

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**XXVI ЩОРІЧНА
НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ
ІНСТИТУТУ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
НАН УКРАЇНИ**

(Київ, 8 - 12 квітня 2019 року)

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

**XXVI ЩОРІЧНА
НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ
ІНСТИТУТУ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
НАН УКРАЇНИ**

(Київ, 8 - 12 квітня 2019 року)

Тези доповідей

Київ 2019

УДК [539.1/2+533.9+577.3+621.039](477)(042.5)

Д 22

Укладач: В. В. Михайловський

Програмно-організаційний комітет конференції:

В. Й. Сугаков – голова комітету (радіаційна фізика та радіаційне матеріалознавство)

Члени:

Ф. О. Іванюк – теоретична ядерна фізика
В. М. Пугач – експериментальна ядерна фізика
В. М. Павлович – ядерна енергетика
Я. І. Колесниченко – фізика плазми та керований термоядерний синтез
А. І. Липська – радіобіологія, радіоекологія та техногенно-екологічна безпека
Н. Л. Дорошко – учений секретар ІЯД НАН України
Ю. М. Степаненко – голова ради молодих учених ІЯД НАН України
В. В. Михайловський – відповідальний секретар
О. Д. Григоренко – видання тез

Секретарі:

О. С. Бурдо, О. С. Ковальчук, С. В. Лук'янов, О. М. Пугач, О. А. Сова

Друкуються за рішенням вченої ради інституту від 14.02.19.

Д 22 **XXVI** щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 8 - 12 квітня 2019 року) : тези доповідей. - Київ : Ін-т ядерних дослідж., 2019. - 204 с.

ISBN 978-966-02-8936-9 (електронне видання)

У збірнику опубліковано тези конференції, що є підбиттям підсумків наукової діяльності інституту за 2018 р. Представлено тези з основних напрямків роботи інституту, а саме: ядерної фізики, ядерної енергетики, радіаційної фізики та радіаційного матеріалознавства, фізики плазми та керованого термоядерного синтезу, радіобіології, радіоекології та техногенно-екологічної безпеки.

Наукове видання буде корисним для наукових працівників, аспірантів, інженерів, а також для викладачів та студентів старших курсів вузів.

УДК [539.1/2+533.9+577.3+621.039](477)(042.5)

ISBN 978-966-02-8936-9
(електронне видання)

© Інститут ядерних досліджень
НАН України, 2019

ЗМІСТ

Секція 1. Ядерна фізика

Ізоскалярні дипольні збудження ядер в області низьких енергій <i>В. І. Абросімов, О. І. Давидовська</i>	17
Збудження монопольних парних вібрацій у реакціях передачі двох нейтронів у надплинних ядрах <i>В. І. Абросімов, А. І. Левон</i>	17
Дослідження реакції розвалу дейтронів при розсіянні на ядрах ^{40}Ca <i>О. В. Бабак, В. П. Михайлюк</i>	18
Поглинання звукових хвиль у кінетичному підході <i>У. В. Григор'єв, О. Г. Магнер, М. І. Гореништейн</i>	19
Порівняння ядерно-ядерного потенціалу, розрахованого в наближеннях подвійної згортки та густини енергії. Перерізи пружного розсіяння та підбар'єрного злиття важких іонів <i>О. І. Давидовська, В. Ю. Денисов, В. О. Нестеров</i>	21
Про роль форм-факторів ядер у дифракційному розщепленні дейтронів <i>В. В. Давидовський, А. Д. Фурса</i>	22
The fission width of nucleus with the fission barrier dependent on excitation energy and the ratio of the fission and neutron emission widths <i>V. Yu. Denisov</i>	23
Correlated transitions in TKE and mass distributions of fission fragments described by 4-D Langevin equation <i>F. A. Ivanyuk, M. D. Usang, C. Ishizuka, S. Chiba</i>	24
Attractive inter-particle force in van der waals model of multicomponent hadron gas in the grand canonical ensemble <i>Ya. D. Krivenko-Emetov</i>	25
Бета-распад $^{127}\text{Te} \rightarrow ^{127}\text{I}$ <i>А. А. Куртева</i>	26
Вплив поверхневих ефектів на нейтронні шкіри та гало в атомних ядрах <i>С. В. Лук'янов, А. І. Санжур</i>	27
Пошуки кластерної структури ядер при розсіянні альфа-частинок на них методами гальмівного випромінювання <i>С. П. Майданюк</i>	28
MSSM HIGGS boson identification through b-tagging algorithm <i>T. V. Obikhod, I. A. Petrenko</i>	29
HIGGS boson and nonstability of electroweak vacuum <i>T. V. Obikhod</i>	30

Модель резонансного распада во времени промежуточной компаунд-системы для анализа экспериментальных инклюзивных спектров одиночных конечных фрагментов в высоко-энергетических ядерных реакциях, новые расчеты	
<i>С. А. Омельченко, В. С. Ольховский</i>	31
Тестування та модифікація фотонних силових функцій з використанням даних фотопоглинання та гамма-розпаду	
<i>В. А. Плюйко, О. М. Горбаченко, К. М. Солодовник</i>	32
Наукові досягнення В. М. Коломійця	
<i>С. В. Радіонов</i>	33
Динаміка ядерного поділу при високих енергіях збудження	
<i>С. В. Радіонов</i>	34
Эффекты квантовой статистики вблизи критической точки ядерной материи	
<i>С. Н. Федоткин, А. Г. Магнер, М. И. Гореништейн</i>	35
Простий опис температурної залежності ширини масового розподілу осколків поділу ^{197}Au та ^{209}Bi при середніх енергіях	
<i>В. П. Хоменков, В. Ю. Денисов, О. А. Беляновська, К. М. Сухий</i>	36
Дослідження енергії зв'язку легких ядер у компактних зорях	
<i>К. А. Шаульський, С. П. Майданюк</i>	37
Determining modern energy density functional for nuclear many-body systems	
<i>Shalom Schlomo</i>	38
Випробування прототипу компактного електромагнітного калориметра LumiCal та вимірювання ефективного радіуса Мольтера	
<i>Х. Абрамович, Я. Бенхамму, О. Борисов, М. Борисова, А. Леві, І. Леві</i>	39
Ізотермічні відношення для продукту фотореакції (γ, $3n$) на ^{55}Mn, ^{107}Ag, ^{113}In	
<i>О. А. Безиийко, О. М. Водін, Л. О. Голінка-Безиийко, І. М. Каденко, А. В. Котенко, В. А. Кушнір, В. В. Мітроченко, С. М. Олійник, С. А. Пережогін, Т. В. Повар</i>	40
Study of gamma-spectrum discrepancy in $^{nat}\text{Cd}(n, \gamma)$ reaction	
<i>В. М. Bondar, О. М. Gorbachenko, В. Yu. Leshchenko, І. М. Kadenko, V. A. Plujko, К. М. Solodovnik</i>	41
Генерація J/ψ мезонів в ультрапериферичних $^{208}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}$ зіткненнях при енергії $\sqrt{s_{NN}} = 5 \text{ TeV}$ В експерименті LHCb	
<i>А. Фр. Бурше, В. М. Добішук, В. М. Пугач</i>	42
Визначення повного нейтронного перерізу ^{52}Cr на фільтрованому пучку нейтронів з енергією 145 кеВ	
<i>О. О. Грицай, А. К. Гримало, В. М. Венедиктов, В. П. Шахов, Я. В. Пишеничний</i>	43

Часова еволюція хвильової функції для кластерного розпаду	
<i>О. Я. Дзюблик</i>	44
Блок моніторного каналу вимірювальної системи	
<i>М. І. Доронін, А. П. Войтер, О. М. Ковальов, І. О. Мазний</i>	45
Development of the tof detector for future TAU-charm factories	
<i>V. A. Yeroshenko, S. Barsuk, O. A. Bezshyyko, L. Burmistrov, V. Chaumat, L. O. Golinka-Bezshyyko, V. Puill, A. Stocchi</i>	46
Дослідження ^{178m}Lu та $^{179m2}\text{Hf}$ у реакціях з вильотом заряджених частинок	
<i>В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов</i>	47
Збудження $^{179}\text{Hf}^{m2}$ та $^{180}\text{Hf}^m$ в (γ, γ')-реакціях	
<i>В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов</i>	48
Фотоядерні реакції на мішенях бору та берилію	
<i>В. О. Желтоножський, Д. Є. Мизніков, А. М. Саврасов, В. І. Слісенко</i>	49
Исследование тормозного излучения перезарядного ускорителя ЭГП-10К	
<i>Г. Г. Заикин, А. А. Куштий, В. В. Осташко, А. Ф. Шаров</i>	49
Расчет максимальной энергии вторичных электронов в ускорительной трубке с наклонными полями	
<i>Г. Г. Заикин</i>	50
Пошук подвійного бета-розпаду ядра ^{106}Cd з використанням збагаченого сцинтиляційного детектора $^{106}\text{CdWO}_4$ у збігах із детекторами CdWO_4	
<i>М. М. Зарицький, П. Беллі, Р. Бернабей, В. Б. Бруданін, Ф. Канелла, В. Карачіоло, Р. Черулі, Ф. А. Даневич, А. Інчікітті, Д. В. Касперович, В. В. Кобичев, О. Г. Поліщук, В. І. Третьак</i>	51
Розробка низькофонових сцинтиляційних кристалів вольфрамату цинку для пошуку темної матерії та 2β-розпаду	
<i>Д. В. Касперович, П. Беллі, Р. Бернабей, Ю. А. Боровлев, Ф. А. Даневич, В. Н. Жданков, А. Інчікітті, Ф. Канелла, В. Карачіоло, О. Г. Поліщук, Д. С. Ткачов, С. В. Ткачов, В. І. Третьак, Р. Черулі, В. Н. Шлегель</i>	52
Пошук альфа-розпаду ядер $^{184,186}\text{Os}$ на збуджені рівні дочірніх ядер	
<i>Д. В. Касперович, П. Беллі, Р. Бернабей, Ф. А. Даневич, А. Інчікітті, Ф. Канелла, В. Карачіоло, В. В. Кобичев, Г. П. Ковтун, Н. Г. Ковтун, М. Лаубеништейн, Д. В. Пода, О. Г. Поліщук, С. Тесаліна, В. І. Третьак, Р. Черулі, О. П. Щербань</i> ..	53
Дослідження схеми розпаду ядра ^{50}V у підземній лабораторії NADES (Бельгія)	
<i>В. Р. Клавдієнко, Ф. А. Даневич, В. В. Кобичев, В. І. Третьак, Д. В. Касперович, Г. Люттер, О. Г. Поліщук</i>	55
Блок лічильників	
<i>О. М. Ковальов, А. П. Войтер, М. І. Доронін, І. О. Мазний</i>	55

Металеві мікродетектори для зображення їх у реальному часі просторово фракціонованих пучків заряджених частинок та гамма-квантів

<i>О. С. Ковальчук, В. М. Пугач, В. М. Міліція,</i> <i>Д. І. Сторожик, В. О. Кива, О. А. Федорович.....</i>	57
--	----

Система радіаційного моніторингу експерименту LHCb у 2017 та 2018 роках

<i>С. М. Колієв, О. А. Кот, О. Ю. Охріменко, В. М. Пугач.....</i>	58
---	----

Поперечні перерізи генерації Λ -гіперонів у p-Pb зіткненнях при енергії 5 TeV в експерименті LHCb (CERN)

<i>К. В. Колієва, С. М. Колієв, О. А. Кот, О. Ю. Охріменко,</i> <i>Є. О. Петренко, В. М. Добішук, В. М. Пугач.....</i>	58
---	----

Двухкамерный источник ионов. Первые эксперименты на циклотроне У-240

<i>А. И. Колосов, М. В. Маковский, Л. В. Михайлов,</i> <i>Т. П. Руденко, С. В. Чередник.....</i>	59
---	----

Вимірювання перерізів утворення V^0 частинок та факторів ядерної модифікації у зіткненнях протон-свинець в експерименті LHCb

