі «МИТ-МТ»; інгалятор «Біомед» 403 А; інгалятор компресорний Ulaizer PRO; апарат для ультразвукової терапії УЗТ 101 Ф та інші.

Отже, для формування дослідницької компетентності студентів-медиків на заняттях з біофізики викладачам необхідно гармонійно поєднувати теоретичні знання лекційного матеріалу з практичною їх реалізацією під час лабораторного практикуму. Студенти мають навчитися математично опрацьовувати результати та аналізувати їх з різних сторін, виділяючи фізичну, біологічну та медичну складові.

**Марчук О. В.**

студент, спеціальність «Медицина»,

**Гуцул О. В.**

асистент, кандидат фізико-математичних наук,

Вищий державний навчальний заклад України

«Буковинський державний медичний університет»

м. Чернівці

*marchuk.olena.1999@gmail.com,*

*oksana.v.s@ukr.net*

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕРАПІЇ У ДООПЕРАЦІЙНОМУ ПЕРІОДІ ЛІКУВАННЯ РАКУ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ**

Проблема лікування онкологічних захворювань є нині однією з найактуальніших питань системи охорони здоров'я. З переліку поширеності локалізацій злоякісних новоутворень на першому місці серед жінок є рак молочної залози (РМЗ) [1]. Лікування РМЗ в Чернівецькому обласному онкологічному диспансері відбувається трьома шляхами, кожен з яких взаємодоповнює один одного і збільшує шанси на успішний результат лікування. Це променева терапія, хірургічний метод і хіміотерапія [2]. Нині в світі проектується низка нових методів лікування РМЗ і онкологічних захворювань в цілому, але більшість з цих методів поки у стані розробок.

Метод променевої терапії (ПТ) використовується для опромінення гама-променями пухлини разом з регіонарними лімфатичними вузлами і шляхами лімфовідтоку. ПТ назначають в доопераційному періоді (для підвищення резектабельності пухлини) і післяопераційному періоді (для усунення можливих рецидивів). В якості джерела гамма-опромінення в Чернівецькому обласному онкологічному диспансері використовується апарат «АГАТ-Р1У». Доопераційна променева терапія відбувається за класичним фракціонуванням дози по 2 Гр 5 разів на тиждень до сумарної дози 40–45 Гр. В якості радіосенсибілізатора при контактному методі опромінювання використовують препарат метрогіл (похідний нітроімідазолу – електронно-акцепторне сполучення), який поводить себе подібно до кисню і сенсibiliзує гіпоксичні клітини пухлини до дії іонізуючого випромінювання. На відміну від кисню, метрогіл проникає більш глибоко в пухлину. Селективне введення метрогілу в пухлину та навколишні тканини до операції забезпечує зниження ризику післяопераційних гнійно-запальних ускладнень при використанні порогових доз опромінення. Сумарна вогнищева доза в 40-45 Гр призводить до загибелі 90-95% субклінічних вогнищ росту. ПТ дозволяє полегшити і збільшити шанс на успішний результат операції з видалення

пухлини за рахунок загибелі периферичних клітин пухлини. Це призводить до зниження мітотичної активності ракових клітин, що в свою чергу зумовлює зменшення розмірів пухлини, у зв'язку з чим полегшується видалення пухлини і знижується ризик метастазування.

За 2017 рік у Чернівецькому обласному онкологічному диспансері 70 хворих на РМЗ отримали передопераційну променево терапію. Враховуючи розміри пухлини до початку терапії і безпосередньо напередодні операції ми зробили наступні висновки, щодо ефективності призначення променевої терапії у доопераційному періоді. У 40% хворих регресія пухлини становила 50 %. У 46% хворих – пухлина зменшилась на 30%, у решти 14% пацієнтів - лише на 20%. Більшості хворим променево терапія дала позитивний ефект і пухлина зменшилась в розмірах на 30-50%.

У пацієнтів з успішним результатом променевої терапії були відсутні запальні процеси, стадія раку 2-га (у 43% хворих з даної вибірки), 3-тя (у 47% хворих з даної вибірки). Пацієнти з задовільним результатом променевої терапії мали запальні процес в організмі (46% з вибірки) та 4-ту стадію раку (67% з них). Відсоток хворих, що не потрапив у жодну з наведених категорій причин менш успішного ефекту від ПТ пояснюється індивідуальними особливостями стану організму та пухлини.

ПТ в доопераційному періоді лікування РМЗ дає хороші результати: діє на пухлину, склерозуючи її, що полегшує хірургічне видалення пухлини, знижує мітотичну активність пухлини, запобігає утворенню метастаз. Індивідуальні характеристики організму та пухлини мають великий вплив на результати ПТ. Тим не менш, за літературними джерелами відомо, що актуальність методу ПТ знизилась у зв'язку з тим, що РМЗ не є локальним процесом, а в даний час розглядається як системне захворювання. Тривалий проміжок часу РМЗ розглядався за теорією Холстеда – тобто РМЗ вважався місцево поширеним процесом з подальшим прогресуванням. Але нині згідно з сучасною теорією Фішера вважають, що первинна пухлина з'являється одночасно з вогнищем метастазування, тобто РМЗ – хронічна хвороба. ПТ впливає тільки на саму пухлину і навколишні ділянки, на метастазування у віддалених від пухлини регіонах вузьконапрявлена ПТ не діє, тому ефективність лікування з врахуванням метастаз низька.

#### **Список використаних джерел**

1. Білінський Б.Т. Еволюція клінічних підходів до проблеми раку грудної залози на фоні прогресу онкологічної науки // Онкологія Т.12, №3.– 2010. -С. 282-285.
2. Рак молочної залози. Уніфікований клінічний протокол первинної, вторинної (спеціалізованої), третинної (високоспеціалізованої) медичної допомоги, 2015. Акушерство. гінекологія. Генетика. - 2016, № 1, с.14.

**Матрос А. В.**  
магістрантка, спеціальність «014 Середня освіта. Фізика»  
Сумський державний педагогічний  
університет імені А. С. Макаренка,  
м. Суми  
*matros.alina1701@gmail.com*

## **МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ МІЖПРЕДМЕТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ПРИ ВИВЧЕННІ ФІЗИКИ**

У наш час все більше увагу вчених, методистів та педагогів привертає пошук шляхів підвищення ефективності навчально-виховного процесу в загальноосвітніх навчальних закладах. Оскільки, на сучасному етапі розвитку науки спостерігається наростаючий зв'язок наук, особливо фізики з астрономією, математикою, географією та біологією, то широкого поширення набуває проблема реалізації міжпредметних зв'язків. Реалізація міжпредметних зв'язків при вивченні фізики – є одним з компонентів, який забезпечує неперервний розвиток освіти.

Для пояснення сутності міжпредметних зв'язків скористаємося педагогічним словником С. Гончаренка, який розглядає їх як дидактичний засіб, який передбачає комплексний підхід до засвоєння та формування змісту освіти. Це дає можливість здійснювати зв'язки між предметами для всебічного поглибленого розгляду найважливіших явищ, понять та взаємне узгодження навчальних програм, що зумовлюється системою наукової дидактичної мети [1, с. 210].

Міжпредметні зв'язки формують в учнів світогляд про явища природи, допомагають застосовувати власні знання під час вивчення інших навчальних предметів.

Нашою метою є – розгляд у цілеспрямованому формуванні в уяві учнів необхідного ланцюжка асоціацій, який поєднує поняття, уявлення, теорії, котрі утворюються в різних навчальних предметах, в єдину логічно зв'язану систему знань.

Відомо, що міжпредметні зв'язки характеризуються різноманітністю дидактичних функцій, тому їх можна класифікувати за наступними ознаками [2]: за засобами та методами навчання; за змістом навчального матеріалу; за вміннями, які формуються.

Міжпредметні зв'язки можна поділити на внутрішні (зв'язки фізики із хімією, біологією) та зовнішні (зв'язки фізики з літературою, історією тощо).

На уроках фізики міжпредметні зв'язки доцільно застосовувати з метою засвоєння школярами провідних світоглядних ідей: єдність живої та неживої природи, розвиток та рух в природі, взаємозв'язки форм руху

матерії, час і простір, як форми існування матерії, закономірності її пізнання та розвитку, матеріальна єдність світу тощо.

З використанням міжпредметних зв'язків є відносно складним методичним завданням для педагога. Під час здійснення міжпредметних зв'язків виникає проблема, коли вчитель фізики має знати не тільки власний предмет, але й інші (біологію, хімію, інформатику, математику, географію тощо) внаслідок чого педагоги витрачають багато часу на підготовку до уроків, і тому не кожен учитель має бажання використовувати цю методику на власних уроках.

Обсяг матеріалу, який застосовується із інших предметів, за можливістю повинен бути невеликим. Готуючись до уроків, учитель має вирішити питання щодо глибини розкриття матеріалу із міжпредметних зв'язків у курсі фізики [4].

Розглянемо реалізацію міжпредметних зв'язків між фізикою та деякими іншими предметами. Міжпредметну інтеграцію можна здійснити через дидактичні завдання, інформацію навчального матеріалу, фізичні експерименти, розв'язування міжпредметних задач. Це дозволить створити певний запас фізичних та математичних моделей, що описують процеси та явища, котрі насамперед відбуваються у живій природі.

Фізика та хімія є взаємопов'язаними науками, причому їх взаємозв'язки зумовлюються загальними об'єктами пізнання (закономірності неживої природи, тіла, процеси) та загальними методами наукового пізнання (математичні, теоретичні, експериментальні). Аналіз змісту курсів хімії та фізики показує, що загальними системами понять, які включені у ці курси, є: система понять про речовину та її структурні елементи; система понять про енергію, її види та перетворення, включаючи поняття внутрішньої енергії, енергії йонізації, активації тощо.

Взаємозв'язки фізики з біологією реалізується під час вивчення дифузії. На цьому уроці наводяться приклади з ботаніки. При вивченні звукових і світлових явищ – матеріал з анатомії та зоології (зокрема, про будову очей, вуха, про особливості зору людини та риб, світлове сприйняття). Тема "Випромінювання і спектри" містить питання використання різних видів випромінювання у молекулярній біології. Учні про застосування рентгеноструктурного аналізу дізнаються під час вивчення будови складних органічних речовин, наприклад, гемоглобіну. Важливе значення має питання дії інфрачервоних та ультрафіолетових променів на живі організми, впливу рентгенівського випромінювання на мутації хромосом. Не менш важливим для зв'язку фізики з біологією є питання дози випромінювання та біологічного захисту [3].

Між математикою та фізикою на наш погляд зв'язки є багатограними та постійними. Проте інколи виникають розбіжності під час трактування деяких питань, котрі докладно вивчаються на уроках математики, а використовуються на уроках фізики. Наприклад, тема "Вектори на

площині". У курсі математики трактування поняття «вектор» мало підходить для того, щоб працювати із векторними величинами у фізиці. Враховуючи це, бажано планувати свою роботу так, щоб тема "Вектори на площині" вивчалася на уроках математики паралельно з вивченням векторних величин у фізиці.

Таким чином, на уроках фізики активізація пізнавальної діяльності школярів відбувається завдяки використанню сучасних методів навчання, підходів до навчання, диференціації та індивідуалізації навчальної діяльності з урахуванням системи міжпредметних зв'язків. Вони виступають потребою розвиваючого навчання, багатосторонньо впливають на особистість учня, посилюючи єдність його навчання та розвиток.

#### **Список використаних джерел**

1. Гончаренко С. У. Український педагогічний словник. Київ: Либідь, 1997, 376 с.
2. Максимова В. Н. Межпредметные связи и совершенствование процесса обучения: Кн. для учителя. / В.Н. Максимова. Москва: Просвещение, 1984, 143 с.
3. Межпредметные связи естественно-математических дисциплин. Пособие для учителей. Сб. статей / Под ред. В.Н. Федоровой. Москва: Просвещение, 1980, 208 с.
4. Межпредметные связи курса физики в средней школе / Ю. И. Дик, И. К. Турышев, Ю.И. Лукьянов и др.; Под ред. Ю.И. Дика, И.К. Турышева. Москва: Просвещение, 1987, 191 с.

*Рекомендовано до публікації кандидатом фізико-математичних наук, доцентом Стадником О.Д.*

**Міщенко Д. К.**

магістрант, спеціальність «014 Середня освіта. Фізика»,

**Завражна О. М.**

кандидат фізико-математичних наук, доцент

Сумський державний педагогічний

університет імені А. С. Макаренка,

м. Суми

*MISHCHENKO.dk@gmail.com*

## **ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У ШКІЛЬНОМУ КУРСІ ФІЗИКИ**

Роль енерго- і ресурсозбереження в сучасному світі величезна. Й енергоефективність, й енергозбереження є одними з пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки нашої держави [1].

Освіта в галузі енергозбереження формується на базі природничих, технічних, гуманітарних наук та знань з економіки та управління, вона є

необхідним елементом економічного розвитку суспільства і держави, що визначено в ст. 7 Закону України «Про енергозбереження»: «Виховання ощадливого ставлення до використання паливно-енергетичних ресурсів забезпечується шляхом навчання і широкої популяризації та пропаганди економічних, екологічних і соціальних переваг енергозбереження» [2].

