



**ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

**АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ МЕТОДОЛОГІЇ  
ТА МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ  
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН**

**присвячена 85-річчю від дня народження кандидата фізико-математичних наук, завідувача кафедри методології та методики навчання фізико-математичних дисциплін вищої школи, професора Горбачука Івана Тихоновича**

**Збірник матеріалів конференції**

**18 січня 2018 року  
м. Київ, Україна**

Міністерство освіти і науки України  
Національна академія педагогічних наук України  
Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова  
Академія вищої освіти України  
Національний університет харчових технологій  
Миколаївський національний університет імені В.О.Сухомлинського  
Рівненський державний гуманітарний університет  
Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського  
Житомирський державний університет імені Івана Франка

**Всеукраїнська науково-практична конференція**

# **Актуальні проблеми методології та методики навчання фізико- математичних дисциплін**

присвячена 85-річчю від дня народження кандидата фізико-математичних наук, завідувача кафедри методології та методики навчання фізико-математичних дисциплін вищої школи, професора Горбачука Івана Тихоновича

**Збірник матеріалів конференції**

**18 січня 2018 року**

**м. Київ, Україна**

**Тези доповідей** Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми методології та методики навчання фізико-математичних дисциплін», присвяченої 85-річчю від дня народження кандидата фізико-математичних наук, завідувача кафедри методології та методики навчання фізико-математичних дисциплін вищої школи, професора Горбачука Івана Тихоновича 18 січня 2018 року, Київ, Україна – К.: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2018. – 169 с.

#### **Організаційний комітет**

**Андрущенко В.П.** – доктор філософських наук, професор, член-кореспондент НАН України, академік НАПН України, ректор НПУ імені М.П. Драгоманова (**голова оргкомітету**);

**Працьовитий М.В.** – доктор фізико-математичних наук, професор, декан фізико-математичного факультету НПУ імені М.П. Драгоманова (**заступник голови оргкомітету**);

**Торбін Г.М.** – доктор фізико-математичних наук, професор, проректор з наукової роботи НПУ імені М.П. Драгоманова (**заступник голови оргкомітету**);

**Сергієнко В.П.** – доктор педагогічних наук, професор, директор Інституту неперервної освіти НПУ імені М.П. Драгоманова (**заступник голови оргкомітету**);

**Пудченко С.А.** – аспірант кафедри методології та методики навчання фізико-математичних дисциплін вищої школи НПУ імені М.П. Драгоманова (**відповідальний секретар**);

**Вернидуб Р. М.** – доктор філософських наук, кандидат фізико-математичних наук, професор, проректор з навчально-методичної роботи НПУ імені М.П. Драгоманова;

**Корець М.С.** – доктор педагогічних наук, професор, проректор із науково-педагогічної та адміністративно-господарчої роботи НПУ імені М.П. Драгоманова;

**Андрусишин Б. І.** – доктор історичних наук, професор, декан факультету політології та права;

**Падалка О. С.** – доктор педагогічних наук, професор, член-кореспондент НАПН України, завідувач кафедри економіки освіти;

**Гончаренко Я. В.** – кандидат фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри вищої математики;

**Грищенко Г. О.** – кандидат фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри експериментальної та теоретичної фізики та астрономії;

**Сиротюк В. Д.** – доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри теорії та методики навчання фізики і астрономії;

**Швець В. О.** – кандидат педагогічних наук, професор, завідувач кафедри математики і теорії та методики навчання математики;

**Шут М. І.** – доктор фізико-математичних наук, професор, академік НАПН України, завідувач кафедри загальної і прикладної фізики;

**Січкач Т. Г.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри загальної і прикладної фізики;

**Касперський А.В.** – доктор педагогічних наук, кандидат фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри технічної фізики та математики;

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

**Єфименко В. В.** – кандидат педагогічних наук, доцент, заступник декана факультету інформатики;

**Мусієнко Ю.А.** – старший викладач кафедри методології та методики навчання фізико-математичних дисциплін вищої школи НПУ імені М.П. Драгоманова;

**Лазаренко М.В.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики Національного університету харчових технологій Київ;

**Мосієвич О. С.** – кандидат фізико-математичних наук, професор кафедри фізики, проректор Рівненського державного гуманітарного університету;

**Ткаченко О. К.** – кандидат фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри фізики Житомирського державного університету імені Івана Франка.