<i>О. А. Кот, В. М. Пугач, О. Ю. Охріменко,</i> <i>Є. О. Петренко, С. М. Колієв.....</i>	59
---	----

High-energy excited 0^+ states in ^{158}Gd

<i>A. I. Levon, D. Bucurescu, T. Faestermann, R. Hertenberger,</i> <i>A. G. Magner, S. Pascu, K. P. Shevchenko,</i> <i>A. A. Shevchuk, H.-F. Wirth.....</i>	60
---	----

Механізми заселення збуджених станів ядра ^{15}C у реакції $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{10}\text{B})^{15}\text{C}$ при $E_{\text{лаб.}}(^{11}\text{B}) = 45 \text{ MeV}$ вище порогу розвалу $^{14}\text{C} + n (1,218 \text{ MeV})$

<i>С. Ю. Межєвич, А. Т. Рудчик, К. Русек, К. В. Кемпер,</i> <i>А. А. Рудчик, О. А. Понкратенко, С. Б. Сакута.....</i>	61
--	----

«Прозорий» профілометр заряджених пучків для адронної терапії

<i>В. М. Міліція, О. С. Ковальчук, В. М. Пугач,</i> <i>Д. В. Рамазанов, Д. І. Сторожик, О. А. Федорович,</i> <i>С. Я. Барсук, А. Фаус-Гольф, П'єр Луїс Андре Леперк.....</i>	62
--	----

Радіаційна стійкість двосторонніх мікροстріпових сенсорів для кремнієвої трекової системи експерименту CBM

<i>Є. Л. Момот, В. М. Пугач, В. О. Кива, Й. М. Хойзер.....</i>	63
--	----

Експериментальне спостереження нейтрон-нейтронних кореляцій в ядрі ^6He

<i>О. М. Поворозник, О. К. Горпинич.....</i>	64
--	----

Глобальний оптичний потенціал для ^6Li

<i>О. А. Понкратенко, В. В. Улещенко, Ю. М. Степаненко,</i> <i>Ю. О. Ширма, А. А. Рудчик, А. Т. Рудчик, К. Русек, К. Кемпер.....</i>	64
---	----

Аналіз взаємодії ізотопів берилію з дейтронами	
<i>О. А. Понкратенко, В. В. Улещенко, Ю. М. Степаненко, Ю. О. Ширма, А. Т. Рудчик, А. А. Рудчик.....</i>	65
Розробка елементів детекторизованого фантому для характеристики методики просторово фракціонованої радіаційної терапії	
<i>Д. М. Рамазанов, В. М. Пугач, О. С Ковальчук, В. М. Міліція, А. В. Чаус, В. О. Кива, Д. І. Сторожик, М. І. Палій, О. Ю. Столярова, С. Я. Барсук, А. Фаус-Гольф.....</i>	66
Останні результати експерименту BGO-OD	
<i>М. В. Романюк.....</i>	67
Пружне та непружне розсіяння іонів ^{15}N ядрами ^6Li при енергії 81 MeV	
<i>А. Т. Рудчик, А. А. Рудчик, О. О. Чепурнов, К. Русек, К. В. Кемпер, Е. П'ясецькі, А. Столяж, А. Триціньска, Є. І. Коцый, В. М. Пірняк, О. А. Понкратенко, І. Строек, Р. Сюдак, С. К. Сакута, А. П. Ільїн, Ю. М. Степаненко, В. В. Улещенко, Ю. А. Ширма.....</i>	67
Індикатор області балансу при виборі параметра в методі регуляризації Тихонова	
<i>А. М. Соколов.....</i>	68
Найточніше значення періоду напіврозпаду ядра ^{212}Po	
<i>Н. В. Сокур, П. Беллі, Р. Бернабей, Р. С. Бойко, Ф. А. Даневич, А. Ді Марко, А. Інчікитті, Д. В. Касперович, Ф. Капелла, В. Караччіоло, В. В. Кобичев, О. Г. Поліщук, В. І. Третьяк, Р. Черулі.....</i>	70
Дослідження просторового фракціонування електронного та гамма-пучків за допомогою металевих мікродетекторів	
<i>Д. І. Сторожик, О. С. Ковальчук, В. М. Пугач, В. М. Міліція, А. В. Чаус, В. О. Кива, Д. В. Рамазанов, М. І. Палій, О. Ю. Столярова, С. Я. Барсук, А. Фаус-Гольф, П'єр Луїс Андре Леперк.....</i>	71
Розробка алгоритмів керування системами живлення та захисту джерел іонів на циклотроні У-240	
<i>А. І. Устінов, О. Й. Колосов, Л. В. Михайлов.....</i>	72
Алмазний детектор-дозиметр для променевої терапії та хірургії	
<i>Р. Ю. Чаплинський, Е. Є. Петросян, Т. В. Микитюк, О. Г. Лисенко, В. І. Грушко, О. О. Занєвський, Є. І. Міцкевич, А. М. Кір'єв.....</i>	72
Розробка надтонкої мікростріпової мішені для експерименту LHCb (CERN)	
<i>С. Б. Чернишенко, В. М. Пугач, О. Ю. Охріменко.....</i>	74
Search for neutrinoless double beta decay with the KamLAND-Zen experiment	
<i>D. N. Chernyak.....</i>	75

Секція 2. Ядерна енергетика

Конструкція і характеристики тепловидільної збірки зі стрижневими твелями для дослідницьких ядерних реакторів типу ВВР-М	
<i>М. М. Бєлаш, А. В. Куштим, В. В. Зігунов, О. О. Слабоспицька.....</i>	76
Экспертная оценка текущего и прогнозируемого уровня подкритичности ядерно-опасного скопления топливосодержащих материалов	
<i>Е. Д. Высотский, Р. Л. Годун, К. А. Сущенко.....</i>	77
Классификация ТСМ внутри НБК-ОУ и текущие проблемы обеспечения их ядерной и радиационной безопасности	
<i>Р. Л. Годун, В. А. Краснов.....</i>	78
Исследование динамики эффективного коэффициента размножения нейтронов в ТСМ внутри объекта «Укрытие»	
<i>Р. Л. Годун, А. А. Дорошенко, С. Н. Стадник.....</i>	79
Кореляція зсувів критичної температури крихкості та референсної температури	
<i>М. Г. Голяк, В. М. Рєвка, Л. І. Чирко, О. В. Шкапяк.....</i>	80
Дослідження перехідних режимів роботи ВВЕР-1000 при коливанні температури теплоносія на вході в активну зону	
<i>В. В. Горанчук, В. І. Борисенко.....</i>	81
Пропозиції щодо підвищення ефективності системи контролю ядерної безпеки комплексу НБК-ОУ	
<i>А. О. Дорошенко, Р. Л. Годун, Д. О. Муляр.....</i>	82
Верифікація даних про джерела нейтронів для програмних засобів MСРV і МССS	
<i>В. В. Ількович.....</i>	83
Урахування впливу спектрального ефекту на макроскопічні перерізи чарунки ВВЕР-1000	
<i>О. В. Кухоцька.....</i>	84
Дослідження параметрів нейтронного поля в дослідницькому каналі ВВР-М	
<i>Ю. Ф. Піонтковський, В. І. Борисенко.....</i>	86
Валидация пакета программ МСРV, адаптированного для расчетов переноса нейтронов в околореперном пространстве реактора ВВЭР-440	
<i>А. М. Пуґач, С. М. Пуґач, В. Л. Демехин, В. Н. Буканов, А. В. Грищенко.....</i>	87
Використання зразків шарпї з тріщиною для оцінки в'язкості руйнування металу корпусу реактора ВВЕР-1000 у вихідному стані	
<i>В. М. Рєвка, Л. І. Чирко, Ю. В. Чайковський, О. В. Шкапяк.....</i>	88

Исследование защитных свойств нового композитного материала армированного базальт-борной фиброй от нейтронного излучения <i>И. М. Романенко, М. И. Голюк, Г. И. Одинокин, А. В. Носовский, В. Пастсук, М. Киск, А. Биланд, Ю. М. Чувашов, В. И. Гулик</i>	89
Розвиток деяких супутніх технологій ядерних реакторів з газовим теплоносієм IV покоління <i>К. В. Сімейко</i>	90
Мониторинг температуры и ППН внутри НБК-ОУ с помощью экспертной исследовательской системы <i>С. Н. Стадник, Р. Л. Годун, Г. И. Одинокин</i>	91
Порівняльний аналіз критичності ТВЗ ВВЕР-1000 у кодах SCALE та MCNP <i>І. О. Тімімець, В. І. Борисенко</i>	92
Оцінка ресурсу корпусу реактора энергоблока № 1 Рівненської АЕС згідно з різними нормативними підходами <i>О. В. Тригубенко, В. М. Ревка, Л. І. Чирко</i>	93
Монте-Карло модель активной зоны реактора ввэр-1000 для подготовки информационного обеспечения СВРК-М2 <i>А. Р. Трофименко, В. В. Гальченко, И. И. Шлапак, Д. В. Будик, В. И. Гулик</i>	94
Проблеми проектування імітатора радіаційних полів у гермозонах ядерних енергетичних реакторів <i>І. А. Хомич</i>	95
Стійкість стаціонарної хвилі ядерних поділів <i>В. М. Хотяїнцев, А. В. Аксьонов</i>	96
Технологія виготовлення мініатюрних компактних зразків для випробувань на в'язкість руйнування <i>Ю. В. Чайковський, В. М. Ревка, Л. І. Чирко, О. В. Шкапяк</i>	97
Особенности изготовления и характеристики таблеток из UO₂ для топлива подкритической установки «источник нейтронов» <i>И. А. Чернов, В. Р. Татаринов, Н. Н. Белаиш, Д. В. Кутний, Е. Б. Валежный</i>	99
Аналіз підходів до опису граничних умов при вирішенні дифузійної моделі <i>Д. О. Шеляговський, В. В. Гальченко, Ю. Білодід, В. І. Гулік, І. І. Шлапак, Д. В. Будік</i>	100
Розробка методики визначення довірчих інтервалів розкиду експериментальних даних ударної в'язкості від температури та її апробація <i>О. В. Шкапяк, Л. І. Чирко, В. М. Ревка, Ю. В. Чайковський, М. Г. Голяк, О. В. Тригубенко</i>	101

Секція 3. Радіаційна фізика та радіаційне матеріалознавство

Вплив потужності дози опромінення на визначення спектра протонів, отриманих на лазерних прискорювачах, за допомогою кремнієвих P-I-N діодів	
<i>І. С. Анохін, А. Б. Розенфельд.....</i>	103
Дослідження перспектив реалізації трекових технологій нанопористих матеріалів на ядерно-фізичних радіаційних установках ІЯД НАН України	
<i>А. Є. Борзаковський, Т. В. Ковалінська, В. І. Сахно, Ю. В. Іванов, В. І. Куц, М. І. Боровець, В. О. Рилошко, О. М. Фанлейб.....</i>	104
Розробки радіаційних технологій гідролізних наноматеріалів для ядерної та традиційної медицини	
<i>Т. В. Ковалінська, В. І. Сахно, Ю. В. Іванов, І. А. Хомич, Т. І. Маєвська...</i>	104
Модифікація структури поверхні кремнію з природним та зі штучно наросеним окислом методом іонного опромінення	
<i>В. І. Варніна, Г. П. Гайдар, М. Б. Пінковська, О. С. Кондратенко, В. Р. Романюк, М. І. Старчик.....</i>	105
Радиационно-стимулированное фазообразование в лавообразных топливосодержащих материалах 4-го блока ЧАЭС	
<i>С. В. Габелков, И. В. Жиганюк, В. Г. Кудлай, П. Е. Пархомчук, А. Д. Скорбун, С. А. Чиколовец.....</i>	106
Радіаційне блокування мікроплазм у діодах фосфіду галію	
<i>Г. П. Гайдар, О. В. Конорева, І. В. Петренко, В. П. Тартачник, В. В. Шлапацька, В. П. Велецук.....</i>	108
Збудження поверхневих електромагнітних хвиль зарядженою частинкою	
<i>І. Ю. Голіней.....</i>	110
Расчет интенсивности потоков нейтронов при дифракции Лауэ в сильнопоглощающих кристаллах	
<i>А. Я. Дзюблик, В. В. Михайловский, В. Ю. Спивак.....</i>	110
Decay of nuclear exciton, excited by synchrotron pulse during Laue diffraction in crystals	
<i>А. Я. Dzyublik, V. Yu. Spivak.....</i>	112
Аналіз елементів захисної броні з SiC за допомогою рентгенівського опромінення	
<i>М. А. Заболотний, Л. І. Асламова, Ю. І. Грабовський.....</i>	113
Структура вольт-амперних характеристик світлодіодів GaP	
<i>О. В. Конорева, П. Г. Литовченко, О. І. Радкевич, Ю. В. Павловський, М. Б. Пінковська, І. В. Петренко, В. П. Тартачник.....</i>	114
Особливості електрофізичних характеристик вихідних та опромінених електронами з $E = 2$ MeV світлодіодів $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$	
<i>Є. В. Малий, О. В. Конорева, В. П. Тартачник, П. Г. Литовченко, В. В. Бориц, О. М. Гонтарук, М. В. Завада.....</i>	115