Зрозуміло, що особливе місце в питанні енергозбереження повинно відводитись загальноосвітнім закладам, тому що основи енергозбереження потрібно закладати ще зі шкільної лави. У реалізації шкільної енергозберезувальної освіти поряд з іншими дисциплінами велике значення має курс фізики, оскільки саме фізика як наука про природу дає учням уявлення про цілісність природи, взаємозв'язок процесів, що відбуваються, про причинно-наслідкові зв'язки природних явищ, про джерела забруднення навколишнього середовища.

Але ефективність сучасного шкільного курсу фізики в цьому напрямку на сьогодні є низькою. Енергозберігаючий матеріал включається в зміст уроків фізики або фрагментарно, або зовсім не використовується. Це пояснюється тим, що недостатньо розроблені форми і методи енергозберігаючої освіти в процесі навчання фізики.

Тому потрібно створити систему енергозберігаючої освіти на базі курсу фізики, яка б включала також й зміст екологічного матеріалу, що враховував би комплексний характер енергозберігаючих знань і міжпредметні зв'язки курсу фізики з дисциплінами природничого циклу.

Нагальною потребою є також розробка методичних рекомендацій щодо вивчення питань енергозбереження в курсі фізики.

#### **Список використаних джерел**

1. Закон України № 2519-VI від 9.09.2010 р. Про внесення змін до Закону України "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки та Перелік пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2015 року (Додаток до постанови Кабінету Міністрів України № 942 від 7 вересня 2011 р.)
2. Закон України «Про енергозбереження» від 01.07.1994.



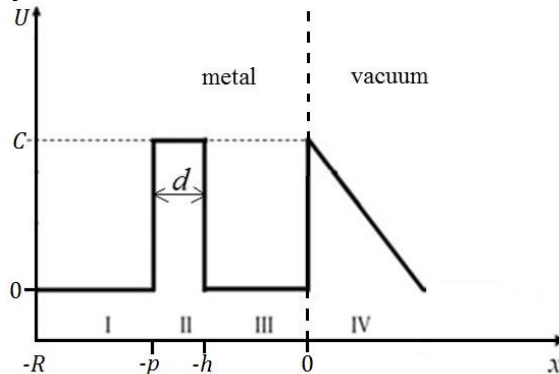
**Мусієнко І. І.**  
молодший науковий співробітник,  
**Холодов Р. І.**  
кандидат фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник,  
Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України,  
м. Суми

## ВПЛИВ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНІ МЕТАЛУ НА СТРУМ ПОЛЬОВОЇ ЕМІСІЇ У ВИПАДКУ БАГАТОСТУПЕНЕВИХ БАР'ЄРІВ

**Актуальність.** Тема польової емісії [1 – 4] під впливом зовнішніх електромагнітних полів, а також високоградієнтних пробоїв у прискорювальних структурах є актуальною в зв'язку з одержанням зарядженими частинками високих енергій на сучасних прискорювачах. При проектуванні прискорювача CLIC (Compact linear collider) виникла проблема високовакуумних високоградієнтних пробоїв. Напруженість електричного поля в прискорюючих структурах CLIC досягатиме 100 МВ/м. Одним із способів усунення проблеми високовакуумних високоградієнтних пробоїв є зменшення густини струму польової емісії.

**Метою дослідження** є узагальнення теорії Фаулера-Нордгейма польової емісії з металу з додатковим приповерхневим дипольним шаром. Ця теорія застосовується для врахування впливу на густину струму польової емісії вакансій і пор, утворених опроміненням поверхні металу.

В роботі запропоновано феноменологічну модель потенціального бар'єру металу з додатковим приповерхневим дипольним шаром, яка зображена на рис. 1. На рисунку область I – внутрішня область металу, область II – ефективна товщина  $d$  дипольного шару, області II і III – області модифікації металу, область IV – потенціальний бар'єр на межі розділу фаз метал-вакуум.



*Рис. 1. Потенціальний бар'єр для виходу електронів з модифікованого вакансіями поверхневого шару металу в вакуум*

Висота  $C$  другої і четвертої області, що показана на рис. 1, дорівнює сумі роботи виходу  $\chi$  досліджуваного металу і його електрохімічного потенціалу  $\mu$ ,  $C = \mu + \chi$ ,  $R$  – товщина модифікації поверхні металу,  $h$  – відстань до дипольного шару,  $d$  – ефективна товщина додаткового приповерхневого дипольного шару,  $p = h + d$ .

Введення такого шару використане як спосіб врахування впливу утворених опроміненням в приповерхневому шарі металу вакансій і пор на густину струму польової емісії. Було зроблено аналітичне узагальнення формули Фаулера-Нордгейма для густини струму  $j_{F-N}$  у випадку потенціального бар'єру, зображеного на рис. 1. Одержано методом Фаулера-Нордгейма аналітичні вирази для коефіцієнта прозорості потенціального бар'єру й густини струму польової емісії за допомогою розкладання хвильових функцій по малих параметрах  $d$  і  $h$  з врахуванням товщини модельного приповерхневого дипольного шару металу. Показано, що при  $d = 10^{-11}$  м струм польової емісії для розглянутого бар'єру зменшується в 1,3 рази відносно значення  $j_{F-N}$ .

Для оцінки величини ефективної товщини  $d$  дипольного шару й відстані  $h$  до дипольного шару, описаної вище моделі, показано розподіл вакансій за допомогою засобів коду SRIM (The Stopping and Range of Ions in Matter), утворених опроміненням поверхні металу зарядженими іонами, в залежності від глибини проникнення частинок в об'єм досліджуваного зразка.

З аналізу чутливості залежності  $j_{F-N}$  від роботи виходу металу при різних напруженостях електричного поля  $E$  слідує, що зміна на 10 % величини роботи виходу металу змінює значення густини струму  $j_{F-N}$  в 7 разів. Формула Фаулера-Нордгейма для густини струму польової емісії не враховує впливу домішок, тріщин, вакансій, пор, включень, нерівностей поверхні металу на величину  $j_{F-N}$ . Але експерименти з модифікації приповерхневого шару металу демонструють слабку залежність густини струму польової емісії від роботи виходу металу [3, 4].

#### Список використаних джерел

1. M. Kidemo. New spark-test device for material characterization // Nucl. Instrum. And Methods A., 2004, v. 530. – p. 596-606.
2. P.N. Burrows. Updated baseline for a staged Compact Linear Collider, edited by P.N. Burrows, P. Lebrun, L. Linssen, D. Schulte, E. Sicking, S. Stapnes, M.A. Thomson, CERN–2016–004 (CERN, Geneva, 2016).
3. Nicholas C. Shipman. Experimental study of DC vacuum breakdown and application to high-gradient accelerating structures for CLIC. – Manchester: University of Manchester, 2014.
4. V.A. Baturin, A.Yu. Karpenko, V.E. Storizhko, V.A. Shutko. Investigation of copper samples with ion-plasma treatment on the high voltage breakdowns // Probl. At. Sci. Tech., 2018, №4 (116), p. 297-301.

**Овчаренко А. Ю.**  
магістрант, спеціальність «014 Середня освіта. Фізика»,  
Сумський державний педагогічний  
університет імені А. С. Макаренка,  
м. Суми  
*oartturr@gmail.com*

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ФАЗОВОГО КОНТРАСТУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНИХ ДЕФЕКТІВ**

Методи дослідження з використанням рентгенівського фазового контрасту (РФК) набули широкого використання у різних областях науки та техніки. Вони знайшли своє застосування для дослідження дефектів та визначення кількісного і якісного складу матеріалів, а також у медичній діагностиці.

Створення високояскравих джерел синхротронного випромінювання та розвиток рентгенівської оптики, спонукало перехід до нового етапу у розвитку методів рентгенівських досліджень. Наразі актуальним питанням є вивчення точкових дефектів методами рентгенівського фазового контрасту, що включає в себе вибір оптимальних джерела рентгенівського випромінювання та методу візуалізації. Проблема дослідження радіаційних дефектів у матеріалах посідає важливе місце в області радіаційної фізики та нанотехнологій, а також під час проектування нових конструкційних матеріалів для реакторів. Це дає змогу спроектувати оптимальний склад і мікроструктуру матеріалів, здатних витримувати умови жорсткого радіаційного опромінення.

Практична реалізація методів рентгенівського фазового контрасту накладає суттєві вимоги до характеристик всіх елементів установки.

В Інституті прикладної фізики НАН України створено джерело рентгенівського випромінювання для генерації квазімонохроматичного випромінювання на основі пучка іонів від електростатичного прискорювача з максимальною напругою на кондукторі 2 МВ. Дане джерело може бути застосоване для реалізації методу лінійного фазового контрасту [1].

Метод лінійного фазового контрасту рентгенівського зображення або методом вільного поширення, базується на дифракції Френеля [2]. В основі цього методу лежить проходження рентгенівських променів через досліджуваний об'єкт та їх поширення на певній відстані між об'єктом і детектором. Внутрішні варіації товщини і показника заломлення рентгенівських променів досліджуваного об'єкта призводять до зміни форми рентгенівського хвильового фронту при проходженні через об'єкт. Коли детектор розташований безпосередньо за досліджуваним об'єктом,

отримуємо звичайне абсорбційне рентгенівське зображення, а при значних відстанях від об'єкта формується фазово-контрастне зображення [3].

На даний момент важливою проблемою є знаходження оптимальних параметрів для реалізації методу лінійного фазового контрасту. Однією з необхідних умов реалізації методів РФК є висока просторова когерентність джерела випромінювання. Ширина просторової когерентності визначається співвідношенням:  $\xi_{\square} = \lambda (\square_1 / \square)$ , де параметри  $\lambda$  (довжина хвилі випромінювання) і  $\square$  (розміри фокальної плями джерела), що входять в формулу, вважаються відомими, а величини  $\xi_{\square}$  і  $\square_1$  за допомогою вказаного співвідношення виражаються одна через іншу. Іншими словами, можна сказати, що для реалізації фазового контрасту кутовий розмір джерела випромінювання на об'єкті має бути в два рази менший за довжину хвилі. З останнього виразу очевидно, що для збільшення ширини просторової когерентності необхідно збільшувати відстань від джерела до об'єкта, або зменшувати розміри джерела.

Таким чином, виконано частину розрахунків схеми експерименту по рентгенівському фазовому контрасту на каналі Інституту прикладної фізики НАН України (рис. 1).

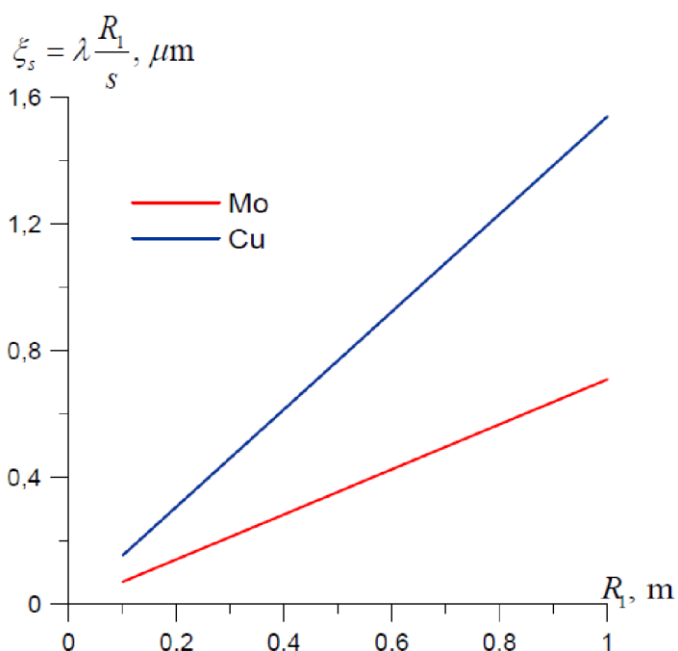


Рис. 1. Ширина просторової когерентності для джерела квазімонохроматичного рентгенівського випромінювання на базі прискорювача ІПФ НАН України для різних типів мішені в залежності від відстані від джерела до об'єкта.

#### Список використаних джерел

1. Вершинский С.А. Источник квазімонохроматического рентгеновского излучения на базе электростатического ускорителя протонов / С.А. Вершинский, А.Н. Бугай, М.И. Захарец, В.Л. Денисенко, В.Е. Сторишко // Вісник Харківського національного університету, серія: фізична «Ядра, частинки, поля». – 2012. – Т. 1001, вип. 2/54. – с. 72-79.

2. Snigirev A, Snigireva I, Kohn V, Kuznetsov S, Schelokov I. On the possibilities of X-ray phase contrast microimaging by coherent high-energy synchrotron radiation. Rev Sci Instrum 1995;66:5486e92.
3. T. Tuohimaa, M. Otendal, H. M. Hertz "Phase-contrast x-ray imaging with a liquid-metal-jet-anode microfocus source" (2007), Appl. Phys. Lett. 91.