**Павлова Н.Ю.,**

кандидат фіз.-мат. наук, доцент,  
доцент, НПУ імені М.П. Драгоманова,  
Київ, Україна  
pavlovan7@gmail.com

**Дегода В.Я.,**

доктор фіз.-мат. наук, старший дослідник,  
провідний науковий співробітник, КНУ імені Тараса Шевченка,  
Київ, Україна  
degoda@univ.kiev.ua

## **ЗАЛЕЖНОСТІ РЕНТГЕНОПРОВІДНОСТІ ТА РЕНТГЕНОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ КРИСТАЛІВ ZnSe ВІД ІНТЕНСИВНОСТІ ЗБУДЖЕННЯ**

Монокристали ZnSe використовують в якості детекторів іонізуючого випромінювання непрямого (сцинтилятори  $\gamma$ -випромінювання) і прямого перетворення енергії високоенергетичного випромінювання в електричний струм (напівпровідникові детектори) [7]. ZnSe використовується для виготовлення лінз і віконць для інфрачервоного випромінювання. Він є перспективним матеріалом для створення рентгенівських детекторів, які не потребують охолодження і можуть працювати при температурах значно вище кімнатної (до 450 K) [6]. Це робить актуальними дослідження рентгенопровідності і рентгенолюмінесценції монокристалів ZnSe.

Метою роботи було експериментально дослідити спектри рентгенолюмінесценції, рентгенопровідність, їх залежності від інтенсивності збудження для монокристалів ZnSe при різних температурах і пояснити надлінійні залежності люкс-амперних характеристик (ЛАХ) рентгенопровідності ( $i_{XRC}$  від  $I_X$ ) і рентгенолюмінесценції ( $J_{XRL}$  від  $I_X$ ) смуг свічення.

В роботі проводилися комплексні експериментальні дослідження рентгенолюмінесценції і рентгенопровідності монокристалів ZnSe. Досліджувалися їх люкс-амперні характеристики, залежності інтенсивності люмінесценції різних смуг свічення ( $J_{630}$  та  $J_{970}$ ) від інтенсивності рентгенівського збудження  $I_X$ ; дозові залежності термостимульованої люмінесценції (ТСЛ) та термостимульованої провідності (ТСП), фосфоресценції та релаксації струму при температурах 8, 85, 295 і 420 K.

Особливістю вимірювань була одночасна реєстрація люмінесценції і провідності зразка.

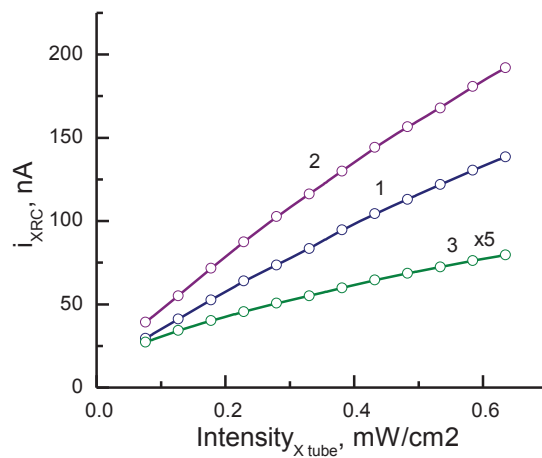
Отримано характерні спектри рентгенолюмінесценції (ХРЛ) для монокристалічних зразків ZnSe в області від 400 до 1200 нм при температурах 8, 85 і 295 K при різних рівнях інтенсивності збудження. Спектр ХРЛ досліджених зразків ZnSe складається з двох основних смуг свічення з максимумами при 630 нм (1,92 eV) і 970 нм (1,28 eV). Співвідношення інтенсивностей цих смуг різне в різних кристалах.