Ефекти взаємодії випромінювання наднизького рівня з квантовими когерентними системами	
<i>Д. С. Мариенюк</i>	116
Неравновесная термодинамика с термодинамическим параметром времени жизни системы	
<i>В. В. Рязанов</i>	117
Просторова структура електронно-діркової рідини у 2D напівпровідникових системах	
<i>В. Й. Сугаков, А. А. Чернюк</i>	118
Природа компенсаційного ефекту в неупорядкованих напівпровідниках	
<i>І. І. Фіщук, А. К. Кадашук</i>	119

Секція 4. Фізика плазми та керований термоядерний синтез

Несамостійний вакуумний дуговий розряд в парах монокристалічного цирконію	
<i>А. Г. Борисенко, Е. Г. Костін, О. Рокицький, О. А. Федорович</i>	121
Ініціювання несамостійного вакуумно-дугового розряду в парах цирконію	
<i>А. Г. Борисенко</i>	122
Радіальна структура височастотних швидких магнітозвукових мод	
<i>О. С. Бурдо, Я. І. Колесниченко</i>	123
Effect of cold atmospheric pressure plasma treatment on fungal mycelium grow and spores germination	
<i>Iu. Veremii, N. Tsyd, D. Nikulin, M. Sukhomlyn, V. Chernyak, V. Iukhymenko, E. Martysh</i>	124
Енергетичний розподіл частинок плазми у геліконному розряді з планарною антеною	
<i>В. Ф. Вірко, Ю. В. Вірко, В. Ф. Семенюк</i>	125
Вплив низькоенергетичних іонів гелію на матеріали ядерної енергетики	
<i>В. В. Гладковський, Д. М. Войтенко, Є. Г. Костін, Б. П. Полозов, В. О. Петряков, О. А. Рокицький, О. А. Федорович, В. М. Шевель, О. С. Оберемок, О. Д. Рудь, С. С. Поліщук</i>	126
Дослідження впливу водневої плазми на фізико-механічні властивості сталі 12X18H10T	
<i>В. В. Гладковський, О. А. Федорович, О. В. Гладковська, Б. П. Полозов, С. С. Поліщук, О. Д. Рудь</i>	127
Numerical algorithm for Monte Carlo simulation of 4-D neoclassical diffusion	
<i>A. Gurin, V. Goloborod'ko</i>	128

Популяції енергійних іонів, що утворюються при імпульсах нейтральної інжекції у термоядерних пристроях <i>Я. І. Колесниченко, В. В. Луценко</i>	129
Іонний циклотронний нагрів плазми із значним ефектом Доплера <i>Я. І. Колесниченко, В. В. Луценко, Т. С. Руденко</i>	131
DESC and JETSTA: codes to evaluate features of sawtooth crashes <i>B. S. Lepiavko, A. I. Tishchenko, Yu. V. Yakovenko and JET collaborators</i>	132
Циклотронне прискорення енергійних іонів плазовими згустками <i>В. С. Марченко, С. М. Резник</i>	133
Гібридне плазово-каталітичне реформування етанолу <i>О. А. Недибалюк, І. І. Федірчик, В. Я. Черняк, Т. А. Терещенко, П. В. Тищук</i>	134
Про вплив домішок цирконію та танталу на транспортні властивості багатокомпонентної низькотемпературної плазми <i>П. В. Порицький, Л. М. Свята</i>	135
Генерація потоку енергії досередини плазми альфвенівськими власними модами, збудженими неоднорідністю плазми <i>А. В. Тихий, Я. І. Колесниченко</i>	136
Mechanism of the energy transfer across the magnetic field by Alfvén waves in toroidal plasmas <i>М. Н. Tyshchenko, Ya. I. Kolesnichenko, Yu. V. Yakovenko</i>	137
Визначення профілю магнітного числа обертів зі зміни температури під час магнітного перезамкнення <i>А. І. Тищенко, Ю. В. Яковенко</i>	138
Результати досліджень особливостей взаємодії низько-енергетичних протонів із нержавіючою сталлю 12X18H10T <i>О. А. Федорович, В. В. Гладковський, Л. М. Войтенко, Є. Г. Костін, Б. П. Полозов, В. О. Петряков, О. А. Рокицький, О. С. Оберемок, О. Д. Рудь, С. С. Поліщук</i>	139

Секція 5. Радіобіологія, радіоекологія та техногенно-екологічна безпека

Морфологічні та функціональні особливості гемопоетичних клітин-попередників в умовах культивування у мікрооточенні, сформованому мезенхімальними стромальними стовбуровими клітинами щурів, опромінених у сублетальній дозі <i>Д. І. Білько, І. З. Руссу, М. В. Пахаренко, Н. М. Білько</i>	141
Гематологічні показники у лабораторних щурів за впливу ¹³¹I та їхніх потомків <i>О. Б. Ганжа, Н. К. Родіонова, Н. М. Рябченко, А. І. Липська, В. В. Талько</i>	142

Осмотична резистентність еритроцитів крові рудої нориці (<i>Myodes glareolus</i>) із зони відчуження ЧАЕС із різним рівнем радіонуклідного забруднення	
<i>Ю. П. Гриневич, А. І. Липська, О. О. Бурдо, С. В. Телецька.....</i>	143
Науково-соціальні аспекти радіаційної безпеки	
<i>М. О. Дружина, А. І. Липська.....</i>	144
Гострі лімфобластні і мієлоїдні лейкози у осіб-ровесників аварії на ЧАЕС у післячорнобильський період	
<i>С. В. Коваль, Н. К. Родіонова, Т. С. Іванівська, Л. М. Скляренко.....</i>	145
Аберації хромосом у лімфоцитах крові людини за короткочасного зовнішнього опромінення ¹³⁷Cs in vitro	
<i>В. А. Курочкіна, Т. В. Циганок, І. А. Хомич, В. І. Федорченко, Л. К. Бездубна.....</i>	146
Дослідження радіопротекторних властивостей меланін-глюканового комплексу	
<i>Л. І. Маковецька, О. А. Главін, М. О. Дружина, В. М. Михайленко....</i>	147
Особливості функціонального стану гіпофізарно-гонадної системи ендокринної регуляції у двох поколіннях білих шурів, народжених від тварин, які зазнали впливу інкорпорованого ¹³¹I	
<i>С. М. Прохорова, О. Я. Плєскач, Н. П. Атаманюк, І. П. Дрозд, А. І. Липська, В. В. Талько.....</i>	148
Ефекти впливу передпосівного іонізуючого опромінення насіння на вміст фенольних сполук та флавоноїдів у екстрактах із сировини лікарських рослин	
<i>С. А. Пчеловська, С. В. Літвінов, Ю. В. Шиліна, В. В. Жук, Л. В. Тонкаль, А. Г. Салівон, Д. О. Соколова.....</i>	150
Характеристика системи крові рудої нориці в градієнті радіаційного забруднення	
<i>Н. К. Родіонова, А. І. Липська, Н. М. Рябченко, О. А. Сова, О. О. Бурдо, В. А. Шитюк, В. І. Ніколаєв.....</i>	151
Генотоксичні ефекти інкорпорованого ¹³¹I у лабораторних шурів та їхнього потомства	
<i>Н. М. Рябченко, А. І. Липська, О. Б. Ганжа.....</i>	152
Аналіз проблем медичної експертизи захворювань, що призвели до втрати працездатності та смерті внаслідок впливу іонізуючого опромінення в умовах Чорнобильської катастрофи (віддалений післяаварійний період)	
<i>В. О. Сушко, О. О. Колосинська, О. М. Татаренко, Г. А. Незговорова, Ж. М. Берестяна.....</i>	154
“Site master file” виробництва радіофармпрепаратів ¹³¹I та ^{99m}Tc	
<i>В. В. Тришин, О. О. Одіноцв.....</i>	155
Investigation of the interaction of micromitists with fuel particles	
<i>T. I. Tugay, V. O. Zheltonozhsky, M. V. Zheltonozhskaya, A. V. Tugay, L. V. Sadovnikov.....</i>	156

Зміни у прооксидантній та антиоксидантній системах пострадіаційних генерацій <i>Cladosporium Cladosporioides</i> за росту на різних за вмістом джерел вуглецю середовищах	
<i>А. В. Тугай, Т. І. Тугай, В. О. Желтоножський, М. В. Желтоножська, Л. В. Садовніков, Л. Б. Зелена, Н. М. Сергійчук, О. Б. Поліщук</i>	157
Дослідження геномної мінливості штамів <i>Cladosporium Cladosporioides</i> за впливу низькодозового хронічного опромінення	
<i>Т. І. Тугай, А. В. Тугай, Л. Б. Зелена, В. О. Желтоножський, М. В. Желтоножська, Л. В. Садовніков, Н. М. Сергійчук, О. Б. Поліщук</i>	158
Патологія сітчастої оболонки ока у віддаленому періоді після Чорнобильської катастрофи – питання експертизи і лікування	
<i>П. А. Федірко, Т. Ф. Бабенко, О. О. Колосинська, Р. Ю. Дорічевська, Н. А. Гарькава</i>	159
Підвищені рівні антифосфатидилсеринових антитіл як наслідок іонізуючого опромінення	
<i>А. В. Чернишов</i>	161
Реконструкція поглиненої дози випромінювання занурених водних рослин у водоймах Чорнобильської зони відчуження	
<i>В. В. Беляєв, О. М. Волкова, Д. І. Гудков</i>	161
Фотоактивационный метод регистрации ¹⁰B	
<i>Д. М. Бондарьков, В. А. Желтоножский, Н. В. Кулич, Д. Е. Мызников, В. И. Слисенко</i>	163
Наслідки лісових пожеж у зоні відчуження ЧАЕС	
<i>О. А. Борсук, С. М. Обрізан</i>	163
Radioecology characteristics of small rodents local population from the Chornobyl Nuclear Power Plant cooling pond under decommission	
<i>О. О. Burdo, А. І. Lypska, Н. Ishiniwa, K. Nanba, D. Vishnevskiy, V. A. Shityuk, V. I. Nikolaev</i>	165
Заповідання як спосіб управління радіаційно забрудненими територіями	
<i>Д. О. Вишневський</i>	166
Використання ядерно-криміналістичних баз даних для визначення походження вилучених зразків уранового концентрату (Galaxy Serpent 3)	
<i>О. В. Гайдар, В. В. Тришин, В. К. Вітюк, Я. А. Деюн, Г. А. Прокопюк</i>	168
Об'єкт «Кліваж» – радіоекологічна проблема Донбасу	
<i>І. П. Дрозд, Є. О. Яковлев</i>	170
An increase of efficiency of therapeutic preparations in oncology with help of high energy irradiation	
<i>М. А. Zabolotnyy, L. I. Aslamova, G. I. Solyanik, L. N. Kirkilevskaya</i>	171