**Остапенко І. В.**

студентка, спеціальність «222 Медицина»,  
Вищий державний навчальний заклад України  
«Буковинський державний медичний університет»  
м. Чернівці  
*irina.ostapenko1497@gmail.com*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ КВАНТОВИХ ТОЧОК**

Актуальність: квантові точки (КТ) набувають все більшого інтересу в якості люмінесцентних індикаторів у біологічних науках, таких як молекулярна гістопатологія, діагностика захворювання та біологічна візуалізація, включаючи виявлення пухлини *in vivo*, візуалізацію стовбурових клітин, імунологічну діагностику та доставку ліків. Розробка нових технологій біорегулювання на основі КТ має важливе значення для подальшого нашого розуміння регуляції рецепторно-опосередкованих шляхів у клітинах і тканинах.

КТ - це напівпровідникові нанокристали, які діють як напівпровідникові ядра, серцевина яких оточена напівпровідниковою оболонкою, такою як ZnS. Розмір КТ становить від 2 до 10 нм в діаметрі. Традиційні нанокристали зазвичай складаються з елементів III – V, II – VI або IV – VI груп періодичної таблиці. Ці КТ володіють чудовими властивостями флуоресценції і широко використовуються для візуалізації клітин *in vitro* або *in vivo*. Для традиційних КТ кадмій є основним елементом їхнього складу. Однак добре відомо, кадмій є токсичним, тому наразі акцент робиться на зміну квантових точок без кадмію для застосування в живих структурах. Це можуть бути кремнієві КТ (Si), вуглецеві точки (C-точки), графенові КТ, Ag<sub>2</sub>Se, Ag<sub>2</sub>S, InP, CuInS<sub>2</sub> / ZnS.

Оптичні властивості КТ включають високі квантові виходи, високі коефіцієнти молярної екстинкції (близько 10-100 разів вище, ніж у органічних барвників), широке поглинання (шириною 25-40 нм), симетричні спектри фотолюмінесценції між УФ та близькі до інфрачервоних областей, а також висока стійкість до фотоочищення та фото- і хімічної деструкції. Отримані КТ є нерозчинними у воді. Тому, щоб використовувати їх оптичні властивості в біологічних системах, поверхня повинна бути модифікована гідрофільним покриттям.

Для підготовки КТ було розроблено багато синтетичних методів, які можна розділити на фізичні та хімічні методи. До фізичних методів відносять епітаксійне нарощування та/або нанорозмірне моделювання. До хімічних методів належать інкапсуляція амфифільними блокополімерами (наприклад, фосфоліпідними міцелами), а також біокон'югація та обмін гідروفобним шаром органічного розчинника з гідрофільними лігандами, такими як тіолвмісні молекули і пептиди. Біомолекули, включаючи антитіла, пептиди, білки, нуклеїнові кислоти, малі молекули і ліпосоми, можуть використовуватися для біокон'югації з КТ. Ці біокон'юговані КТ широко використовуються для прямого і непрямого маркування позаклітинних білків і субклітинних органел. Вони можуть бути доставлені в цитозоль за допомогою фізичних методів, таких як мікроін'єкція і електропорація. Мікроін'єкція унікальна тим, що здатна безпосередньо доставляти КТ в ядра. Далі спостерігають за об'єктом дослідження або проводять необхідні вимірювання.

#### Список використаних джерел

1. Ana Sofia da Cunha Miguel. Quantum Dots: Synthesis, Functionalization and Bioconjugation for Biological Applications: dissertation presented to obtain the Ph.D degree in Engineering Sciences and Technology / Ana Sofia da Cunha Miguel.- Oeiras, 2012.- p. 254.
2. J. Mater. Carbon “quantum” dots for optical bioimaging / J. Mater., Chem. B. // Journal of Materials Chemistry B .- 2013.- №1.- p. 2116-2125.
3. Nanobiotechnology: Quantum dots in bioimaging / [Yong Zhang†, Noritada Kaji, Manabu Tokeshi and Yoshinobu Baba] . – Japan: Graduate School of Pharmaceutical Sciences, University of Tokushima, 2007.- 570 p.
4. J. Mater. Carbon “quantum” dots for optical bioimaging / J. Mater., Chem. B. // Journal of Materials Chemistry B .- 2013.- №1.- p. 2116-2125.

**Подгорнова Д. Я., Тищенко Є. В.**  
курсанти, спеціальність «172 Телекомунікації та радіотехніка»  
Військовий інститут телекомунікацій  
та інформатизації імені Героїв Крут,  
м. Київ  
*bogdansus@gmail.com*

### ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК УЯВЛЕНЬ ПРО ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД

Відомо, що при замиканні електричного кола виникає струм. Згідно з існуючими уявленнями струм – це рух електричних «зарядів». Однак потрібне не абстрактне, а «предметне» пояснення, що таке «заряд». «Заряди» взаємодіють між собою на відстані. Закон Кулона описує реальну

взаємодію двох точкових зарядів, але без роз'яснення, що таке заряди і який механізм їх взаємодії. Тепер ми знаємо, що тіла утворені з атомів, в яких є протони і електрони. Протони умовно мають позитивний «заряд», а електрони – негативний. Кількість електронів і протонів в атомі однакова, тому він електронейтральний. Відповідно й тіла, які складаються з атомів, також електронейтральні. Але якщо два тіла потерти, то вони «заряджаються» і взаємодіють на відстані. Поява заряду – це результат порушення нейтральності тіла, коли в ньому переважає частина електронів чи протонів. Відомий фізик-теоретик Фейнман під поняттям «заряд» розумів «додатні» протони і «від'ємні» електрони: *«Речовина є сумішшю додатніх протонів і від'ємних електронів, які притягуються і відштовхуються з неймовірною силою... Однакові сорти речовини відштовхуються, а різні – притягуються»* [1, с. 9].

Отже заряд – це **нескомпенсовані** надлишкові електрони чи протони. Заряд можна ділити на порції. Наприклад, найменше негативне значення заряду в електрона, який є найменшою частинкою **«електронної» речовини**. Принаймні невідомо, щоб хтось розділив електрон на ще менші частинки. А найменший позитивний «заряд» у протона, який є найменшою частинкою **«протонної» речовини**. Правда, відомо, що протон складається з кварків, однак їх ще ніхто не відділив як окремі частинки. За величиною «заряди» електрона і протона однакові. Традиційно сформоване уявлення, що «заряди» існують, але ніхто їх не виявив як щось окреме. Можна думати, що якби від електрона і протона якимось чином «заряди» забрати (що нікому не вдалося зробити !), то речовина електрона і протона виявилася б однаковою. В часи Кулона про таке думати не могли, але ми тепер знаємо, що **в електрона і протона речовини різні**. Таким чином, назва «заряд» є умовною назвою, бо насправді йдеться про електронну чи протонну речовину.

Нема також пояснення **механізму взаємодії** електронів і протонів, а існує традиційна абстрактна констатація, що взаємодія відбувається через «електричні поля», які створюють «заряди» навколо себе. Однак взаємодія відбувається не абстрактно, а реально. Тому відповідь на питання яким чином електрони і протони взаємодіють треба давати не в абстрактній формі, а через традиційно відомі і звичні фізичні поняття. Але для цього треба відповісти, які способи взаємодії між тілами ми знаємо ?

У фізиці відомі два способи фізичної взаємодії – **через середовище між** тілами і **через обмін тіл частинками взаємодії**. Наприклад, на воді поряд знаходяться два човни. Якщо один човен почати розхитувати, то збурення через воду (середовище) передається до другого човна і він почне

хитатися. Це взаємодія через середовище. Можна взаємодіяти іншим способом, кидаючи з човна масою  $m_1$  на інший човен тіло масою  $m_2$ . При цьому човни будуть розходитись, оскільки при такому обміні передається **кількість руху** (рис. 1).

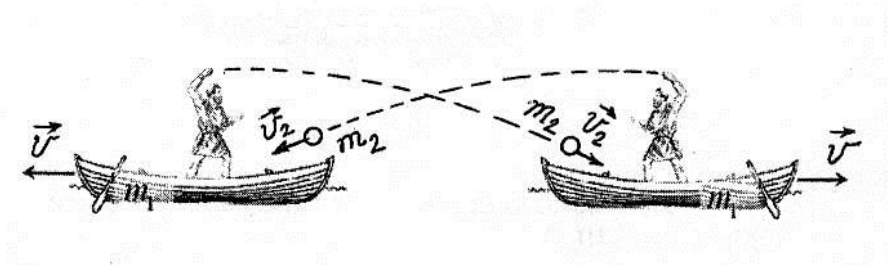


Рис. 1

Можна зробити висновок, що взаємодія відбувається завдяки обміну частинками взаємодії, які вилучають електрони і протони. Таку думку висловлює відомий фізик-теоретик Стівен Хокінг: *«Частинка речовини, наприклад електрон або кварк, випускає частинку, яка є переносником взаємодії. В результаті віддачі швидкість частинки речовини змінюється. Потім частинка переносник налітає на іншу частинку речовини і поглинається нею. Це зіткнення змінює швидкість другої частинки, ніби між цими двома частинками речовини діє сила»* [2, с. 38].

Таким чином, можна зробити висновок, що для заряджених тіл зарядами є надлишкові електрони чи протони, а для окремих електронів і протонів зарядами є невідомі частинки взаємодії, які вилучаються ними.

#### Список використаних джерел

1. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике, т. 5. Электричество и магнетизм / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сендс. – М.: Мир. 1966. – 296 с.
2. Хокинг Стивен. Краткая история времени / Стивен Хокинг. – СПб: Амфора. 2001. – С. 38-39.

*Рекомендовано до публікації доктором педагогічних наук, професором Сусем Б.А.*

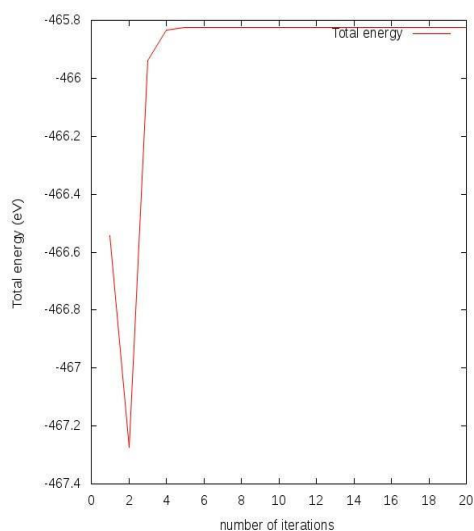


**Поліщук А. Ю.**  
аспірантка, спеціальність «104 Фізика та астрономія»,  
Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України,  
м. Суми  
*nasty.varennikova312@gmail.com*

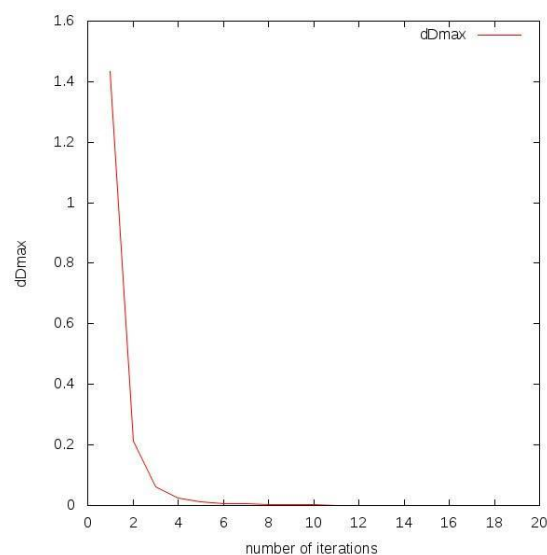
## **АВ ІНІТІО КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОЛЕКУЛИ ВОДИ**

У роботі було розглянуто застосування метода теорії функціонала щільності [1] до дослідження рівноваги поверхні молекули води. Суть методу полягає у тому, що замість хвильової функції для вивчення характеристик системи використовується функція електронної щільності, яка залежить лише від трьох просторових змінних (у випадку хвильових функцій, кількість змінних може сягати  $10^9$ ).

Комп'ютерне моделювання відбувалось за допомогою програмного пакету SIESTA [2]. Після виконання програми було отримано файли, які містять результати усіх обчислень. Для прикладу розглянемо обчислену повну енергію (рис. 1) системи та зміну щільності електронів (рис. 2) в залежності від кількості ітерацій. Як видно з графіків, починаючи з деякого кроку, функції набувають сталих значень, отже, можна зробити висновок про збіжність методу.



*Рисунок 1. Залежність повної енергії від кількості ітерацій*



*Рисунок 2. Залежність зміни щільності від кількості ітерацій*

### **Список використаних джерел**

1. W. Kohn and L. J. Sham, Phys. Rev. 140 A1133 (1956).
2. SIESTA-4.0.2 <https://departments.icmab.es/leem/siesta/>

**Рубан А. Г.**  
магістрантка, спеціальність «014 Середня освіта. Фізика»  
Сумський державний педагогічний  
університет імені А.С.Макаренка,  
м. Суми  
*allinaruban@gmail.com*

## **ІНДИВІДУАЛІЗАЦІЯ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ**

У вітчизняних педагогічних публікаціях все частіше прослідковується думка про те, що сучасна школа повинна стати «антропоцентричною», центром всіх навчально-виховних впливів повинен бути конкретний учень, при цьому всі способи і форми організації шкільного життя будуть спрямовані на його всебічний особистісний розвиток.