Люкс-амперні характеристики рентгенопровідності ( $i_{XRC}$  від  $I_X$ ) і рентгенолюмінесценції ( $J_{630}$  від  $I_X$  і  $J_{970}$  від  $I_X$ ) для зразків ZnSe виміряні при різних температурах (8, 85 та 295 K). Залежності  $i_{XRC}$  від  $I_X$ , наведені на рис.1, мають помітний надлінійний характер. Для рентгенолюмінесценції залежності  $J_{630}$  від  $I_X$  (рис. 2) і  $J_{970}$  від  $I_X$ , отримані при температурах 8, 85 і 295 K, або лінійні, або мають невелику надлінійність.

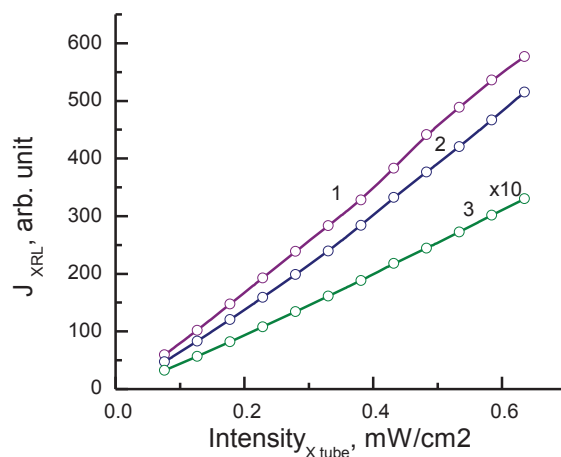
Експериментальні залежності  $i_{XRC}$  від  $I_X$ ,  $J_{630}$  від  $I_X$  та  $J_{970}$  від  $I_X$  для зразків ZnSe неможливо пояснити в рамках класичних теорій кінетики люмінесценції [1, 5] і провідності [2, 4].

Отримано також залежності інтенсивності фосфоресценції (на 30-ій секунді після припинення збудження) від отриманої дози опромінення. Використання двох різних інтенсивностей рентгенівського збудження дозволяє порівнювати накопичені світлосуми (концентрації перезаряджених локальних центрів) при однакових дозах опромінення, але отримані за різний час. Дозові залежності фосфоресценції добре апроксимуються отриманою теоретичною залежністю [3].

У всіх випадках (навіть при досягненні насичення) концентрації перезаряджених центрів будуть більшими при більш високій інтенсивності рентгенівського збудження.



**Рис. 1.** Люкс-амперні характеристики рентгенопровідності зразка ZnSe при температурах: 8 К (крива 1), 85 К (2), 295 К (3)



**Рис. 2.** Люкс-амперні характеристики рентгенолюмінесценції зразка ZnSe на довжині хвилі випромінювання 630 нм при температурах: 8 К (крива 1), 85 К (2), 295 К (3)

Класична теорія фотопровідності [5, 6], яка створена для простої моделі кристалофосфора - один тип пасток і один тип центра рекомбінації, дає при тривалому стаціонарному збудженні для концентрації вільних носіїв заряду залежність  $N \sim \sqrt{I_X}$  і аналогічну залежність для концентрації перезаряджених центрів рекомбінації  $p_j \sim \sqrt{I_X}$ . В результаті маємо для інтенсивності свічення – прямо пропорційну залежність, а для струму –  $\sqrt{I_X}$ . Якщо експериментальні залежності  $i_{XRC}$  від  $I_X$  апроксимувати степеневою функцією, то отримуємо показник степеня  $\sim 0,8 \div 0,9$ , що значно відрізняється від 0,5.

Надлінійний характер залежності кривих струму провідності від інтенсивності рентгенівського або  $\gamma$ -опромінювання можна пояснити наявністю в напівпровідниковому детекторі різних пасток для вільних носіїв заряду і центрів рекомбінації. Проведений теоретичний аналіз кінетики рентгенопровідності показав, що величина максимальної накопиченої світлосуми на глибоких пастках не залежить від інтенсивності збудження.