Содержание ^{137}Cs в различных объектах лесных экосистем на территории зоны отчуждения ЧАЭС	
<i>Н. Е. Зарубина</i>	173
Радиационная ситуация в приземном слое воздуха вблизи объекта «Укрытие» при сооружении нового безопасного конфайнмента «Арка»	
<i>А. К. Калиновский, В. А. Краснов, Е. А. Маковский, А. А. Сизов, А. В. Филиппов</i>	174
Особливості адсорбції тритію глинистими мінералами	
<i>О. В. Коваленко, О. О. Кряжич</i>	175
Оценка возможности извлечения урана (VI) анионитом АМ-п-2 из грунтовых вод хвостохранилища «Центральный яр»	
<i>В. Ю. Коровин, А. М. Валяев, А. В. Зонтов, Л. В. Зонтова</i>	176
Визначення природних та антропогенних складових формування радіоактивного забруднення поверхневих вод у районі впливу спадщини уранового виробництва	
<i>Т. В. Лаврова, Л. А. Ковальчук, О. В. Войцехович</i>	178
Геоинформационное обеспечение решения задач радиозкологической безопасности зоны отчуждения ЧАЭС	
<i>Т. Д. Лев, Н. Н. Талерко, О. Г. Тищенко, В. Н. Пискун, Ю. В. Яценко</i>	179
Чутливість мутанта <i>Atmsh2</i> лінії <i>SALK_002708</i> до дії сублетальних доз іонізуючої радіації	
<i>С. В. Літвінов, Н. М. Рашидов</i>	181
Стан пилопригнічуючого полімерного покриття всередині об'єкта «Укриття»	
<i>Д. О. Муляр, М. І. Павлюченко, А. О. Дорошенко</i>	182
Ретроспективний аналіз даних вимірювань швидкості осадження ^{137}Cs після Чорнобильської аварії	
<i>А. М. Новіков</i>	183
Результати багаторічного моніторингу (1994 - 2018 рр.) інтенсивності акумуляції ^{137}Cs видами трав'яно-чагарничкового ярусу дубово-соснових лісів у вологих сугрудах (Сз) Українського Полісся	
<i>О. О. Орлов</i>	185
Аналіз динаміки показників сумарної питомої β-активності осідаючого пилу та атмосферних випадінь у санітарно-захисній зоні реактора ВВР-М ІЯД НАН України за 2014 - 2018 рр.	
<i>І. О. Павленко, О. В. Сваричевська, О. В. Святун, А. Д. Саженок, С. В. Телецька</i>	186
Аномалії осцевого скелета риб у водоймах Чорнобильської зони відчуження	
<i>В. В. Павловський, Х. Д. Ганжа, І. І. Абрамюк, О. Є. Каглян, Д. І. Гудков</i>	187

Розподіл радіонуклідів у ґрунтах гірських ландшафтів Українських Карпат	
<i>Л. С. Пірнач, Г. В. Лаптев, Е. С. Тодосієнко.....</i>	189
Оцінка радіоактивного забруднення повітря внаслідок лісової пожежі в Чорнобильській зоні відчуження 5 - 8 червня 2018 р.	
<i>М. М. Талерко, Т. Д. Лев, В. О. Кашпур, Г. Г. Кузьменко.....</i>	190
Акредитація лабораторії ядерної криміналістики ІЯД НАН України в національному агентстві з акредитації України	
<i>В. В. Тришин, О. В. Божок, І. А. Малюк, О. В. Гайдар, М. В. Стрільчук, О. Ф. Рудик, О. П. Жуков.....</i>	192
Радіологічна реабілітація нерівномірно забруднених радіонуклідами колишніх сільськогосподарських угідь	
<i>Ю. В. Хомутінін, С. Е. Левчук, В. О. Кашпаров, М. М. Лазарєв, В. П. Процак, В. В. Павлюченко.....</i>	193
Пространственное распределение скоростей релаксации в дисперсных парамагнитных средах	
<i>Ю. Б. Шевченко, В. А. Либман, Т. М. Малишева, В. В. Тришин, Л. Е. Червонна.....</i>	194
Новий безпечний конфайнмент і радіоактивні аерозолі в ближній зоні ЧАЕС	
<i>В. К. Шинкаренко, В. О. Кашпур, Г. Г. Скоряк, А. В. Ткач.....</i>	196
Можливий вплив затоплення шахт центрального донбасу на зміни гірничо-геологічних умов камери атомного вибуху на шахті «Юнком»	
<i>Є. О. Яковлєв.....</i>	197
Авторський показник.....	199

Тези доповідей з ядерної фізики

ІЗОСКАЛЯРНІ ДИПОЛЬНІ ЗБУДЖЕННЯ ЯДЕР В ОБЛАСТІ НИЗЬКИХ ЕНЕРГІЙ

В. І. Абросімов, О. І. Давидовська

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Ізоскалярні дипольні збудження ядер в області низьких енергій досліджено за допомогою трансляційно-інваріантної кінетичної моделі колективних збуджень скінченної фермі-системи [1]. Силова функція, отримана в нашій моделі, має три резонансні структури в області низьких енергій ($E < 15$ MeV у важких ядрах). Резонанс з найвищим піком (вихрова мода), вивчений нами раніше [2], відтворює низькоенергетичний ізоскалярний дипольний резонанс, який спостерігається у важких ядрах. Знайдено, що сусідній (зліва) резонанс також має вихровий характер. Для того щоб визначити механізм формування цього резонансу, вивчається пов'язаний з ним тензор густини потоку імпульсу. Отримані властивості тензора густини потоку імпульсу (різні за величиною діагональні компоненти та помітна величина недіагональної компоненти) вказують на те, що даний резонанс обумовлений динамічною деформацією поверхні Фермі. Третя резонансна структура, що має найменшу енергію центроїда, не пов'язана з вихровим рухом нуклонів, проте властивості тензора густини потоку імпульсу виявляють зв'язок цієї резонансної структури з динамічною деформацією поверхні Фермі.

1. V.I. Abrosimov, A. Dellafiore, F. Matera. Physics of Particles and Nuclei 36 (2005) 699.
2. V.I. Abrosimov, O.I. Davidovskaya. Ukr. J. Phys. 63 (2018) 1043.

ЗБУДЖЕННЯ МОНОПОЛЬНИХ ПАРНИХ ВІБРАЦІЙ У РЕАКЦІЯХ ПЕРЕДАЧІ ДВОХ НЕЙТРОНІВ У НАДПЛИННИХ ЯДРАХ

В. І. Абросімов, А. І. Левон

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Для вивчення колективних парних збуджень ядер найбільший інтерес представляють реакції передачі двох нуклонів в деформованих (надплинних) ядрах, зокрема, (p, t)-реакції. Розглянуто просту модель колективних парних збуджень ядер на основі напівкласичних рівнянь руху залежної від часу теорії Хартрі - Фока - Боголюбова у лінійному наближенні [1]. Використовуючи функцію відгуку кореляційної густини, знайдені монопольна парна мода з

енергією в області подвійної енергетичної щільності і зміна енергетичної щільності, пов'язана з цією модою. У рамках запропонованого напівкласичного підходу розглянуто відношення спектроскопічного фактора для збудження монопольних парних вібрацій в (p, t)-реакції в парних надплинних ядрах до спектроскопічного фактора для передачі двох нейтронів в основний стан дочірнього ядра. Для цього передбачається, що відносний спектроскопічний фактор визначається напівкласичним аналогом відповідного квантового виразу. Експериментальні дані (форма кутових розподілів) вказують на те, що при збудженні 0^+ -станів домінує одноступінчатий процес передачі двох нейтронів [2]. Тому можливе порівняння отриманих відносних спектроскопічних факторів і відповідних експериментальних відносних перерізів (p, t)-реакції. Чисельні розрахунки відносних спектроскопічних факторів для ядра ^{158}Gd та ядер актиніної області (^{228}Th , ^{230}Th , ^{232}U) дають величини порядку експериментальних відносних перерізів збудження 0^+ -станів з енергією в області подвійної енергетичної щільності.

1. V.I. Abrosimov, D.M. Brink, F. Matera. Bull. Russ. Acad. Sci. 78 (2014) 630.
2. A.I. Levon et al. arXiv: 1810.12592v1 (2018); submitted to PRC.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКЦІЇ РОЗВАЛУ ДЕЙТРОНІВ ПРИ РОЗСІЯННІ НА ЯДРАХ ^{40}Ca

О. В. Бабак, В. П. Михайлюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

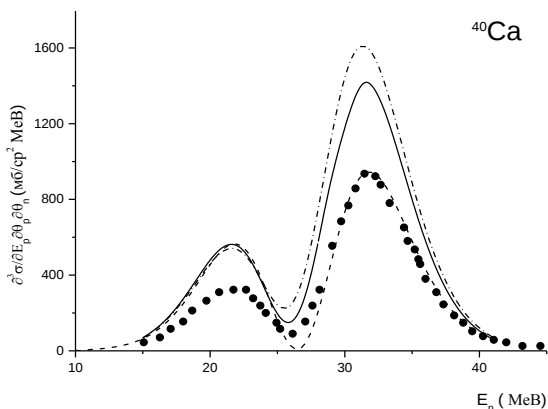
Дослідження взаємодії слабкозв'язаних ядер з важкими ядрами є важливим при вивченні динаміки ядерних реакцій і визначенні потенціалів ядерно-ядерної взаємодії [1 - 2]. У даній роботі в рамках методу деформованих хвиль [3] було вдосконалено алгоритм розрахунку амплітуди розвалу дейтроноподібної частинки в полі важкого ядра-мішені при надбар'єрних енергіях. Запропонований підхід базується на наближеному вирішенні рівняння Шрьодінгера і може бути використаний при розрахунках амплітуд інших різноманітних ядерних реакцій.

У такому підході матричний елемент реакції розвалу має вигляд

$$T = \left\langle \chi_p^{(-)}(\vec{r}_p) \chi_n^{(-)}(\vec{r}_n) \left| V_{np}(r) \right| \chi_d^{(+)}(\vec{r}_d) \phi_0(r) \right\rangle, \quad (1)$$

де $\phi_0(r)$ і $V_{np}(r)$ – хвильова функція і потенціал основного стану дейтрона, $\chi_p^{(-)}$, $\chi_n^{(-)}$, $\chi_d^{(+)}$ – деформовані хвильові функції протона, нейтрона та дейтрона, отримані із розв'язку рівняння Шрьодінгера з використанням оптичного потенціалу у формі Woods - Saxon.

На основі такого підходу виконано розрахунки перерізів $d^3\sigma/dE_p d\theta_p d\theta_n$ (мб/ср²МеВ) для реакцій розвалу дейтрона на ядрах ^{40}Ca при енергії 56 МеВ. Результати даних розрахунків для ядер ^{40}C представлено на рисунку.



Переріз розвалу дейтрона в $d - ^{40}\text{Ca}$ реакції. Суцільна і штрих-пунктирна криві розраховані з використанням різних наборів параметрів ядерного потенціалу. Пунктирна крива розрахована лише з урахуванням кулонівського потенціалу.

Виконані розрахунки вказують на те, що врахування кінематичних умов реакцій за таких енергій і властивостей налітаючої частинки дає змогу якісно описати наявні експериментальні дані. Відмінності між розрахованими і експериментально виміряними перерізами будуть обговорюватися у подальшому.

1. H. Okamura et al. Mechanism of the forward-angle (d, pn) reaction at intermediate energies. Phys. Rev. C 58(4) (1998) 2180.
2. H. Okamura et al. Study of breakup mechanism of a loosely bound projectile in a region of Coulomb-breakup dominance. EPJ Web of Conferences (2010) 06010.
3. G. Baur, D. Trautmann. The breakup of the deuteron and stripping to unbound states. Phys. Rep. 25(4) (1976) 293.