Особливо активно розробляється ідея «особистісно-орієнтованого навчання», пов'язаного з пошуком шляху найкращого задоволення пізнавальних потреб учня і створення оптимальних умов для його всебічного розвитку. У контексті такого навчання обґрунтовується необхідність визнання унікальності особистості кожного учня.

Реалізація даного підходу повинна проявлятися в організації навчального процесу, в наданні вчителю вибору навчальної програми, підручника, методик і технологій навчання, а учневі – вибору власної «траєкторії» навчання.

Індивідуалізація навчання - це організація навчального процесу з урахуванням індивідуальних особливостей учнів, що дозволяє створити оптимальні умови для реалізації потенційних можливостей кожного учня. Індивідуалізація навчання передбачає заохочення індивідуальної вибіркової учня, визнає існування індивідуально-специфічних форм засвоєння навчального матеріалу.

Індивідуалізований підхід ми розглядаємо як принцип, згідно з яким у навчально-виховній роботі в класі досягається педагогічна взаємодія з кожною дитиною, засноване на знанні особливостей його особистості. При вивченні особливостей школяра доцільно враховувати характеристики його пізнавальних можливостей і здібностей до навчання, а також тип сприйняття і тип діяльності.

Таким чином, індивідуалізований підхід передбачає розкриття індивідуальності учня, а потім вибір для нього найбільш сприятливих умов навчання і розвитку.

Для здійснення ефективного освітнього процесу необхідна сучасна методика організації індивідуалізованого підходу в навчанні на основі застосування різних технологій навчання, що забезпечують впровадження цього підходу.

Технологію навчання слід розглядати як процес реалізації цілей, передбачених освітніми стандартами, навчальними планами і програмами, через комплекс форм, методів, засобів і прийомів навчання [1; 2].

Технологія індивідуалізованого навчання передбачає організацію навчального процесу, при якій індивідуальний підхід і індивідуальна форма навчання є пріоритетними.

Різні аспекти індивідуалізації навчання відображені в роботах М. І. Осмолівської, В. Ф. Шаталова, Я. І. Якиманської, М. В. Каленика та інших.

Незважаючи на досить велику кількість досліджень, присвячених як проблемам індивідуалізації так і використанню технологічного підходу в навчанні, проблема, пов'язана з реалізацією індивідуалізованого підходу на основі використання сучасних технологій навчання в цілому і навчання фізики зокрема в достатній мірі не розроблялася.

Актуальність дослідження обумовлена суперечностями, що існують в сучасній педагогічній теорії та практиці викладання фізики: між потребою суспільства в утвореній, розвиненій особистості і відсутністю сучасних методик, що реалізують індивідуалізований підхід в навчанні на основі використання різних технологій навчання, які сприяють підвищенню якості освіти та розвитку особистості школярів; між масовим характером навчання та індивідуальним способом засвоєння знань учня.

#### **Список використаних джерел**

1. Артюгіна Т. Ю. Современные образовательные технологии: изучаем и применяем: учеб. - метод. пособие / авт. Т. Ю. Артюгіна. – Архангельск: АО ИППК РО, 2009. – 58 с.
2. Буйлова Л. Н. Современные педагогические технологии в дополнительном образовании детей. – М., 1999. – 24 с. – Серия «Библиотека педагога - практика».

*Рекомендовано до публікації кандидатом педагогічних наук, доцентом Калеником М.В.*

**Салтикова А. І.**  
кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
**Лохоня М. М.**  
магістрант, спеціальність «014 Середня освіта. Фізика»  
Сумський державний педагогічний  
університет імені А.С.Макаренка  
м.Суми  
*n5515349@gmail.com*

## **МЕТОДИЧНІ ТРУДНОЩІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОЕКТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ У ЗАГАЛЬНООСВІТНІХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ**

Ефективним засобом формування предметної й ключових компетентностей учнів у процесі навчання фізики є навчальні проекти. Використання проектної технології передбачає особистісно-орієнтовану та діяльнісну складові, що забезпечує навчальним проектам провідне місце у навчальному процесі. Навчальні проекти є важливим інструментом для створення нового середовища набуття умінь та навичок не тільки учнів, а й педагогів. Самі проекти допомагають глибше зрозуміти певне досліджувану проблему та знайти її ефективний розв'язок. У самому процесі дослідницької діяльності особливу увагу звертають на створення освітнього середовища та розробку моделі, спрямованої на розвиток особистості, як творця і проектувальника свого життя. Позитивний ефект від використання навчальних проектів можливий тільки при правильній організації педагогом навчального процесу. При цьому слід указати і на деякі методичні труднощі використання проектної технології:

1. Підготовка проекту займає досить значний проміжок часу – від 1 до 1,5 місяців.
2. Прослідковується трудність у налаштуванні учнів до самостійної роботи та дослідженні декількох джерел інформації.
3. Важко слідкувати та контролювати сам процес навчання, а результат діяльності учнів не завжди є ефективний.
4. У разі не добросовісного ставлення до проекту учнем та самим педагогом виникає потреба у перенавчанні, що у свою чергу потребує додаткового часу.
5. У групових проектах може спостерігатися ситуація намагання одними учнями перекинути свої завдання іншим, тому є проблема оцінювання результатів роботи.

Для подолання цих негативних сторін, педагогу треба самому бути добре підготовленим до використання проектної технології і налаштувати на співпрацю учнів. Слід поступово включати елементи проектної технології у навчальний процес. У процесі вибору тематики проектів, важливо брати до уваги інтерес самих учнів до певних питань з

навчального матеріалу. Не менш важливим є фактор пояснення правил проведення та створення проекту учнями. Не потрібно забувати і про фактор особистісно – орієнтованого підходу до кожного учня, щоб змотивувати високий потенціал до навчання та власного або спільного дослідження питання. Сам педагог повинен створити умови і довести до учнів, що проект – це, в першу чергу, їх творчість і можливість для самовдосконалення, а також засіб пізнання подій, процесів, явищ, які вони можуть спостерігати у реальному житті.

Педагог має стати рівноправним учасником навчально-наукової діяльності. Сумлінний підхід педагога до використання навчальних проектів забезпечить формування різноманітних позитивних якостей у кожного учня та створить основу для подальшого розвитку та самовдосконалення його талантів. Саме ж застосування проектів сприятиме виробленню практичних навичок, що є дуже важливим у сучасному суспільстві, де людина ціниться не за самі знання, а за можливість ефективно користуватися ними у житті.

#### **Список використаних джерел**

1. Романовська М. Б. Метод проектів у навчальному процесі. – Х.: Веста: Видавництво «Ранок», 2007. – 160с.
2. Логвин В. Метод проектів у контексті сучасної освіти // Сучасні шкільні технології. Ч.2. – К., 2004. – С. 5-10 .
3. Жук О.Л. Педагогика: Учеб.-метод. комплекс для студентів пед. спеціальностей / О.Л.Жук. – Мн.: БГУ, 2003. – 383с.
4. Пехота О. М. Освітні технології : навч.-метод. посіб. / О. М. Пехота, А. З. Кіктенко, О. М. Любарська та ін.; за ред. О.М. Пехоти. – К. : АСК, 2004. – 256 с.

**Свиридюк Г. Ю.**

студент, спеціальність «132 Матеріалознавство»,

**Фурс Т. В.**

кандидат технічних наук, доцент

Луцький національний технічний університет,

м. Луцьк

*t.furs@ukr.net*

## **ВПЛИВ $\beta$ -ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОНОКРИСТАЛІВ $PbI_2$**

Монокристали дийодиду свинцю ( $PbI_2$ ) є предметом фундаментальних досліджень як в науковому, так і в прикладному аспектах. Підвищений науковий інтерес до  $PbI_2$  обумовлений перспективами використання даного матеріалу для створення детекторів, призначених для реєстрації

іонізуючого, в тому числі рентгенівського і низько енергетичного  $\gamma$ -випромінювання [1, 2].

Мета даної роботи полягала у дослідженні вольт-амперних характеристик зразків  $PbI_2$  при впливі  $\beta$ -випромінювання. Передбачалося встановити чутливість монокристалів  $PbI_2$  до такого роду випромінювання.

Залежності знімалися при кімнатній температурі. У якості джерела  $\beta$ -випромінювання використовувався радіоактивний  $\beta$ -препарат  $Sr^{90}$ , товщина шару половинного поглинання якого становить 0,11мм.

Зразки розміром  $3 \times 5 \text{ мм}^2$  і товщиною 1,5...2мм виготовляли із середньої частини монокристалічних зливків  $PbI_2$ , вирощених за методом Бріджмена-Стокбаргера у вертикальній двосекційній ростовій установці (печі) [3]. У якості контактів використано хімічно інертну електропровідну пасту на основі колоїдного графіту, солей паладію та полімерного наповнювача.

З вигляду отриманих ВАХ можна зробити висновок, що у процесі  $\beta$ -опромінювання електропровідність зразків  $PbI_2$  зменшується. І якщо в початковий момент часу дії  $\beta$ -опромінювання ВАХ характеризується ще лінійною залежністю (крива 1, рис. 1), то при збільшенні тривалості опромінення відбувається порушення її лінійності (криві 2, 3, 4 на рис. 1).

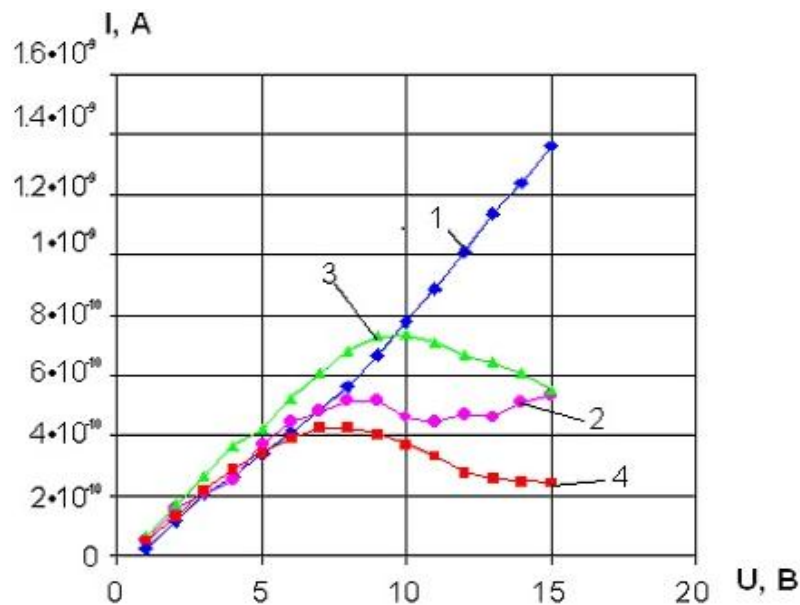


Рис. 1. ВАХ зразків  $PbI_2$  у процесі  $\beta$ -опромінювання:

1 – у початковий момент дії  $\beta$ -випромінювання;

2 – тривалість опромінювання 1 год.;

3 – тривалість опромінювання 2 год.;

4 – тривалість опромінювання 3 год.

Зниження електропровідності і поява немонотонності кривих ВАХ при збільшенні інтегральної дози опромінення пояснюється зіткненням і взаємодією основних носіїв зарядів з дефектами кристалічної структури,

що відіграють роль так званих пасток із захопленням носіїв струму. Дія  $\beta$ -випромінювання призводить до зменшення концентрації і рухливості носіїв електричного струму. Під час  $\beta$ -опромінення зразків  $\text{PbI}_2$  описані вище процеси постійно змінюються, що відображається зміною ходу кривих вольт-амперних характеристик.

На основі отриманих експериментальних результатів за зміною електричних характеристик (ВАХ), можна зробити висновок про чутливість монокристалів  $\text{PbI}_2$  до  $\beta$ -випромінювання.

#### Список використаних джерел

1. Zhu X. Fabrication and characterization of X-ray array detectors based on polycrystalline  $\text{PbI}_2$  thick films / X. Zhu, H. Sun, D. Yang, J. Yang, X. Li, X. Gao // J. Mater Sci: Mater Electron (2014) 25:3337 – 3343.
2. X.H. Zhu, H. Sun, D.Y. Yang, X.L. Zheng, Nucl. Instrum. Methods A 691, 10 (2012).
3. Федосов А.В. Вирощування кристалів дийодиду свинцю із розплаву / А.В. Федосов, О.З. Калуш, Т.В. Філюк. // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка"). - Луцьк: ЛДТУ. - 2002. - Вип. 11. - Ч.2. - С. 88-97.

**Скороход Р. В.**

аспірант, спеціальність «104 Фізика та астрономія»,  
Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України,  
м. Суми  
*r.skorokhodqq@gmail.com*

### **МОДЕЛЮВАННЯ РАДІАЦІЙНО-ІНДУКОВАНОЇ СЕГРЕГАЦІЇ В ПОТРІЙНИХ КОНЦЕНТРОВАНИХ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВАХ**

Одним із наслідків опромінення металевих сплавів при підвищених температурах є просторовий перерозподіл компонентів сплавів, що може привести до збагачення або збіднення домішкових та легуючих елементів поблизу стоків дефектів, таких як: вільні поверхні, дислокації, пори, міжзеренні межі та межі між фазами [1]. Це явище називається радіаційно-індукованою сегрегацією (РІС) і негативно впливає на ряд фізико-хімічних та механічних властивостей металевих сплавів. Важливу роль в явищі РІС відіграє сукупність міжзеренних меж в металевому сплаві, структура яких сильно впливає на просторовий перерозподіл точкових дефектів та компонентів сплаву [2].