Тільки для дрібних і фосфоресцентної пасток накопичена світлосума залежить від інтенсивності збудження. Можна припустити, що чим вища концентрація таких дефектів в матеріалі, тобто чим інтенсивніше фосфоресценція і релаксація струму, тим ближчою буде люкс-амперна характеристика до  $i_{XRC} \sim \sqrt{I_X}$ . А при зменшенні концентрацій дефектів (тобто пасток для вільних носіїв заряду) характеристика буде наближатися до лінійної.

#### Література

1. Антонов-Романовский В.В. Кинетика фотолуминесценции кристаллофосфоров / В.В. Антонов-Романовский. - Москва: Наука, 1966. – 323 с.
2. Бьюб Р. Фотопроводимость твердых тел / Р. Бьюб. - Москва: Мир, 1962. - 558 с.
3. Дегода В.Я. Кінетика рекомбінаційної люмінесценції і провідності кристаллофосфорів / В.Я. Дегода, А.Ф. Гуменюк, Ю.А. Маразуєв. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2016.- 151с.
4. Лашкарев В.Е. Неравновесные процессы в фотопроводниках/ В.Е. Лашкарев, А.В. Любченко, М.К. Шейнкман. - Киев: Наукова думка.- 1981.- 264 с.
5. Фок М.В. Введение в кинетику люминесценции кристаллофосфоров / М.В. Фок. - Москва: - Наука, 1964. - 284 с.
6. Brodin M.S. Monocrystalline ZnSe as an ionising radiation detector operated over a wide temperature range / M.S. Brodin, V.Ya. Degoda, B.V. Kozhushko, A.O. Sofienko, V.T. Vesna // Radiation Measurements. - 2014.- V. 65.- P. 36-44.
7. Ryzhikov V.D. Properties of semiconductor scintillators ZnSe(Te,O) and integrated scintielectronic radiation detectors based thereon / V.D. Ryzhikov et al. // IEEE Trans. Nucl. Sci. – 2001. – V. 48, pt. 1. – P. 356-359.

#### **Павлова Н.Ю. Залежності рентгенопровідності та рентгенолюмінесценції кристалів ZnSe від інтенсивності збудження.**

**Анотація.** Експериментально отримані для ZnSe люкс-амперні характеристики (ЛАХ) рентгенопровідності кристалів ZnSe мають надлінійний характер у діапазоні температур від 8 до 420 К. Визначено, що зміна температури обумовлює зміну співвідношення між кількістю неглибоких та глибоких пасток, які змінюють характер ЛАХ. Проведене теоретичне обґрунтування кінетики рентгенопровідності показало, що значення максимальної накопиченої світлосуми на глибоких пастках не залежить від інтенсивності збудження. Тільки для мілких і фосфоресцентних пасток накопичена світлосума залежить від інтенсивності збудження. Виявлено, що саме ці пастки в напівпровідниковому матеріалі обумовлюють надлінійність ЛАХ.

**Ключові слова:** рентгенопровідність, рентгенолюмінесценція, люкс-амперна характеристика, центр рекомбінації, дефекти, селенід цинку.

#### **Pavlova N. Yu. Dependencies of X-ray conductivity and X-ray luminescence of ZnSe crystals on intensity of excitation.**

**Abstract.** Obtained experimentally for ZnSe the lux-ampere characteristics (LAC) of X-ray conductivity of ZnSe crystals have a sublinear character in a temperature range between 8 and 420 K. Determined that change of temperature causes a change of a ratio between the quantity of shallow and deep traps that changes the character of LAC. The carried-out theoretical reviewing of the kinetics of X-ray conductivity showed that the value of the most accumulated light sum on deep traps does not depend on the excitation intensity. Only for shallow and phosphorescent traps the accumulated light-sum depends on the excitation intensity. It was found that these traps in semiconductor material cause sublinearity of LAC.

**Key words:** X-ray conductivity, X-ray luminescence, lux-ampere characteristic, center of recombination, defects, zinc selenide.