ПОГЛИНАННЯ ЗВУКОВИХ ХВИЛЬ У КІНЕТИЧНОМУ ПІДХОДІ

У. В. Григор'єв¹, О. Г. Магнер¹, М. І. Горенштейн²

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Інститут теоретичної фізики імені М. М. Боголюбова НАН України, Київ, Україна

Дисипативні властивості газу частинок вивчаються в рамках класичного кінетичного рівняння Больцмана з урахуванням теплопровідності. Для розра-

хунку швидкості c та коефіцієнта поглинання γ/k плоских звукових хвиль, де k – хвильове число, $k = \omega/c$, ω – частота хвилі, а γ – уявна частина комплексного хвильового числа $k + i\gamma$, використовується теорія лінійного відгуку. Визначається лінійна реакція функції розподілу $\delta f(\mathbf{r}, \mathbf{p}, t)$ частинок у фазовому просторі координат $\mathbf{r}$ та імпульсу $\mathbf{p}$ в момент часу t на зовнішнє поле $\delta V(\mathbf{r}, t) = \exp(-i\omega t) \int d\mathbf{k} V_{\mathbf{k}} \exp(i\mathbf{k}\mathbf{r})$, періодичне за часом t з частотою ω .

У наближенні часу релаксації τ , оберненого до частоти зіткнення частинок, для інтегралу зіткнень рівняння Больцмана маємо $\delta St \cong -\delta\varphi / \tau \equiv (\delta f - \delta f_{l.e.}) / \tau$. Динамічне відхилення локально рівно-важної функції розподілу $\delta f_{l.e.} = f_0 [\delta n / n + \mathbf{p}\mathbf{u} / T + (p^2 / 2mT - 3/2) \delta T / T]$ від статичного розподілу Максвела $f_0 \propto \exp(-p^2 / 2mT)$ при температурі газу T , m – маса частинки, визначається компонентами густини числа частинок $\delta n(\mathbf{r}, t)$, середньої швидкості їхнього руху $\mathbf{u}(\mathbf{r}, t)$ та температури $\delta T(\mathbf{r}, t)$. Це можна знайти відповідно до умов збереження числа частинок, їхнього імпульсу та енергії, $\int d\mathbf{r} \delta\varphi = 0$, $\int d\mathbf{r} \mathbf{p} \delta\varphi = 0$ та $\int d\mathbf{r} p^2 \delta\varphi = 0$. За допомогою розкладу в інтеграла Фур'є, $\delta f(\mathbf{r}, \mathbf{p}, t) = \exp(-i\omega t) \int d\mathbf{k} f_{\mathbf{k}} \exp(i\mathbf{k}\mathbf{r})$, та враховуючи визначення $\delta\varphi = \delta f - \delta f_{l.e.}$ через варіацію $\delta f_{l.e.}$, маємо систему п'яти лінійних рівнянь для п'яти Фур'є компонентів, а саме $n_{\mathbf{k}}$ густини $\delta n(\mathbf{r}, t)$, $\mathbf{u}_{\mathbf{k}}$ швидкості $\mathbf{u}(\mathbf{r}, t)$ та $T_{\mathbf{k}}$ температури $\delta T(\mathbf{r}, t)$. Ця система має розв'язок, якщо виконується дисперсійне рівняння $D(c, \gamma, \omega\tau) = 0$, де D – її детермінант, який залежить від швидкості c , поглинання γ та параметра Кнудсена $\omega\tau$ через уявну функцію похибок $\operatorname{erfi}(\xi)$ від $\xi = c(1 - i\gamma/k)(1 + i/\omega\tau)$. Це дисперсійне рівняння чисельно розв'язано відносно швидкості c та поглинання γ звуку при довільному $\omega\tau$ без застосування теорії збурень.

Отримані теоретичні результати демонструють універсальну залежність швидкості c та коефіцієнта поглинання γ/k звуку від параметра $\omega\tau$. При $\omega\tau \sim 1$ здійснюється перехід від режиму частих (РЧЗ, $\omega\tau \ll 1$) до режиму рідкісних (РРЗ, $\omega\tau \gg 1$) зіткнень. Показано, що обчислені нами величини узгоджуються з результатами теорії збурень у граничних випадках РЧЗ та РРЗ. Аналітично показано також, що в проміжній області при $\omega\tau \cong 4,5$ маємо злам похідних функцій $c(\omega\tau)$ та $\gamma(\omega\tau)$ по $\omega\tau$, що нагадує властивості деякого фазового переходу статистичної фізики. В області переходу між РЧЗ та РРЗ різко зростає швидкість звуку c , а коефіцієнт поглинання γ/k має максимум, що знаходиться в узгодженості з іншими теоретичними результатами

та експериментальними даними.

Наші результати можуть бути використані для кінетичного та гідродинамічного вивчення ядерної матерії, яка утворюється в ядро-ядерних зіткненнях при високих енергіях, на стадії від гідродинамічного фрізауту до пост-фрізауту вільного розльоту частинок.

1. A.G. Magner, M.I. Gorenstein, U.V. Grygoriev. Phys. Rev. E 95 (2017) 052113; 96 (2017) 062142; arXiv:1803.03426v2 [physics.flu-dyn] (2018).

ПОРІВНЯННЯ ЯДЕРНО-ЯДЕРНОГО ПОТЕНЦІАЛУ, РОЗРАХОВАНОГО В НАБЛИЖЕННЯХ ПОДВІЙНОЇ ЗГОРТКИ ТА ГУСТИНИ ЕНЕРГІЇ. ПЕРЕРІЗИ ПРУЖНОГО РОЗСІЯННЯ ТА ПІДБАР'ЄРНОГО ЗЛИТТЯ ВАЖКИХ ІОНІВ

О. І. Давидовська, В. Ю. Денисов, В. О. Нестеров

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

У роботі детально вивчаються ядерно-ядерні потенціали, які були розраховані в наближеннях подвійної згортки та густини енергії. Стандартний потенціал подвійної згортки враховує лише нуклон-нуклонну взаємодію, а внесок кінетичної енергії нуклонів ігнорується. На відміну від цього, в наближенні густини енергії внесок кінетичної енергії нуклонів завжди враховується. Тому в даній роботі внесок, пов'язаний зі зміною кінетичної енергії нуклонів, також було враховано при побудові потенціалу в рамках методу подвійної згортки.

Знайдено, що внаслідок врахування внеску кінетичної енергії нуклонів потенціал взаємодії стає менш притягуючим і висота бар'єра потенціалу збільшується.

Отримано ядерно-ядерні потенціали як з урахуванням та без урахування внеску кінетичної енергії нуклонів для систем $^{16}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$, $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$, $^{16}\text{O} + ^{56}\text{Fe}$, $^{16}\text{O} + ^{92}\text{Zr}$. Знайдено, що ядерна частина потенціалу взаємодії, отримана за допомогою методу подвійної згортки близька до ядерної частини, розрахованої в наближенні густини енергії без врахування внеску кінетичної енергії.

Проведено розрахунки перерізів підбар'єрного злиття та пружного розсіяння для реакцій $^{16}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$, $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$, $^{16}\text{O} + ^{56}\text{Fe}$, $^{16}\text{O} + ^{92}\text{Zr}$, використовуючи модифікований потенціал подвійної згортки з урахуванням внеску кінетичної енергії нуклонів. Показано, що знайдені перерізи добре узгоджуються з експериментальними даними. В той час як перерізи підбар'єрного злиття та пружного розсіяння, отримані за допомогою звичайного потенціалу подвійної згортки гірше описують експериментальні дані, зокрема, переріз злиття значно переоцінює величини перерізу в підбар'єрній області.

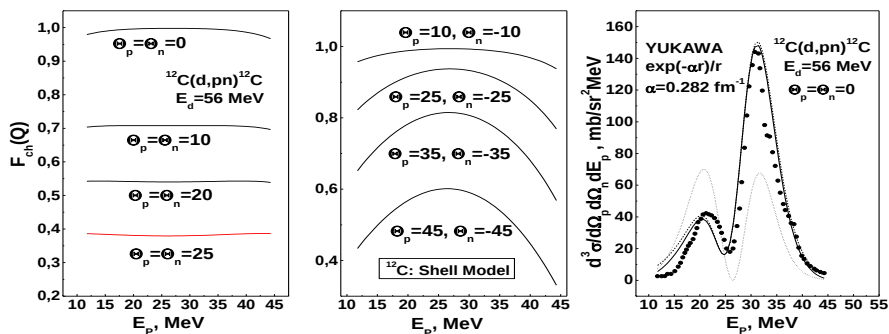
Показано, що врахування внеску кінетичної енергії в ядерно-ядерний потенціал подвійної згортки дає змогу одночасно описати експериментальні перерізи підбар'єрного злиття та пружного розсіяння.

ПРО РОЛЬ ФОРМ-ФАКТОРІВ ЯДЕР У ДИФРАКЦІЙНОМУ РОЗЩЕПЛЕННІ ДЕЙТРОНІВ

В. В. Давидовський, А. Д. Фурса

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Виконано побудову форм-факторів $F_{ch}(Q)$ розподілу заряду в ядрах різної ваги з метою дослідження їхнього впливу на структуру і форму спектрів протонів, які виникають в реакції (d,pn) в ядерно-кулоновому полі ядер [1]. Для цього використано різні моделі розподілів заряду. Для найлегших і легких ядер була взята оболонкова модель з потенціалом гармонічного осцилятора, яка дає змогу у явному вигляді побудувати розподіли заряду відповідно до заповнення ядерних оболонок протонами з урахуванням принципу Паулі. Для середніх і важких ядер обрано дві моделі Хелма: однорідно-гаусову і однорідно-однорідну, в яких припускається, що в середині ядра існує область, де густина заряду майже постійна і лише на границі є вузька область, в якій вона різко спадає до нуля. Така поведінка аналогічна розподілу Фермі, але значно простіша. Ці форм-фактори поряд з іншими величинами визначають амплітуду кулонового розвалу дейтрона і відіграють важливу роль у формуванні величини і поведінки енергетичних спектрів протонів та кореляційних спектрів продуктів, що виникають в реакції (d, pn). Так для геометрії розглянутого експерименту (рисунок праворуч [1]) передачі імпульсу Q повздовжні, малі і мало змінюються протягом всього енергетичного спектра (верхня крива на рисунку зліва).



Для інших ненульових кутів вильоту продуктів (нижні криві) $F_{ch}(Q)$ також практично постійний і грає роль редуційного фактора. У разі довільної

геометрії (середній малюнок) Q може бути великим і мінливим протягом протонного спектра, так що змінює не тільки величину, а й форму спектра.

1. В.В.Давидовский, А.Д.Фурса. Энергетические спектры протонов в дифракционном расщеплении дейтронов ядрами ^{12}C и ^{40}Ca при средних энергиях. Ядерна фізика та енергетика 17(2) (2016) 111.

THE FISSION WIDTH OF NUCLEUS WITH THE FISSION BARRIER DEPENDENT ON EXCITATION ENERGY AND THE RATIO OF THE FISSION AND NEUTRON EMISSION WIDTHS

V. Yu. Denisov

*Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Nowadays it is well-known that the fission barrier depends on the temperature or on the thermal excitation energy. For example, the fission barrier evaluated in the framework of the Strutinsky shell correction prescription consists of the liquid-drop and shell-correction contributions. The liquid-drop part of the fission barrier weakly depends on temperature at $T < 2.5$ MeV and strongly decreases at $T > 2.5$ MeV. The temperature dependence of the Strutinsky shell correction contribution into the fission barrier is induced by both the disappearance of the pair gap at critical temperature $T \sim 0.5$ MeV and exponential drops of the shell correction energy with the thermal excitation energy. The shell correction energy is close to zero at $T \sim 2.5$ MeV.