Для теоретичного опису РІС використано модель, яка базується на першому та другому законах Фіка з врахуванням оберненого ефекту Кіркендала. Міжзеренну межу з малим кутом розорієнтації в цій моделі представлено як набір крайових дислокацій. Для чисельного розв'язку

системи чотирьох зв'язаних диференціальних рівнянь у частинних похідних, яка визначає часову та просторову еволюцію точкових дефектів та компонентів трикомпонентного сплаву Fe-Cr-Ni, розроблений комп'ютерний код, який базується на запропонованому в роботі [3].

Метою даної роботи є отримання концентраційних профілів точкових дефектів та компонентів трикомпонентного сплаву Fe-Cr-Ni при різних умовах опромінення та набраних дозах. Також в роботі продемонстровано процес досягання стаціонарного стану при збільшенні дози опромінення. Одержані профілі концентрацій точкових дефектів та компонентів сплаву Fe-Cr-Ni порівнюються з концентраційними профілями, які розраховані в рамках моделі, яка не враховує міжзеренну межу.

Робота виконана за рахунок коштів бюджетної програми “Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень” (КПКВК 6541230).

#### **Список використаних джерел**

1. Was G.S. Fundamentals of Radiation Materials Science: Metals and Alloys. – New York: University of Michigan, Springer, 2007. – 828 p.
2. Field K.G., Yang Y., Allen T.R., Busby J.T. Defect sink characteristics of specific grain boundary types in 304 stainless steels under high dose neutron environments // Acta Mater. – 2015. – Vol. 89. – P. 438–449.
3. Skorokhod R.V., Buhay O.M., Bilyk V.M., Denysenko V.L., Koropov O.V. Modeling radiation-induced segregation in binary alloys // EEJP. – 2018. – Vol. 5. – No. 1. – P. 61-69.

**Ткаченко Ю. А.**

аспірантка, спеціальність «014 Середня освіта. Фізика»,  
Сумський державний педагогічний  
університет імені А. С Макаренка  
м. Суми  
*julia.tkachenko.0301@gmail.com*

## **НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНА ГРАМОТНІСТЬ В КОНТЕКСТІ НАНОНАУКИ І НАНОТЕХНОЛОГІЙ**

Сьогодні нанонаука і нанотехнології це галузь знань, що швидко розвивається. У зв'язку з цим науковці, підприємці, державні діячі технологічно розвинених країн світу наполягають на необхідності нанотехнологічної освіти. При цьому у працях науковців основною тезою є формування в інженерів, винахідників та інших кваліфікованих працівників наукової і/або технологічної грамотності [7; 3]. Зокрема Antti Laherto [6], Robert Yawson [8] розуміючи, що нанонаука та нанотехнології мають величезний вплив на сучасний технологічний розвиток і



вважаються ключовими технологіями XXI-го століття, наголошують на необхідності формування саме нанотехнологічної грамотності.

Тривалий час під «грамотністю» розуміли здатність читати й писати. Проте у XXI столітті поняття «грамотність» не лише змінило сутність (грамотність як процес набуття базових когнітивних навичок і використання цих навичок для соціально-економічного розвитку, для формування соціальної свідомості й критичного осмислення як основи особистих і соціальних змін [2]), а й виділилися окремі напрямки такі як, наприклад, інформаційна грамотність, цифрова грамотність, веб-грамотність, фінансова грамотність, наукова грамотність, технологічна грамотність тощо.

Досить часто наукову і технологічну грамотність розглядають як окремі поняття, проте останнім часом науковці [4] пропонують розглядати їх інтегровано, оскільки розвиток науки й технологій тісно взаємопов'язані.

Відповідно до рекомендацій розроблених OECD для Програми міжнародного оцінювання учнів (PISA) наукова грамотність – це наукові знання особистості та використання цих знань для виявлення нерозв'язаних питань, отримання нових знань, пояснення наукових явищ, а також для обґрунтування висновків, пов'язаних з різними науковими ідеями, розуміння характерних особливостей науки як форми людського знання, усвідомлення того, як наука і технології формують наше матеріальне, інтелектуальне і культурне середовище, і готовність брати участь у вирішенні питань пов'язаних з наукою, а також з ідеями науки, як рефлексивний громадянин [1].

Відповідно до означення поданого International Technology Education Association технологічна грамотність передбачає здатність використовувати, управляти, оцінювати та розуміти технологію для виконання широкого спектра функцій [5].

Тобто наявність наукових знань, розуміння взаємозв'язку між наукою і технологіями, уміння їх застосовувати, а також ціннісне ставлення до науки й технологій є центральними компонентами єдиної науково-технологічної грамотності.

Взаємопов'язаний розвиток науки й технологій помітно прослідковується у розробках і дослідженнях, що стосуються нанонауки й нанотехнологій. Тому доцільно розглянути науково-технологічну грамотність в контексті нанонауки й нанотехнологій.

Як відомо, нанонаука є міждисциплінарною галуззю знань, що виникла і розвивається на основі традиційних дисциплін: фізики, хімії, біології. Крім того, перспективи розвитку нанонауки й нанотехнологій пов'язують саме з міждисциплінарністю. Передбачається, що нанотехнології дозволять вирішити проблеми пов'язані зі здоров'ям, енергетикою, навколишнім середовищем тощо. Проте на сьогодні достеменно невідомий негативний вплив нанотехнологічних розробок.

Враховуючи усі ці аспекти можна говорити про нанонаукову й нанотехнологічну грамотність учнів як компонент єдиної науково-технологічної грамотності: базові знання з нанонауки й нанотехнологій, здатність використовувати ці знання для вирішення питань пов'язаних з наукою і застосуванням досягнень нанотехнологій, розуміння міждисциплінарного характеру нанонауки й нанотехнологій, а також позитивного і негативного впливу на здоров'я та навколишнє середовище, ціннісне ставлення до досягнень нанонауки й нанотехнологій.

Отже, сьогодні шкільна освіта спрямована в основному на формування наукової грамотності, але повсякденне життя більше пов'язане з технологічними процесами. Шкільна освіта має реагувати на вимоги нового часу і готувати науково і технологічно грамотних громадян, які будуть компетентними й успішними у світі, де домінує наука і техніка, а останнім часом і в найближчому майбутньому – нанонаука й нанотехнології. У той же час, формування в учнів уявлень про нанотехнології дозволить підвищити обізнаність та інтерес населення до нанотехнологій, а також мотивувати учнів до вибору професії пов'язаної з нанотехнологіями чи суміжними галузями знань. Визнання суспільством перспективності й необхідності розвитку нанонауки й нанотехнологій вимагатиме від держави збільшення фінансування досліджень у цій галузі, а результатом будуть інновації у науці й технологіях, що є основою економічного зростання країни.

#### **Список використаних джерел**

1. Assessing Scientific, Reading and Mathematical Literacy: A Framework for PISA 2006. Paris: OECD Publishing, 2006. 192 p.
2. Education for All. Literacy for life – Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2005. 448 p.
3. Holbrook J. Education through science as a motivational innovation for science education for all // Science Education International. 2010. №21. P. 80–91.
4. Holbrook J. Operationalising scientific and technological literacy: A new approach to science teaching // Science Education International. 1998. № 9(2). P. 13-19.
5. International Technology Education Association. Technological literacy for all: A rationale and structure for the study of technology. Reston, VA: Author, 2006.
6. Laherto A. An analysis of the educational significance of nanoscience and nanotechnology in scientific and technological literacy // Science Education International. 2010. № 21(3). P. 160–175.
7. Stevens S., Delgado C., Krajcik J. Developing a hypothetical multi dimensional learning progression for the nature of matter // Journal of Research in Science Teaching. 2010. № 47(6). P. 687-715.
8. Yawson R. An epistemological framework for nanoscience and nanotechnology literacy // International Journal of Technology and Design Education. 2010. Vol. 22. P. 1–14.

*Рекомендовано до публікації доктором педагогічних наук, професором Морозом І.О.*

**Трофименко Я. В.**  
молодший науковий співробітник,  
**Данильченко С.М.**  
кандидат фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник  
Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України  
м.Суми  
*ja.v.trofimenko@gmail.com*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПОГЛИНУТОЇ ДОЗИ ДОЗИМЕТРОМ ФРИККЕ**

Для роботи з біологічними об'єктами, які піддаються впливу іонізуючого випромінювання, потрібно знати поглинену дозу. Одним із методів визначення і контролю останньої є хімічний дозиметр Фрикке.

В основі методу є протікання необоротних хімічних реакцій, під час яких двовалентний ферум  $Fe^{2+}$  окислюється до тривалентного  $Fe^{3+}$  продуктами радіолізу води в кислому водному розчині. Для визначення концентрації іонів  $Fe^{3+}$  використовують, як один із методів, пряме спектрофотометричне визначення  $Fe^{3+}$  в ультрафіолетовій області спектра. Вимірюванні концентрації утворених іонів  $Fe^{3+}$  пропорційні поглиненій дозі, вимірювання якої дають результати, близькі до поглиненої дози для біологічних тканин; тканееквівалентність заснована на тому, що в якості робочого середовища застосовується водний розчин [1].

Дозиметр Фрикке – це вимірювальний прилад, що застосовується для визначення великих доз іонізуючого випромінювання. В одній з реалізацій прилад складається з прозорої кювети (приблизні розміри: діаметр 15 мм, висота 30 мм), в яку налитий водний розчин ферум (II) сульфат  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  (концентрація  $1 \cdot 10^{-3}$  моль/л) з додаванням сульфатної кислоти  $H_2SO_4$  (0,4 моль/л, тобто з концентрацією 0,8 н) і натрій хлорид  $NaCl$  ( $1 \cdot 10^{-3}$  моль/л).

Вимірювання концентрації іонів  $Fe^{3+}$  після опромінення кювети проводиться на спектрофотометрі SPECOL 1500, зазвичай на довжині хвилі  $\lambda$  304 і 307 нм (рис. 1). Визначивши оптичну щільність  $E-E_0$  розчину щодо неопроміненого дозиметра можна обчислити поглинуту дозу.

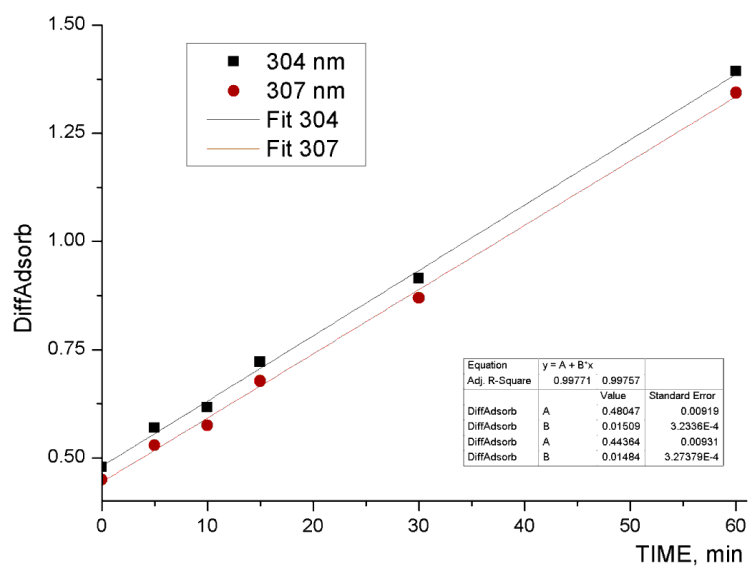


Рис.1 Залежність оптичної щільності  $Fe^{3+}$  від часу

В результаті проведених експериментів і розрахунків отримано лінійну залежність поглинутої дози від часу (рис.2.), що співпадає з літературними джерелами [1].

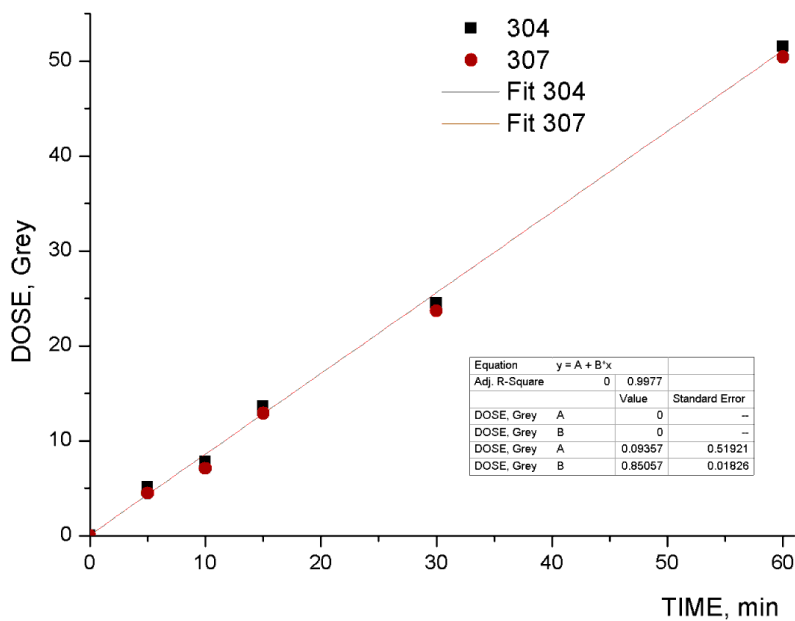


Рис.2 Залежність поглинутої дози від часу

В подальшому дослідженні феросульфатного дозиметру планується калібрування поглинутої дози до експозиції часу, а також до зміни об'єму розчину.