According to the Bohr - Wheeler transition state approach the fission width of nucleus relates to the number of states located over the fission barrier. Therefore, the reduced value of the fission barrier in hot nucleus leads to the increasing of the number of states located over the fission barrier in comparison the number of states located over the fission barrier obtained with the same value of the fission barrier as the one in the cold nucleus. As a result, the fission width calculated for the fission barrier dependent on excitation energy is larger than the one evaluated for the fission barrier independent on excitation energy. The detailed consideration of the temperature dependence of the fission barrier height and of the fission width of nuclei with the such fission barrier is presented. The influence of the energy-dependent barrier on the fission width is very important for superheavy nuclei and heavy nuclei, which have large shell-correction contribution into the fission barrier height.

The ratio of the fission and neutron emission widths $\Gamma_f(E)/\Gamma_n(E)$ is calculated using different expressions for the fission width, which take into account and ignore the dependence of the fission barrier on the excitation energy. A strong influence of the energy-dependent fission barrier on the ratio $\Gamma_f(E)/\Gamma_n(E)$ is shown. The dependence of the synthesis of superheavy nuclei on the ratio $\Gamma_n(E)/\Gamma_f(E)$ is

discussed. The experimental values of the ratio $\Gamma_f(E)/\Gamma_n(E)$ in ^{188}Os and $^{210,212}\text{Po}$ are well described using the fission width with a barrier dependent on the excitation energy. The values of the fission barrier height for these nuclei are estimated. The influence of the energy-dependent barrier on the ratio $\Gamma_f(E)/\Gamma_n(E)$ is stronger for nuclei with large shell contribution into the fission barrier. It is shown that this influence is very crucial for the superheavy nuclei.

CORRELATED TRANSITIONS IN TKE AND MASS DISTRIBUTIONS OF FISSION FRAGMENTS DESCRIBED BY 4-D LANGEVIN EQUATION

F. A. Ivanyuk¹, M. D. Usang², C. Ishizuka², S. Chiba²

¹ *Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

² *Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan*

We have decomposed the mass-TKE fission fragment distributions calculated by 4-dimensional Langevin approach to symmetric and asymmetric modes and observed how the dominant fission mode and symmetric mode change as functions of $Z^2/A^{1/3}$ of the fissioning system in the actinides and trans-actinide region [1]. As a result, we found that the symmetric mode makes a sudden transition from super-long to super short fission mode around ^{254}Es . The dominant fission modes on the other hand, are persistently asymmetric except for ^{258}Fm , ^{259}Fm and ^{260}Md when the dominant fission mode suddenly becomes symmetric although it returns to the asymmetric mode around ^{256}No . These correlated transitions has been known empirically by Darleane Hoffman and her group back in 1989, but for the first time we have given a clear explanation in terms of a dynamical model of nuclear fission.

By describing the fission process in terms of 4-D Langevin equations we have shown that the anomalously high TKE seen in ^{258}Fm , ^{259}Fm and ^{260}Md is the inevitable results of splitting of nucleus into two almost double magic fragments that are symmetric. However, unlike ^{236}U that demonstrate super-long fission modes for the symmetric splitting, these three nuclei of ^{258}Fm , ^{259}Fm , ^{260}Md and other fissioning systems around them have super-short fission modes.

The differences between super-long fission modes and the super-short fission modes shows itself in the Coulomb repulsion energy between the fission fragments that is stronger in the latter fission mode due to its shorter shape. Then a further investigation revealed that the super-short fission modes are present for all nuclei heavier than Einsteinium. Hence, the mystery on why the super-short fission modes are preferred in ^{258}Fm , ^{259}Fm , ^{260}Md are solved.

We even see the slow disappearance of super-long fission modes, prominent in ^{236}U and hardly identifiable for ^{250}Cf .

1. M.D. Usang et al. Scientific Reports 9 (2019) 1525.

ATTRACTIVE INTER-PARTICLE FORCE IN VAN DER WAALS MODEL OF MULTICOMPONENT HADRON GAS IN THE GRAND CANONICAL ENSEMBLE

Ya. D. Krivenko-Emetov^{1,2}

¹ *Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

² *National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine*

For the last decade, statistical models of hadron gas are actively used to describe Large Hadron Collider (LHC) data on yield of particles in nucleus-nucleus collisions at significant energies. The van der Waals model (VdW) with allowance for hadron repulsions at short distances proved to be particularly effective among these models. This is due to the fact that taking into account the repulsion effect leads to the prevention of undesirably large values of particle number densities at high temperatures. And also to the fact that in the collisions of heavy high-energy ions in LHC a large number of different species of particles are formed. The number of these particles is not fixed. Therefore, the model uses the formalism of the Grand Canonical Ensemble (GCE) in which thermodynamic quantities depend not on the number of particles but on chemical potentials. Over the years, various versions of VdW models have been proposed and applied to fit experimental data on the ratio of number of particles in A + A collisions at LHC energies. Tens or even hundreds of hadrons of different species can be a yield born depending on collision energy. These different hadrons will be denoted by the index "i".

Among these models we can distinguish the model proposed in [1]. In this model the intrinsic volume of the i-th kind of hadrons is expressed in terms of the radius of the hard core R_{ii} , the repulsion of two different species of particles "i" and "j" is expressed respectively in terms of the radius R_{ij} . The introduction of phenomenological parameters R_{ii} and R_{ij} markedly changes the yield of the number of particles N_i and is confirmed basically by experimental results. However, the VdW model has not been properly developed in the case when there are attraction forces between particles. Taking this fact into account would help us to describe more subtle effects in dependence of hadronic gas pressure on the density.

We can generalize this approach taking into account the attractive long-distance interaction $U_{attr} = -an(r)$ (where $n(r)$ – density) with sharp coordinate dependences [2 - 3].

Next we do this for a multicomponent gas of particles, and so on. For multicomponent systems we have double sums that can be transformed into a

multidimensional integral, having the saddle points

N_1^*, N_2^* etc. In particular, it would be good to make the transition from theory to experiment at CERN for the nucleus-nucleus collisions. First, we must do this in the case of a non-relativistic limit with a conserved number of particles without creating new ones (conservation of the number of particle $N_1^*, N_2^*, \dots$). Then we must make the transition to the relativistic nucleus-nucleus reactions at high energy densities. Other development applications may be related to dynamics for calculating kinetic coefficients such as viscosity, thermal conductivity, and diffusion.

1. M.I. Gorenstein, A.P. Kostyuk, Ya.D. Krivenko. J. Phys. G 25 (1999) 75.
2. Ya.D. Krivenko-Emetov. Interparticle attractive forces account of the multi-component hadron gas in the grand canonical ensemble. In: XXIV Annual Scientific Conference of Institute for Nuclear Research of National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, 2017) p. 36; XXV Annual Scientific Conference of Institute for Nuclear Research of National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, 2018) p. 34.
3. V. Vovchenko et al. Multicomponent van der Waals equation of state: Applications in nuclear and hadronic physics. Phys. Rev. C 96 (2017) 045202.

БЕТА-РАСПАД $^{127}\text{Te} \rightarrow ^{127}\text{I}$

А. А. Куртева

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

В рамках динамической коллективной модели (ДКМ) описан бета-распада $^{127}\text{Te} \rightarrow ^{127}\text{I}$. В предложенном методе [1] учитываются квазичастичные и многофононные (до десяти фононов) состояния основной полосы четно-четного остова, а также влияние вакуумных флуктуаций квазичастиц на перенормировку одночастичных моментов и эффективных сил. Рассчитаны энергии, магнитные дипольные и электрические квадрупольные моменты, спектроскопические факторы основного и возбужденных состояний ^{127}I , а также приведенные вероятности электромагнитных переходов между ними. Расчет бета-распада проводится после вычисления этих спектроскопических характеристик без введения дополнительных параметров.

Бета-распад идет с основного состояния ^{127}Te , в формирование которого основной вклад дает нейтронное одночастичное состояние $d_{3/2}$. Распадается нечетный нейтрон, т. к. нейтронная поверхность Ферми лежит выше протонной. Энергия распада равна 698 кэВ. В таблице приведено сравнение результатов наших расчетов с экспериментальными данными: в первой строке указаны спины состояний, на которые происходят бета-переходы, во второй –

енергии этих состояний, в третьей – экспериментальные значения $\lg ft$ (t – парциальный период полураспада), в четвертой – интенсивности переходов, в пятой – рассчитанные значения $\lg ft$.

I^π	$5/2_1^+$	$5/2_2^+$
$E, \text{кэВ}$	0	417,9
$\lg ft, \text{эксперимент}$	5,49(1)	6,09(6)
$I, \%$	98,8%	1,19%
$\lg ft, \text{ДКМ}$	5,4	6,2

С максимальной интенсивностью и вероятностью бета-переход идет на состояние $5/2_1^+$, основной вклад в которое дает протонное одночастичное состояние $d_{5/2}$, коллективные степени свободы дают незначительный вклад в вероятность бета-перехода. В состоянии $5/2_2^+$ основной вклад дает одночастичное состояние $g_{7/2}$, поэтому интенсивность и вероятность бета-перехода на него значительно меньше.

Механизмы бета-распада ^{127}Te и ^{127}Xe на стабильный изотоп ^{127}I отличаются, бета-переходы идут на разные возбужденные состояния и с разной интенсивностью. Это обусловлено различным расположением поверхностей Ферми и одночастичных подболочек вблизи поверхностей у двух материнских ядер.

2. И.Н. Вишневский и др. ЯФ 57(1) (1994) 17.

ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВИХ ЕФЕКТІВ НА НЕЙТРОННІ ШКІРУ ТА ГАЛО В АТОМНИХ ЯДРАХ

С. В. Лук'янов, А. І. Санжур

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

У даній роботі вивчаються середньоквадратичні радіуси для нейтронних та протонних просторових розподілів в ядрах, а також їхній ізотопічний зсув. Розрахунки проводилися в рамках моделі Гібса-Толмана-Вайдома [1] для розподілу з різким краєм та за допомогою прямого варіаційного методу для дифузного розподілу [2]. В якості хімічних нуклонних потенціалів вибиралися експериментальні значення одночастинкової енергії відділення нейтронів та протонів [3].

Отримано, що експериментальні середньоквадратичні радіуси ізотопів натрію добре описуються лише дифузним нуклонним розподілом. Протонні середньоквадратичні радіуси слабо залежать від масового числа і мають мінімум в районі стабільного ізотопу ^{23}Na . Для нейтроннонадлишкових ізотопів це явище пояснюється ізотопічною поляризацією в той час, як для ней-

троннодефіцитних - кулонівськими силами відштовхування між протонами. Нейтронні середньоквадратичні радіуси мають монотонне зростання з ростом масового числа (збільшенням кількості нейтронів).

Зсув середньоквадратичних радіусів добре описується в області середніх та важких ядер для дифузного просторового розподілу нуклонів. Для одночастинкових експериментальних хімпотенціалів в отриманих результатах спостерігається характерна пілкоподібна залежність, яка спричинена ефектами парності.

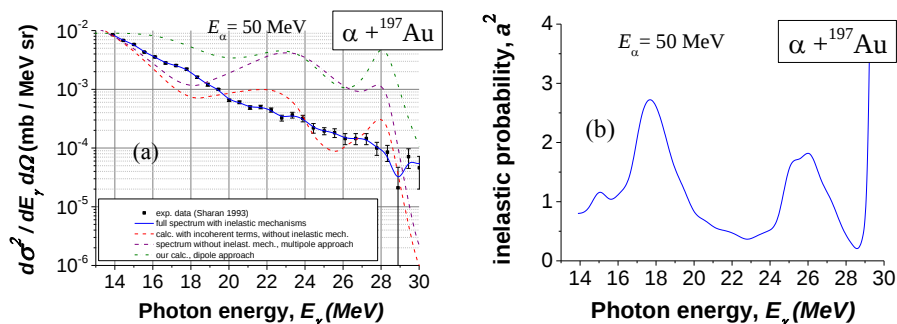
1. V.M. Kolomietz et al. Phys. Rev. C 95 (2017) 054305.
2. V.M. Kolomietz, S.V. Lukyanov, A.I. Sanzhur. Phys. Rev. C 85 (2012) 034309.
3. G. Audi et al. Chinese Physics C 36 (2012) 1287; M. Wang et al. Chinese Physics C 36 (2012) 1603.