### Список використаних джерел

1. Adliene D. Dosimetry principles, dose measurements and radiation protection / D. Adliene, R. Adlyte // Applications of ionizing radiation in materials processing / edited by Y. Sun and A. G. Chmielewski. – Vol.1. – Warszawa: Institute of Nuclear Chemistry and Technology, 2017. – P. 55–80.

**Фоміна О. М.**

магістрантка, спеціальність «014 Середня освіта. Фізика»

Сумський державний педагогічний  
університет імені А.С.Макаренка,

м. Суми

*lenusguffy@yandex.ru*

## ВИКОРИСТАННЯ ЦІКАВИХ ДОСЛІДІВ ПРИ ВИВЧЕННІ ФІЗИКИ В ЗАГАЛЬНООСВІТНІЙ ШКОЛІ

Відомо, що фізика є основою технічного прогресу, запорукою безпеки держави та її економічного розвитку. Соціально-економічні зміни, які відбуваються в суспільстві постійно вносять корективи в мету навчання, яка впливає на зміст освіти. Йде переорієнтація учнівської молоді на предмети гуманітарного циклу. Школи переходять на процес диференційованого навчання. Цілий ряд явищ в суспільстві викликає зниження інтересу та вивчення предметів природничо-математичного циклу, зокрема фізики, а без фундаментальної фізико-математичної підготовки молодь не зможе ефективно сприяти науково-технічному прогресу, і як результат, соціально-економічному [1].

Як показують результати ЗНО, Сумська область декілька років назад виявилась на останньому місці по рівню знань з фізики. Незважаючи на реформи в освітній галузі, мало хто з випускників-відмінників та хорошистів хочуть в майбутньому стати вчителями фізики. На це є багато причин. А саме наявність інтересу і, зокрема, проведення цікавих дослідів, лабораторних робіт, розрахункових задач з фізики, які з початкових класів зацікавили б учнів напрямком наукового або методичного дослідження в області фізики.

Не науку перетворювати в забаву, а, навпаки, забаву ставити на службу навчання. До того ж, розкриваючи несподівані сторони в нібито знайомих предметах, метод цікавої науки поглиблює розуміння і підвищує спостережливість [2].

Тому актуальним є питання створення та стимулювання інтересу до фізики як навчального предмета. Лише за наявності інтересу можливий перехід від зовнішньо зумовленої потреби у навчанні у потребу, яку учні сприйняли. Точкою відліку при вивченні предмету, який викликає інтерес, є задоволення певних потреб, як правило таких, які пов'язані з емоціями та почуттями.

Очевидно, можна запропонувати цікаві досліди з фізики, які, наприклад, базуються на відомій книзі Якова Перельмана «Цікава фізика». Для цього пропонуємо в кожному класі проводити вечори цікавої фізики з використанням демонстрацій. Таким чином, якщо вчитель сам зрозумів головну мету цих дослідів, розробив методику їх демонстрацій, то й учні у такого вчителя будуть не лише вміти реалізовувати ці демонстрації, а й сформулюють інтерес до вивчення фізики з використанням наочних фізичних приладів.

#### **Список використаних джерел**

1. Ермаков Д. А. Образование для устойчивого развития // Педагогика. – № 9, 2006. – С. 23-29
2. Перельман Я. И. Занимательная физика. Книга 1. – М.: Наука., 1983. – 224 с.  
*Рекомендовано до публікації кандидатом фізико-математичних наук, доцентом Стадником О.Д.*

**Хелемеля О. В.**

кандидат фізико-математичних наук,  
молодший науковий співробітник,  
Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України  
м. Суми  
*oleksiiKhel@gmail.com*

### **ВПЛИВ СИЛЬНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ ТА АНІЗОТРОПНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ВТРАТИ ІОНА**

Квантово-польовий підхід із перших принципів дає можливість врахувати вплив на енергетичні втрати як температури електронного газу, так і зовнішнього магнітного поля. Вплив перелічених факторів є ключовим для експериментів з використанням електронного охолодження.

Аналітичні вирази для уявної та дійсної частин діелектричної сприйнятливості магнітоактивного електронного газу з анізотропним розподілом електронів за швидкостями

$$\text{Im}\kappa(\vec{k}, \omega)_s = -\frac{1}{4} \sqrt{\frac{m_e}{2\pi\tau_{\parallel}}} \frac{\omega_p^2}{\hbar k_z} \frac{m_e}{k^2} \exp\left(-a^2 \frac{1 + \exp(-\beta)}{1 - \exp(-\beta)}\right) \sum_{s=-\infty}^{\infty} I_s \left(2a^2 \frac{\exp(-\beta/2)}{1 - \exp(-\beta)}\right) \times \exp\left\{\frac{-s\beta}{2}\right\} \left(\exp\left\{-\left(\xi_1 + \xi_{hs}\right)^2\right\} - \exp\left\{-\left(\xi_2 - \xi_{hs}\right)^2\right\}\right) \quad (1)$$

$$\text{Re}\kappa(\vec{k}, \omega)_s = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{m_e}{2\pi\tau_{\parallel}}} \frac{\omega_p^2}{\hbar k_z} \frac{m_e}{k^2} \exp\left(-a^2 \frac{1 + \exp(-\beta)}{1 - \exp(-\beta)}\right) \sum_{s=-\infty}^{\infty} I_s \left(2a^2 \frac{\exp(-\beta/2)}{1 - \exp(-\beta)}\right) \exp\left\{-\frac{s\beta}{2}\right\} \times \left[\exp\left\{-\left(\xi_1 + \xi_{hs}\right)^2\right\} \text{erfi}(\xi_1 + \xi_{hs}) - \exp\left\{-\left(\xi_2 - \xi_{hs}\right)^2\right\} \text{erfi}(\xi_2 - \xi_{hs})\right] \quad (2)$$

$$\xi_{jh} = \xi_j - \xi_h = \frac{1}{k_z} \sqrt{\frac{m_e}{2T_e}} \left(\omega + (-1)^{j-1} \hbar k_z^2 / 2m_e - s\omega_H\right), \quad j = 0, 1,$$

де  $\beta = \hbar\omega_H / T_{e\perp}$ ,  $a^2 = (\hbar^2 k_{\perp}^2 / 2m_e)(1/\hbar\omega_H)$ .

Рівняння (1) і (2) справедливі для довільних значень напруженості магнітного поля і повздовжньої та поперечної температур електронного газу.

Сильне магнітне поле подавляє поперечний тепловий рух електронів, тому виходячи з виразів для діелектричної сприйнятливості достатньо врахувати кілька перших переходів між рівнями Ландау. На рис. 1 представлені чисельні розрахунки гальмівної здатності замагніченого електронного газу для випадку повної замагніченості,  $\beta \gg 1$ .

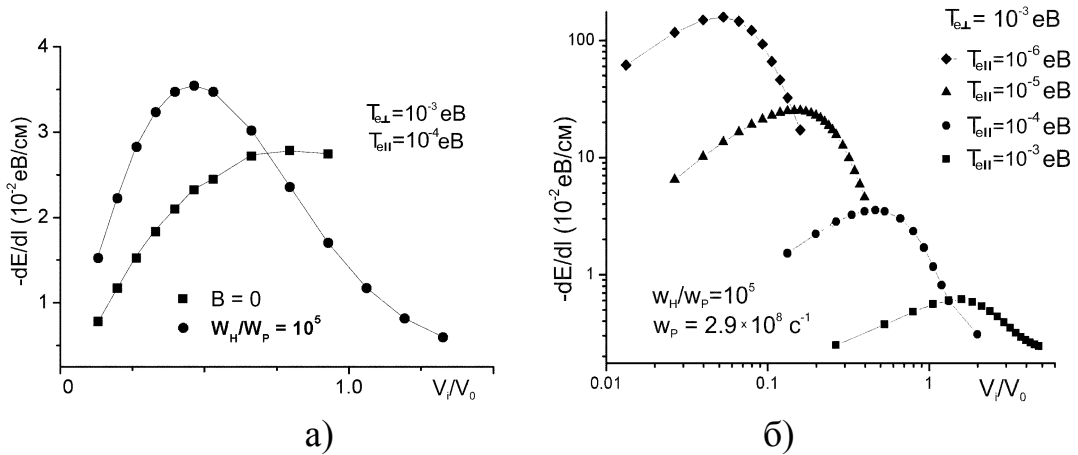


Рис. 1: Залежність гальмівної здатності  $dE/dl$  від швидкості налітаючого іона у випадку повної замагніченості,  $\beta \gg 1$ , електронного газу з анізотропною температурою: а)  $T_{\perp} = 10^{-3}$  еВ,  $T_{\parallel} = 10^{-4}$  еВ: квадрати — без магнітного поля, круги — з сильним магнітним полем; а) Поперечна температура фіксована  $T_{\perp} = 10^{-3}$  еВ; повздовжня температура: квадрати —  $T_{\parallel} = 10^{-3}$  еВ, круги —  $T_{\parallel} = 10^{-4}$  еВ, трикутники —  $T_{\parallel} = 10^{-5}$  еВ, ромби —  $T_{\parallel} = 10^{-6}$  еВ. Швидкість вимірюється в одиницях  $V_0 = 10^6$  см/с

З рис.1. видно, що при швидкостях близьких до повздовжніх теплових швидкостей електронів в сильних магнітних полях в

електронному газі з анізотропним розподілом за швидкостями можливий ріст втрат енергії іона в кілька разів у порівнянні до ізотропного випадку.

#### Список використаних джерел

1. Ахиезер И.А. К теории взаимодействия заряженной частицы с плазмой в магнитном поле. Журнал экспериментальной и теоретической физики. т. 40, вып.3 (1961) с.954-962
2. Khelemelia O.V. The influence of the external magnetic field on energy losses of a charged particle in an electron gas / O.V. Khelemelia, R.I. Kholodov // Problems of atomic science and technology. – 2017. – №1. – P.68-71.

**Цапенко М. В.**

аспірантка, спеціальність «014 Середня освіта. Фізика»,  
Сумський державний педагогічний  
університет імені А. С. Макаренка,  
м. Суми  
*TMVasil@gmail.com*

## СТРУКТУРА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖУВАЛЬНА КОМПЕТЕНТНІСТЬ УЧНІВ ОСНОВНОЇ ШКОЛИ

Одним із перших кроків реалізації реформи НУШ в Україні стало ухвалення у вересні 2017 року нового закону “Про освіту”, який регулює основні засади нової освітньої системи. На черзі – ухвалення нового закону “Про загальну середню освіту”, в якому буде більш детально розкрито зміни, які відбуватимуться в освіті. Для учнів це означає суттєві зміни у підходах до навчання та змісту освіти. Замість запам’ятовування фактів і їх репродуктивне відтворення, учні набуватимуть компетентностей. Список ключових компетентностей був укладений з урахуванням «Рекомендації Європейського Парламенту та Ради Європи щодо формування ключових компетентностей освіти впродовж життя» і закріплений законом «Про освіту»[3].

Відповідно до нового підходу головна мета навчання фізики учнів основної школи полягає у розвитку особистості учнів засобами фізики як навчального предмета, зокрема, завдяки формуванню в них предметної компетентності на основі фізичних знань, наукового світогляду й відповідного стилю мислення. Сьогодні новим показником якості освіти визначено компетентність, про це йдеться у наказі МОН України “Про затвердження орієнтовних вимог оцінювання навчальних досягнень учнів із базових дисциплін у системі загальної середньої освіти” [2].

В основі компетентнісного підходу лежить ідея діяльнісного характеру освіти і навчальна діяльність повинна бути спрямована на формування в учнів



компетентностей, в яких знання підпорядковуються практичній потребі [1]. На актуальності формування енергозберезувальної компетентності на уроках фізики наголошено в [5].

Проте на сьогодні у вітчизняних наукових виданнях не має чіткого визначення поняття «енергозберезувальна компетентність» саме учнів основної школи. Тому на шляху до побудови моделі енергозберезувальної компетентності потрібно сформулювати визначення цього поняття. Аналізуючи роботи сучасних вітчизняних і зарубіжних дослідників [4,6], потрібно виділити загальні підходи до формування структури енергозберезувальної компетентності і, на наш погляд, структура енергозберезувальної компетентності учнів основної школи повинна включати саме такі аспекти:

- 1) ціннісний аспект, виявляється в особистому ставленні та розумінні цінності знань і власних дій;
- 2) когнітивний аспект, володіння теоретичними та практичними знаннями;
- 3) мотиваційний аспект, готовність до цілеспрямованої дії;
- 4) діяльнісний аспект включає такі характеристики особистості як продуктивність ті вміння застосувати знання з енергозберезування та енергоефективності в різних видах діяльності;
- 5) результативність, як реалізація компетентності.