ПОШУКИ КЛАСТЕРНОЇ СТРУКТУРИ ЯДЕР ПРИ РОЗСІЯННІ АЛЬФА-ЧАСТИНОК НА НИХ МЕТОДАМИ ГАЛЬМІВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

С. П. Майданюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Гальмівні фотони є потужним засобом отримання незалежної інформації про властивості ядер та взаємодії у ядерній фізиці [1]. У дослідженні ми вивчаємо випромінювання гальмівних фотонів, що виникає при розсіянні альфа-частинок на ядрах при енергіях пучків 50 MeV. Відзначимо, що існують експериментальні дані такого випромінювання [2].



Спектри випромінювання фотонів після включення непружних механізмів при розсіянні альфа-частинок на ядрах ^{197}Au у порівнянні з експериментальними даними [2] при енергії пучків альфа-частинок 50 MeV. Панель (а): Можна бачити, що включення механізмів некогерентного випромінювання фотонів та непружних механізмів покращує згоду між розрахунками (суцільна лінія) та експериментальними даними (тут, штрихова лінія – розрахунки без некогерентного випромінювання у мультипольному підході, штрих-пунктирна лінія – розрахунки без некогерентного випромінювання у дипольному підході). Панель (б): Амплітуда непружних механізмів, що нами здобуто з аналізу методами гальмівних фотонів.

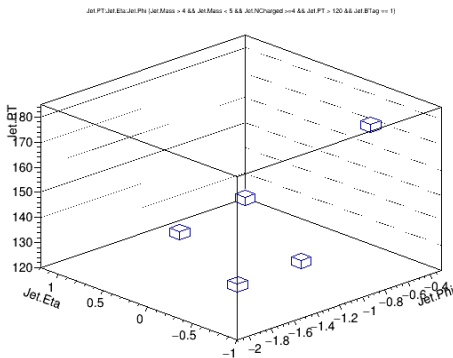
Нами виявлено, що експериментальні спектри [2] не можна пояснити тільки розрахунками когерентного випромінювання, як це раніше робилося нами для інших реакцій [1]. Включення некогерентного випромінювання у розрахунки покращує опис даних [2]. Але вони не дозволяють описати данні [2] повністю, де існують стійкі максимуми у спектрах при певних енергіях фотонів. З метою знайти пояснення їх, у цій роботі нами було введено додатково непружні механізми у модель та досягнуто гарної згоди розрахунків з експериментом. На основі аналізу нами виявлено ясну вказівку на існуванні кластерних станів у ядрах при таких певних значення енергії (рисунок). У доповіді буде представлено результати таких досліджень.

1. S.P. Maydanyuk. Phys. Rev. C 86 (2012) 014618; S.P. Maydanyuk et al. Phys. Rev. C 91 (2015) 024605; Phys. Rev. C 93 (2016) 014617; Phys. Rev. C 98, (2018) 054613.
2. M.K. Sharan et al. Ultradipole photon production in 40 and 50 MeV α -nucleus collisions. Phys. Rev. C 48(6) (1993) 2845.

MSSM HIGGS BOSON IDENTIFICATION THROUGH B-TAGGING ALGORITHM

T. V. Obikhod, I. A. Petrenko

*Institute for Nuclear Research, National Acadme of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*



The Jet PT identification
in the Eta and Phi area.

tum and the number of charged jets were used for the identification of the MSSM Higgs boson [2] and top quarks. Using the kinematical cuts for p_t , η with $\tan\beta = 3$ and $E = 14$ TeV presented in the Figure we can calculate the mass of MSSM Higgs boson.

In the framework of the reaction of Htt production with experimentally observed excess of events, with a significance of 5.2 standard deviations [1], we have studied the kinematical properties of the products of decay. Using b-tagging algorithm with the help of MADGRAPH and Detector response we have identified transverse moment, pseudorapidity and number of particles as the result of reaction. The mass of bottom quarks as well as their numbers, transverse momen-

Work done at the expense of funds of the budget program “Support for the development of priority areas of Scientific Research” (КПІКБК 6541230).

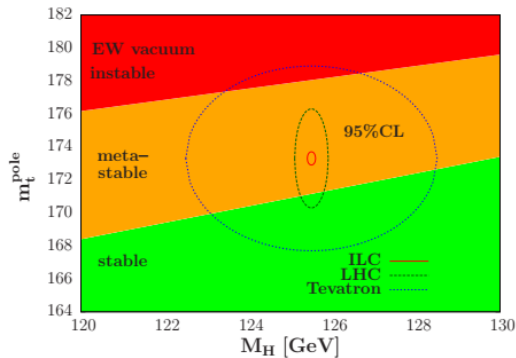
1. The CMS Collaboration, Observation of ttH production. CERN-EP-2018-064 2018/06/11.
2. M. Tanabashi et al. (Particle Data Group). Status of Higgs Boson Physics. Phys. Rev. D 98 (2018) 030001.

HIGGS BOSON AND NONSTABILITY OF ELECTROWEAK VACUUM

T. V. Obikhod

*Institute for Nuclear Research, National Acadme of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

The need to search for new physics associated with the problems of the standard model [1] leads to the need to use the appropriate theoretical apparatus such as the theory of D-branes [2, 3]. In this case, complex nonlinear equations describing processes at high energies and their solutions are replaced by considering vector bundles and by calculation of their topological invariants – analogs of solutions of nonlinear equations. Such topological invariants of type IIB superstring theory are the Ramon-Ramon (RR) charges described by K-theory [4]. Examples of calculating of the RR charges for several cases of spaces of extra dimensions are considered. The possibilities of embedding Calabi-Yau spaces suggest the phase transitions between different soliton states in vacuum, described by topological invariants. Such transitions are connected with the existence of a multiverse with different vacua. This explains the instability of the electroweak vacuum presented in Figure in terms of measuring of the properties of the Higgs boson and the top-quark mass [5].



Plane of the top quark and Higgs mass measurements at the Tevatron, LHC and future measurements at the ILC, from [5].

1. J.D. Lykken. Beyond the Standard Model. CERN Yellow Report. CERN, 2010. P. 101; arXiv:1005.1676.
2. B. Zwiebach. A First Course in String Theory. Cambridge University Press, 2004.
3. C.P. Bachas. Lectures on D-branes. 1998. arXiv:hep-th/9806199.
4. K. Olsen, R.J. Szabo. Constructing D-Branes from K-Theory. Adv. Theor. Math. Phys. 3 (1999) 889.
5. S. Alekhin, A. Djouadi, S. Moch. The top quark and Higgs boson masses and the stability of the electroweak vacuum. Physics Letters B 716(1) 214; arXiv:1207.0980.

МОДЕЛЬ РЕЗОНАНСНОГО РАСПАДА ВО ВРЕМЕНИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ КОМПАУНД-СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИНКЛЮЗИВНЫХ СПЕКТРОВ ОДИНОЧНЫХ КОНЕЧНЫХ ФРАГМЕНТОВ В ВЫСОКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ, НОВЫЕ РАСЧЕТЫ

С. А. Омельченко, В. С. Ольховский

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

Показано, что аномальное высоко-температурное статистическое равновесие, иногда наблюдаемое в высоко-энергетических реакциях довольно широкого энергетического диапазона (0,1 - 10 ГэВ/нуклон) при столкновении не слишком тяжелых частиц-снарядов (от p до ^{40}Ar) с тяжелыми ионами-мишенями (от ^{27}Al до ^{238}U), можно описывать с помощью модели резонансного распада во времени устойчивой (в микроскопических масштабах времени 10^{-23} - 10^{-22} с) компаунд-системы, образующейся сразу после столкновения из фрагментов бомбардирующих частиц и фрагментов мишеней. Экспериментально это проявлялось в экспоненциально спадающих (иногда с осцилляциями) с ростом энергии инклюзивных спектрах конечного фрагмента процесса столкновения, вне зависимости от типа этого фрагмента, вне зависимости от мишеней и бомбардирующих частиц, а также их энергий. Эти промежуточные компаунд-системы представляют собой устойчивые высоковозбужденные и неэкспоненциально распадающиеся ядерные комплексы, поведение которых сложно объяснить Брейт-Вигнеровской формой амплитуды реакции для резонансных состояний. Нехарактерная устойчивость таких комплексов отмечалась ранее во многих работах (см., например, [1 - 2]), причем при больших массах частиц-снарядов подобное явление наблюдалось даже при меньших энергиях (см., например, [3]).

Модель, подходящая для описания такого процесса основана на аналогии стандартных энергетических резонансов и, так называемых, «временных резонансов» при введении иной параметризации для амплитуды реакции:

$$f_{\alpha\beta}(E) = \sum_{n=1}^v C_{\alpha\beta}^n \exp[-E\tau_n / 2\hbar + iEt_n / \hbar],$$

(здесь t_n, τ_n – параметры n -го временного резонансу, $C_{\alpha\beta}^n$ – комплексные коэффициенты, зависящие, вообще говоря, от энергии и угла вылета конечного фрагмента) основанной на формальной аналогии между метастабильными состояниями с собственными комплексными энергиями в качестве собственных состояний уравнения Шредингера и соответствующими комплексными собственными значениями оператора времени $\hat{T} = i\hbar\partial/\partial t$, связанного с Гамильтонианом известным коммутационным соотношением $[\hat{H}, \hat{T}] = i\hbar$.

Оценена скорость и вероятность распада промежуточной компаунд-системы. Показаны границы применимости метода, и проведены расчеты некоторых инклюзивных энергетических спектров для некоторых реакций: ${}^4\text{He} + {}^{238}\text{U} \rightarrow p$; ${}^{20}\text{Ne} + {}^{238}\text{U} \rightarrow p$ при энергиях 400 МэВ/нуклон, а также ${}^{20}\text{Ne} + {}^{238}\text{U} \rightarrow p$; ${}^{20}\text{Ne} + {}^{238}\text{U} \rightarrow {}^3\text{He}$ при энергиях 2,1 ГэВ/нуклон.

1. J. Gosset et al. Central collisions of relativistic heavy ions. Phys. Rev. C 16 (1977) 629.
2. G. Westfall et al. Energy spectra of nuclear fragments produced by high energy protons. Phys. Rev. C 17 (1978) 1368.
3. R. Alba et al. On the origin of fast proton emission in intermediate heavy ion collisions. Phys. Lett. B 322 (1994) 38.

ТЕСТУВАННЯ ТА МОДИФІКАЦІЯ ФОТОННИХ СИЛОВИХ ФУНКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ ФОТОПОГЛИНАННЯ ТА ГАММА-РОЗПАДУ

В. А. Плюйко^{1,2}, О. М. Горбаченко¹, К. М. Солодовник¹

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Розглянуто аналітичні вирази для фотонних силових функцій (ФСФ), що базуються на відгуку гігантського дипольного резонансу (ГДР) для опису експериментальних даних з E1 та M1 гамма-переходів [1 - 4]. Експериментальні дані з фотопоглинання порівнюються із теоретичними розрахунками для парно-парних ядер із використанням критеріїв мінімуму суми квадратів відхилень та мінімуму середньоквадратичного відхилення. При порівнянні розглянуто теоретичні моделі: Стандартний Лоренціан (SLO), Спрощена модель модифікованого Лоренціану (SMLO), узагальнений Лоренціан (GLO) [1, 2], модель потрійного Лоренціану (TLO) [3] та розширена модель модифікованого Лоренціану зі сталою шириною вище енергії ГДР (SMLOe).

Експериментальні дані для ФСФ гамма-розпаду [5] порівнюються із вка-

заними моделями з урахуванням внеску від M1 переходів.