Енергозберезувальна компетентність – це набута у процесі навчання інтегративна характеристика учня, пов'язана зі здатністю розуміти цінність енергетичних ресурсів, з необхідністю підтримувати навколишнє середовище як джерело енергетичних ресурсів, з володінням знаннями щодо основ енергозберезування та навичками енергоефективної поведінки, та готовністю до активних дій і приймати рішення щодо ресурсозберезування.

Формування енергозберезувальної компетентності, очевидно, потребує кропіткої теоретично-методичної роботи та створення методичної моделі формування енергозберезувальної компетентності. Для ефективного формування відповідної компетентності в учнів, її повинні мати, в першу чергу, вчителі, тому доцільно розглядати формування енергозберезувальної поведінки не тільки в учнів основної школи, а також в учителів і студентів педагогічних університетів.

#### **Список використаних джерел**

1. Андреев А. Л. Компетентностная парадигма в образовании: опыт философско-методологического анализа. Педагогика. 2005, №4. С.19-27.
2. МОН України, Наказ Міністерства. "№ 1222 від 21.08. 2013" Про затвердження орієнтовних вимог оцінювання навчальних досягнень учнів із базових дисциплін у системі загальної середньої освіти. URL:[http://old.mon.gov.ua/img/zstored/files/НаказМОНвід21\\_08\\_2013\\_1222](http://old.mon.gov.ua/img/zstored/files/НаказМОНвід21_08_2013_1222). (Дата звернення 30.04.2019).
3. Закон. "Про освіту» від 05.09. 2017 № 2145-VIII." Відомості Верховної Ради (ВВР) 38-39. 2017: 2145-19.

4. Хуторской А. В. Ключевые компетенции как компонент личностно ориентированной парадигмы образования. Народное образование. 2003. № 2. С. 58–64.
5. Цапенко М.В., Мороз І.В. Актуальність формування енергозберезувальної компетентності учнів на уроках фізики. Физико-математическое образование. 2017, 2(16). С.141-146.
6. Zeer, E., Symaniuk, E., Pecherkina, A., Stepanova, A., & Symaniuk, N. 2016. The model of creation of energy-saving competence of students of high school. In E3S Web of Conferences Vol. 6, p. 03007. EDP Sciences.

*Рекомендовано до публікації доктором педагогічних наук, професором Морозом І.О.*

**Шульженко А. В.**

молодший науковий співробітник  
Інститут прикладної фізики  
Національної академії наук України,  
м. Суми  
*tol937610@gmail.com*

## **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ РЕЗЕРФОРДІВСЬКОГО ЗВОРОТНОГО РОЗСІЮВАННЯ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ РОЗПЛАВЛЕНИХ МЕТАЛІВ**

Спектроскопія Резерфордівського зворотного розсіювання (англ. Rutherford backscattering spectroscopy) - різновид спектроскопії іонного розсіювання, заснована на аналізі енергетичних спектрів іонів He<sup>+</sup> або протонів з енергією ~ 1-3 MeV, розсіяних в зворотному напрямку по відношенню до досліджуваного зразка.

Спектроскопія Резерфордівського зворотного розсіювання, як і спектроскопія іонного розсіювання, дозволяє отримувати інформацію про хімічний склад і кристалличности зразка як функції відстані від поверхні зразка (глибини), а також про структуру поверхні монокристалічного зразка. Основною особливістю методу є використання високоенергетичних іонів, що проникають глибоко всередину твердого тіла і розсіюються назад від глибоко лежачого атома. Енергія, втрачена іоном в цьому процесі, являє собою суму двох вкладів. По-перше, це безперервні втрати енергії при русі іона вперед і назад в обсязі твердого тіла (так звані втрати на гальмування). Швидкість втрати енергії на гальмування (stopping power, dE / dx) для більшості матеріалів добре відома, що дозволяє перейти від шкали енергій до шкали глибин. По-друге, це разова втрата енергії в акті розсіювання, величина якої визначається масою розсіює атома.

Для дослідження чистих металів та бінарних сплавів на основі вісмута і олова у рідкій фазі був вибраний метод РЗР. Перші експерименти, які були проведені з розплавленими металами показали, що даний метод дослідження дає змогу проводити аналіз як на плоских зразках у твердій фазі, так і на розплавлених металах сферичної форми.

Аналіз зразків бінарних сплавів та чистих зразків з вісмуту показав, що РЗР вихід починає зростати при підвищенні температури зразків і стає максимальним при переході зразка до рідкої фази. Скоріше за все це пов'язано з тим, що при переході у рідку фазу на поверхні металу зникає шорсткість і поверхня стає дзеркальною. Залежність виходу РЗР сплаву висмут-олово від температури представлена на рис.1. Температура плавлення даного сплаву 160 градусів цельсія.

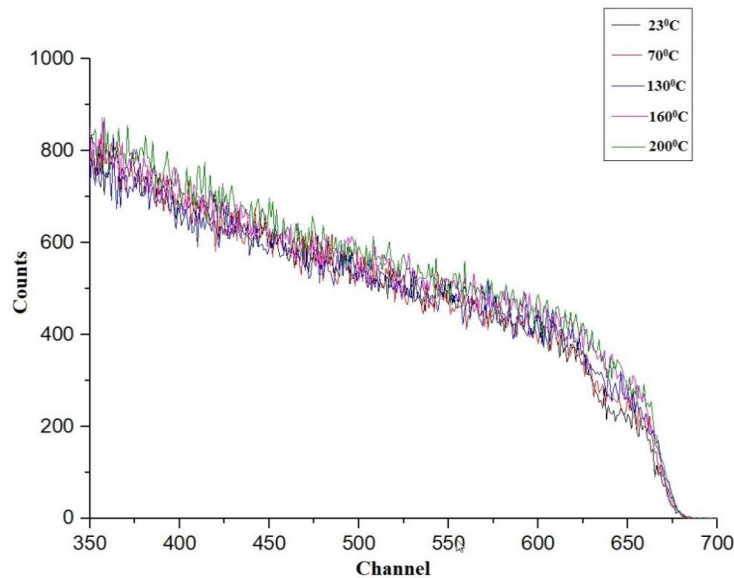


Рис.1. Залежність виходу РЗР від температури

Для того, щоб перевірити припущення про вплив шорсткості поверхні зразка на енергетичний вихід був проведений експеримент на плоских зразках чистого вісмуту з різною шорсткістю поверхні. На рисунку 2 представлені результати експерименту. Більше значення Р відповідає меншій шорсткості поверхні.

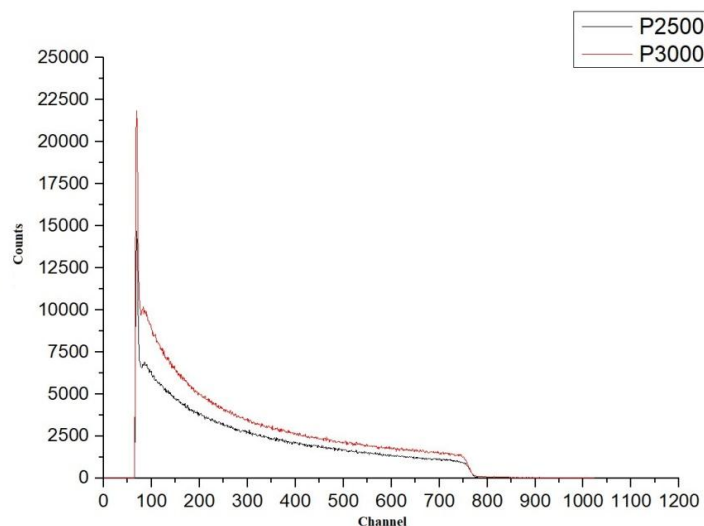


Рис.2. Залежність виходу РЗР від шорсткості поверхні

На рис.2 видно, що енергетичний вихід залежить від стану поверхні досліджуваного зразка.

Результати експерименту та моделювання у програмному пакеті SimNRA показали, що метод РЗР можна застосовувати для дослідження поверхні розплавлених металів.

**Бессмертная О. С.**

магистрант, спеціальність «132 Матеріалознавство»,  
Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского  
г. Киев  
*olga.stan.bess@gmail.com*

**Кедровский С. Н.**

инженер 1-й категории  
Институт металлофизики имени Г.В. Курдюмова  
Национальной академии наук Украины  
г. Киев  
*sergeyv88001@gmail.com*

**Мовчан Д. Н.**

кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник  
Институт металлофизики имени Г.В. Курдюмова  
Национальной академии наук Украины  
г. Киев  
*deni@imp.kiev.ua*

**Коваль Ю. Н.**

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент  
Национальной академии наук Украины,  
Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова  
Национальной академии наук Украины  
г. Киев

## **ОСОБЕННОСТИ МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЗАКАЛЁННЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Zr-Ta**

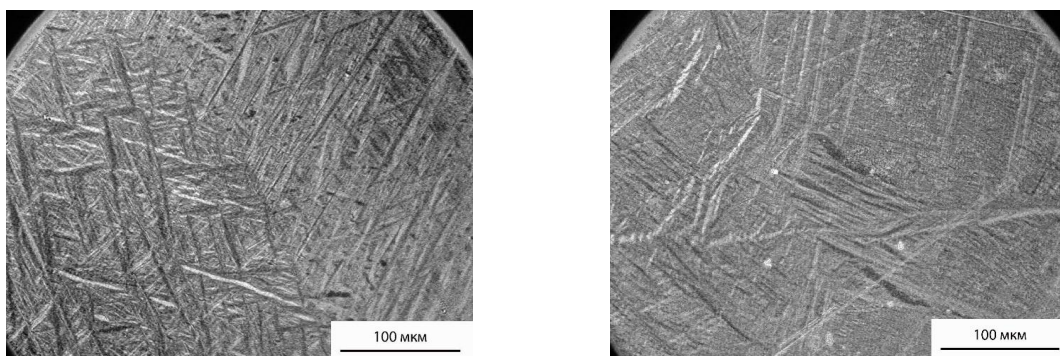
The aim of this work is to check existence of martensitic structure and shape memory effect in Zr-Ta alloys (with amount of Ta 6 and 10 at.%). Discovered, that both alloys have martensitic structure, but shape memory effect (SME) has been found in 6 at.% Ta alloy only.

В рамках исследования сплавов функционального назначения, изготовленных из биосовместимых элементов околотитановой группы, были рассмотрены сплавы системы Zr-Ta. Ожидается, что она может быть подобна своими свойствами к уже хорошо изученной системе Ti-Nb [1], в которой функциональные свойства реализуются за счёт механизма  $\beta \rightarrow \alpha''$  мартенситного превращения. По аналогии к этой системе было решено

перейти к системе Zr-Ta, где известно, что ОЦК фаза на основе  $\beta$ -Zr при охлаждении претерпевает мартенситное превращение. В сплавах, где концентрационный интервал тантала находится в пределах 7 – 11 ат.%, в процессе закалки от 1000 °С в ледяную воду, формируется орторомбическая  $\alpha''$  фаза. В сплавах с содержанием 3 – 6 ат.% Ta формируется гексагональная  $\alpha'$  фаза [2]. Существование эффекта памяти формы (ЭПФ) в сплавах данной системы раньше не было обнаружено. К тому же, эти элементы относятся к тем же группам, что Ti (IV<sub>b</sub> группа) и Nb (V<sub>b</sub> группа), но находятся в соседних периодах в таблице химических элементов. Тем самым, совершив переход к более тугоплавким элементам, возможно расширить температурный диапазон функциональных свойств, оставшись в «нестабильной зоне» концентрации валентных электронов (4-4,2 эл./ат.).

Для исследования фазового превращения  $\beta$ -фазы в  $\alpha'$ - или  $\alpha''$ -фазу и наличия ЭПФ было выбрано два сплава системы Zr-Ta с содержанием тантала 6 и 10 ат.% соответственно.

Особенностью мартенситного превращения в сплавах данной системы есть её метастабильность, то есть формирование мартенситной структуры происходит при высоких скоростях охлаждения. Именно поэтому образцы исследовались в закалённом состоянии ( $t_3 = 1100$  °С,  $\tau = 5$  мин., закалка в воду температуры 0 °С). Методом трёхточечного изгиба было исследовано температурную зависимость накопления и восстановления деформации от нагрузки. Было установлено, что восстановление формы для сплава системы Zr-Ta, который содержит 6% Ta, происходит не в полной мере, а  $k_{\text{ЭПФ}}=80$  %. Температуры прямого МП равны  $M_s = 160$  °С,  $M_f = 80$  °С, а обратного МП –  $A_s = 270$  °С,  $A_f = 320$  °С. В сплаве, где концентрация Ta составляет 10 %, возобновление формы не выявлено. Однако металлографический анализ структуры закалённых сплавов показал наличие мартенситной структуры в обеих системах (рис.1). Термоциклирование на протяжении 10 циклов показывает, что мартенситное превращение сохраняется.



а)

б)

Рис. 1 – Микроструктура закалённых от 1000 °С сплавов  $Zr_{94}Ta_6$  (а) и  $Zr_{90}Ta_{10}$  (б)

### Список использованных источников

1. Matthias Bönisch. Thermal stability and phase transformations of martensitic Ti–Nb alloys/ Matthias Bönisch, Mariana Calin, Thomas Waitz, Ajit Panigrahi and oth. // Sci. Technol. Adv. Mater. 14 (2013) 055004 (9pp);
2. Структура циркония и его сплавов / [Добромыслов А.В., Талуц Н.И]. – УрО РАН, 1997. – 55 с.

**Полищук А. В.**

аспирант, специальность «104 Физика и астрономия»,

**Кульментьев А. И.**

доктор физико-математических наук,

Институт прикладной физики

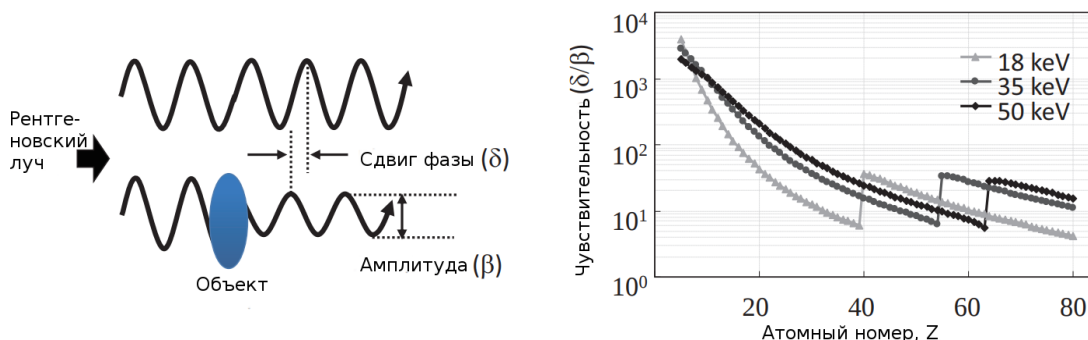
Национальной академии наук Украины,

г. Сумы

*polianinja@gmail.com*

## О ПРИМЕНЕНИИ ЛИНЕЙНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ФАЗОВОГО КОНТРАСТА В СВАРКЕ

Рентгеновские лучи — это электромагнитные волны с длиной волны порядка долей нанометра, известные своей высокой проникающей способностью, основными характеристиками которых являются (как и в случае волн произвольной природы) их амплитуда и фаза. Возможность учета информации о фазе зондирующего излучения успешно была реализована Фрицем Цернике в световом микроскопе с помощью дифракционной фазовой пластинки. В дальнейшем (для рентгеновской области электромагнитного спектра, в связи с появлением возможности генерировать когерентные волны) были развиты специальные, фазоконтрастные методы, как усовершенствование традиционного абсорбционного метода визуализации.



*Рис.1. Слева: взаимодействие между рентгеновским лучом и некоторым образцом, при прохождении через который амплитуда волны уменьшается, а фаза - сдвигается. Справа: значение чувствительности в методе фазового контраста может быть на три порядка больше (для элементов с небольшим атомным номером: C (Z=6), O (8), Al (13)) по сравнению с изменениями амплитуды волны (модифицировано из [2])*

Проведен обзор существующих подходов для преобразования фазовых изменений в измеряемые изменения интенсивности. Главным образом, рассмотрено применение линейного (известного в литературе как in-line или propagation-based) рентгеновского фазового контраста для динамических исследований процессов в алюминии [3] и его сплавах [4] при сварке лазером. В работах продемонстрировано, что рассматриваемый метод на мезоскопическом уровне выявляет структурные дефекты, поры, трещины, а также позволяет отделять участки материалов, вещество которых находится в различных фазовых состояниях. Также обнаружены прямые корреляции между характеристиками свариваемого шва и содержанием легкоплавких элементов.

Поскольку процесс восстановления фазы является типичной обратной задачей, то для ее решения возможными представляются предварительные допущения об исследуемом объекте [1], то есть применение процедуры регуляризации [5]. Для обработки и интерпретации экспериментальных данных предполагается использование свободно пакета ANKAphase [6] с доступным для модификации исходным кодом, написанным на языке Java.

#### **Список использованных источников**

1. Burvall et al., 2011. Phase retrieval in X-ray phase-contrast imaging suitable for tomography, *Opt. Express*, Vol.19, Issue 11, pp.10359-10376. DOI: 10.1364/OE.19.010359.
2. Akio Yoneyama, Shigehito Yamada and Tohoru Takeda (August 23rd 2011). Fine Biomedical Imaging Using X-Ray Phase-Sensitive Technique, *Advanced Biomedical Engineering*, Gaetano D. Gargiulo and Alistair McEwan, IntechOpen, DOI: 10.5772/20456.
3. M. Miyagi et al, 2017. Dynamics of solid-liquid interface and porosity formation determined through X- ray phase-contrast in laser welding of pure Al, *Journal of Materials Processing Tech.* 250, 9–15, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2017.06.033.
4. M. Miyagi et al, 2018. Effect of alloy element on weld pool dynamics in laser welding of aluminum alloys, *Sci. Reports* 8, Article number: 12944. DOI: 10.1038/s41598-018-31350-4.
5. Per Christian Hansen, 2010. *Discrete Inverse Problems: Insight and Algorithms (Fundamentals of Algorithms)*, Technical University of Denmark, Lyngby.
6. T. Weitkamp, D. Haas, D. Wegrzynek, A. Rack, 2011. ANKAphase: software for single-distance phase retrieval From Inline X-ray Phase-contrast Radiographs, *J. Synchrotron Rad.* 18, 617–629, DOI: 10.1107/S0909049511002895.

**Роечко О. Ю.**  
младший научный сотрудник  
Институт прикладной физики  
Национальной академии наук Украины,  
г. Сумы  
*Vbgftren@yandex.ru*

## ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ В ИПФ ИСТОЧНИКЕ

В мире наблюдается повышенный интерес к ионным источникам способным генерировать пучки многозарядных ионов. Они активно применяются для получения трансурановых элементов, имплантации, а также проведения имитационных исследований радиационных повреждений материалов. Чем больше зарядность атома, тем меньшие энергетические затраты требуются для достижения желаемого результата и тем быстрее набирается заданная доза облучения в имитационных исследованиях.

Образование многозарядных ионов может происходить по двум основным сценариям:

- В результате однократного столкновения электрона с атомом, после которого из структуры атома будет вырван больше, чем один электрон;
- В результате последовательности столкновений электронов с атомом, когда каждое следующее соударение провоцирует отрыв еще одного электрона.

Большой эффективностью отличается второй вариант генерации многозарядных ионов.

Чем выше зарядность иона, тем больше энергии требуется электрону для последующего акта ионизации, при этом сечение процесса значительно уменьшается [1]. К примеру, если сечение для образования однократно заряженного иона неона  $\text{Ne}^+$  составляет  $2,86 \cdot 10^{-17}$  см, то для  $\text{Ne}^{3+}$  это значение падает до  $5,84 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-17}$  см [3]. Формула, описывающая перевод иона с  $i$ -го состояния зарядности в  $i+1$  выглядит следующим образом [4]:

$$\sigma_{i \rightarrow i+1} = \frac{kpe^4}{\left[\frac{m_e v_e^2}{2}\right] \varepsilon_i} \ln \frac{m_e v_e^2}{2\varepsilon_i},$$

где,  $k=1/4$ ,

$\varepsilon_i$  – энергия ионизации следующего уровня зарядности,

$m_e$  - масса электрона,  $v_e$  – скорость электрона, ударяющего ион.

Из сказанного ясно, что для достижения многозарядного состояния иона, требуется создать условия для ступенчатой ионизации атома выбранного вещества путем увеличения в системе концентрации



электронов подходящей энергии. С этой целью в институте прикладной физики НАН Украины разрабатывается модифицированный ИПФ источник [2] многозарядных ионов, в котором будет реализован ряд уникальных особенностей для эффективного получения ионов с зарядностью 2+, 3+ и т.д.

Ключевым элементом, ответственным за генерацию многозарядных ионов, выступает накальный катод в оптической системе. Он играет роль эмиттера электронов, энергию которых можно регулировать. В конструкции также предусмотрен экран, который будет предотвращать эмиссию высокоэнергетичных электронов на элементы ионно-оптической системы.

Ожидается, что такой вариант конструкции, позволит получать 2+, 3+ и больше зарядные ионы металла (Fe, Zr) и источник будет активно использоваться для задач имитационных исследований и имплантации.

#### **Список использованных источников**

1. Габович М. Д. Физика и техника плазменных источников ионов. М., Атомиздат, 1972.
2. Литвинов П. А., Батурин В. А., Пустовойтов С. А. // ЖТФ. 2014. Т. 84. Вып. 4. С. 126-131.
3. Schram B. L. e. a. Physica, 1966, 32, 185.
4. Janes G. S. e. a. Phys. Rev., 1966, 145, 925.

**Чёрная В. А.**

аспирантка, специальность «104 Физика и астрономия»

Институт прикладной физики

Национальной академии наук Украины,

г. Сумы

*valeriya.chernaya27@gmail.com*

### **ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ В УГЛОВОЙ ФАЗЕ ЛЕГКООСНЫХ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКОВ С ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ДЗЯЛОШИНСКОГО**

В настоящее время экономика развитых стран достигла такого уровня, при котором уже невозможно дальнейшее развитие без внедрения высоких технологий. Поэтому все высокоразвитые государства уделяют этому новому направлению науки колоссальное количество времени и ресурсов. Изучение и внедрение инновационных технологий выполняется наряду с широким применением знаний в области естествознания. В связи с этим в развитых странах также уделяется большое внимание подготовке STEM-специалистов. Аббревиатура STEM расшифровывается как: S – science

(естественные науки), Т – technology (технологии), Е – engineering (инженерия), М – mathematics (математика). Все это приводит к существованию огромного потока экспериментальных и теоретических исследований, направленных на создание высокочувствительных сенсоров, генераторов мощного звука и ультразвука, нажимных устройств.

В частности, в работе [1] указывается, что ультразвуковые технологии располагают возможностями проведения внутриреакторных измерений целого ряда параметров с высокой точностью и разрешающей способностью. Для этой цели используются перспективные магнитострикционные и пьезоэлектрические преобразователи. К числу перспективных материалов для магнитострикционных преобразователей относятся материалы с гигантской магнитострикцией [3]. Однако их использование сдерживается необходимостью применять переменные магнитные поля с амплитудой  $\sim 100$  КЭ [2].

Для преодоления этой трудности были проведены теоретические исследования перехода в угловую фазу в легкоосных антиферромагнетиках с взаимодействием Дзялошинского (это кристаллы  $\text{CoF}_2$ ,  $\text{FeF}_3$ ,  $\text{Cu}_2\text{OSeO}_3$ ) и обнаружено, что в угловой фазе крайне незначительные изменения величины магнитного поля приводят к резкому изменению состояния магнитной подсистемы и, следовательно, значительному изменению намагниченности указанных кристаллов.

Это обстоятельство открывает обнадеживающую перспективу издания высокоточных магнитострикционных измерителей.

#### Список использованных источников

1. J. Daw, J. Palmer, P. Ramuhalli, R. Montgomery, H-T Chien, P. Keller, B. Tittmann, B. Reinhardt, G. Kohse, J. Rempe. Ultrasonic Transducer Irradiation Test Results. Idaho National Laboratory (2015).
2. J. Tan, L. Liu, S. Guo, H. Hu, Z. Yan, Q. Zhou, Z. Huang, H. Shu, X. Yang, X. Wang. *Electrochimica Acta* 168, 225 (2015).
3. К.П. Белов. СОЖ 3, 15 (1998).

Наукове видання

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ,  
ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ ТА  
МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ**

**МАТЕРІАЛИ**

V Всеукраїнської науково-практичної конференції  
молодих учених  
(Суми, 22-24 квітня 2019 року)

**ISSN 2521-6996**

**Key title: Sučasni problemi eksperimental'noї, teoretičnoї fiziki ta metodiki navčannâ fiziki**

**Abbreviated key title: Sučas. probl. eksp. teor. fiz. metod. navčannâ fiz.**

Суми: Видавництво СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2019 р.  
Свідоцтво ДК № 231 від 02.11.2000 р.

Відповідальний за випуск: **Каленик М. В.**

Комп'ютерний набір і верстка: **Завражна О.М.**

Здано в набір 20.04.2019. Підписано до друку 25.04.2019.  
Формат 60x84/16. Гарн. Cambria. Друк ризогр. Папір офсет.  
Умовн. друк. арк. 4,5. Обл.-вид. арк.6,2.  
Тираж 100. Вид. № 20.

Видавництво СумДПУ імені А. С. Макаренка  
40002, м. Суми, вул. Роменська, 87

Виготовлено у видавництві СумДПУ імені А. С. Макаренка