При порівнянні опису даних по фотопоглинанню з бази EXFOR була проаналізована їхня надійність. Зокрема, такі дані у енергетичному діапазоні dE трохи вище від енергії відділення нейтрона не містять внеску від гамма-гамма каналу. Відсутність цього внеску призводить до некоректного розрахунку величин ФСФ. Тому, було обраховано енергетичні інтервали dE для усіх ізотопів на основі теоретичних розрахунків перерізів із використанням коду TALYS 1.6 [6]. Ці інтервали було визначено з умови 10 % внеску гамма-гамма каналу до повного перерізу фотопоглинання. Із використанням вказаних інтервалів, було підготовлено нову базу E1 ФСФ із систематичною похибкою менше 10 %.

Продемонстровано, що підхід SMLO можна вважати найбільш адекватною моделлю опису E1 ФСФ в області енергій гамма-квантів до 30 MeV. Оскільки в моделі SMLO енергетично-зважене правило сум не виконується через стале зростання ширини зі збільшенням енергії, то для моделювання E1 ФСФ у області енергій вищих за значення енергій ГДР запропоновано нову модель SMLOe, яка розширила опис даних на гамма-енергії вищі за 30 MeV.

Дана робота частково підтримана МАГATE (IAEA, Vienna) в рамках дослідницького проекту “Updating the Photonuclear Data Library and generating a Reference Database for Photon Strength Functions” (IAEA CRP No.F41032).

1. R.Capote et al. Nuclear Data Sheets 110 (2009) 3107.
2. V.A. Plujko et al. At. Data Nucl. Data Tables 123 - 124 (2018) 1.
3. A.R. Junghans et al. Phys. Lett. B 670 (2008) 200.
4. S. Goriely, V. Plujko. Phys. Rev. C 99 (2019) 014303.
5. Oslo Compilation of Level Densities and Strength Functions, web-cite of IAEA CRP on Photonuclear Data and Photon Strength Functions (CRP No.F41032) <https://www-nds.iaea.org/CRP-photonuclear/>
6. A.J. Koning, S. Hilaire, M.C. Duijvestijn. TALYS-1.0. Proc. Intern. Conf. “Nuclear Data for Science and Technology”, April 22–27, 2007, Nice, France. (EDP Sciences, 2008) p. 211.

НАУКОВІ ДОСЯГНЕННЯ В. М. КОЛОМІЙЦЯ

С. В. Радіонов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

У доповіді обговорюються основні напрямки і теми наукової роботи видатного вченого, професора В.М. Коломійця. Основний акцент зроблено на обговоренні ідеї В.М. Коломійця про важливу роль не-марківських ефектів (ефектів пам'яті) в ядерній колективній динаміці з великою амплітудою. Ця ідея була досліджена в низці наших спільних робіт, починаючи з роботи присвяченій часовим характеристикам не-марківського колективного руху з сідлової точки

до точки розриву ядра і закінчуючи роботами з узагальнення теорії Крамерса для теплової не-марківської дифузії через ядерний бар'єр поділу. Також обговорюються ідеї В.М.Коломійця про квантово-механічну дифузію у просторі заселенностей внутрішніх нуклонних ступеней вільності багаточастинкової ядерної системи. Така дифузія може бути мікроскопічною причиною незворотнього в часі зменшення (дисипації) енергії колективного руху.

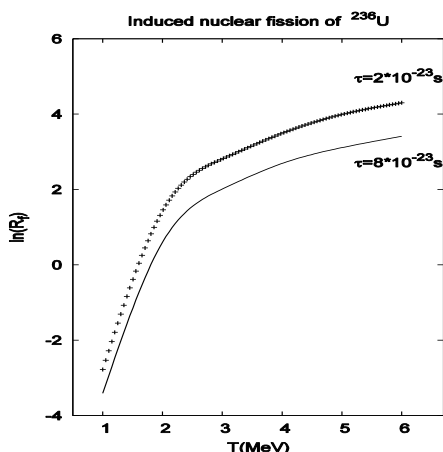
ДИНАМІКА ЯДЕРНОГО ПОДІЛУ ПРИ ВИСОКИХ ЕНЕРГІЯХ ЗБУДЖЕННЯ

С. В. Радіонов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

У даній роботі ми вивчили основні характеристики ядерної колективної динаміки поділу в Ланжевенівському наближенні

$$M\ddot{q} = -\frac{\partial E_{pot}}{\partial q} - \kappa_0 \int_0^t \exp\left(-\frac{|t-t'|}{\tau}\right) \dot{q}(t') dt' - \zeta(t), \quad (1)$$



Залежність швидкості R_f симетричного ядерного поділу ^{236}U в рамках немарківської Ланжевенівської динаміки (1) від початкової температури ядра T . Суцільна крива відповідає ситуації досить сильних ефектів пам'яті (коли час пам'яті у рівнянні (1) $\tau = 8 \cdot 10^{-23} \text{ s}$) та точкова крива відповідає ситуації достатньо слабких ефектів пам'яті (коли час пам'яті у рівнянні (1) $\tau = 2 \cdot 10^{-23} \text{ s}$).

де M – сталий колективний масовий коефіцієнт, $E_{pot}(q)$ колективна потенціальна енергія системи, стохастична сила у рівнянні (1) задовільняє флуктаційно-дисипативну теорему

$$\langle \zeta(t) \zeta(t') \rangle = \frac{T}{M} \kappa_0 \exp\left(-\frac{|t-t'|}{\tau}\right). \quad (2)$$

Було знайдено, що швидкість ядерного поділу із збільшенням початкової температури ядра T зростає. При цьому збільшується величина ефектів пам'яті в ядерній динаміці (1), див. рисунок.

ЭФФЕКТЫ КВАНТОВОЙ СТАТИСТИКИ ВБЛИЗИ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЯДЕРНОЙ МАТЕРИИ

С. Н. Федоткин¹, А. Г. Магнер¹, М. И. Горенштейн²

¹ *Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина*

² *Институт теоретической физики им. Н. Н.Боголюбова НАН Украины, Киев, Украина*

Анализируется влияние квантовой статистики на уравнение состояния ядерной материи в рамках квантовой модели Ван-дер-Ваальса (ВдВ) [1]. В отличие от работы [1], в предложенном ниже подходе [2] давление в системе разлагается по малому параметру

$$\delta = \frac{\hbar^3 n}{2g (1-bn)} \left(\frac{\pi}{mT} \right)^{3/2},$$

где n и T – плотность числа частиц и температура, соответственно, m и g – масса частицы и коэффициент вырождения. Параметр b соответствует исключенному объему в модели Ван дер Ваальса. Поправки за счет квантовой статистики для критических значений температуры T_c , плотности n_c и давления P_c вычисляются в линейном и квадратичном порядках по δ . Для симметричной ядерной материи ($g = 4$) получены следующие выражения для критических параметров в линейном порядке по δ :

$$T_c \approx T_0 (1 - 2\delta_0), \quad n_c \approx n_0 (1 - 2\delta_0),$$

где T_0 и n_0 – критические значения температуры и плотности, вычисленные в классической модели ВдВ без учета эффектов квантовой статистики, а δ_0 – это параметр δ , вычисленный при значениях $T = T_0$ и $n = n_0$. В таблице представлены результаты расчета критических точек в классической модели ВдВ, приближенное выражение с учетом поправки первого порядка по δ и численный расчет работы [1].

Критическая точка	Клас. ВдВ	Поправка 1-го порядка по δ	Кван. ВдВ [1]
T_c , МэВ	29,2	19,0	19,7
n_c , Фм^{-3}	0,1	0,065	0,072
P_c , МэВ· Фм^{-3}	1,09	0,48	0,52

Учет ферми-статистики приводит к существенному изменению параметров системы в критической точке. Следует подчеркнуть, что учет поправок первого порядка по δ достаточно хорошо воспроизводит влияние квантовой статистики на критические точки и позволяет наглядно продемонстрировать их зависимость от массы частицы m и коэффициента вырождения g . Полученные приближенные аналитические результаты находятся в хорошем согласии с численными расчетами квантовой модели ВдВ для взаимодействующих ферми-частиц.

Предложенный подход был применен также к системе взаимодействующих бозонов, в частности для материи, состоящей из α -частиц.

1. V. Vovchenko, D. Anchishkin, M. Gorenstein. Phys. Rev. C 91 (2015) 064314.
2. S.N. Fedotkin, A.G. Magner, M.I. Gorenstein. [arXiv: 1903.02361](https://arxiv.org/abs/1903.02361) [nucl-th] (2019).

ПРОСТИЙ ОПИС ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ШИРИНИ МАСОВОГО РОЗПОДІЛУ ОСКОЛКІВ ПОДІЛУ ^{197}Au ТА ^{209}Bi ПРИ СЕРЕДНІХ ЕНЕРГІЯХ

В. П. Хоменков¹, В. Ю. Денисов¹, О. А. Беляновська², К. М. Сухий²

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро, Україна

Масовий розподіл осколків є дуже важливою характеристикою процесу поділу. Часто розподіл осколків поділу описується феноменологічно за допомогою гаусіанів з відповідною шириною. Ця ширина залежить від енергії збудження ядра, що ділиться.

Ми розглянули ширину масового розподілу осколків при середніх та високих енергіях збудження подільної системи в статистичному наближенні. Було взято до уваги не тільки об'ємну, а й поверхневу складові параметра густини рівнів. Одержано простий вираз для температурної залежності ширини масового розподілу при високих енергіях

$$\sigma^2 = \frac{2A^2T}{C + 2kA^{2/3}T^2},$$

де C – параметр жорсткості потенціалу, k – параметр, пов'язаний з поверхневим внеском в густину рівнів, A – число нуклонів подільного ядра, T – його температура.

При значних енергіях збудження дуже важливим є процес випаровування нейтронів, що передує поділу. Це призводить до того, що при значних енергіях збудження значення максимуму масового розподілу A_{prob} суттєво менше, ніж $A/2$. Тому у вираз для ширини масового розподілу замість A слід підстав-

ляти $2A_{\text{проб}}$. Крім того, при випаровуванні нейтронів також зменшується енергія ядра, що ділиться. Внаслідок цього температура ядра у сідловій точці також зменшується.

Наведена формула була використана для підгонки наявних експериментальних даних про масовий розподіл осколків поділу ^{197}Au [1] та ^{209}Bi [2, 3]. Розраховані ширини масових розподілів осколків поділу для цих ядер добре узгоджуються з експериментальними даними.

1. H. Naba et al. J. Nucl. Radiochim. Sci. 1 (2000) 53.
2. H. Naba et al. Radiochim. Acta 90 (2002) 371.
3. H. Naik et al. Nucl. Instr. Methods B 267 (2009) 1891.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ ЗВ'ЯЗКУ ЛЕГКИХ ЯДЕР У КОМПАКТНИХ ЗОРЯХ

К. А. Шаульський¹, С. П. Майданюк²

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Однією з найсуттєвіших характеристик, що є проявом ядерних сил, є енергія зв'язку ядер. Дослідження питання, що стане з ядрами, якщо їх помістити в екстремальні умови, дає можливість значно розширити наші уявлення про ядерні сили.

У своєму дослідженні нами зроблено фокус саме на аналіз цієї характеристики для найлегших ядер, що знаходяться у середовищі компактних зірок [1]. Нас цікавлять наступні питання. Чи можуть ядерні сили тримати зв'язані системи з нуклонів або такі ядра розриваються гравітаційними силами, тиском середовища зірок? Чи змінюються саме ядерні сили у таких умовах та як саме? Як саме це проявляється для різних компактних зірок, від білих карликів до нейтронних зірок?

Щоб відповісти на такі запитання та отримати перші оцінки, ми отримуємо аналітичні розв'язки для енергії зв'язку для найлегших ядер, у рамках багатонуклонної теорії ядра [2, 3] (куди ми включили додатково свій новий формалізм сил впливу на ядро у зірці). Нами обрано політропну модель зірки (яка часто використовується у перших наближеннях при дослідженні білих карликів та інших типів зірок [4]), яка дає найпростіше та ясне розуміння.

Ми вивчаємо, як саме змінюється енергія зв'язку легких ядер під впливом середовища компактних зірок. Виявлено, що починаючи від деякої критичної відстані між ядром, що досліджується, та центром зірки ядро розсипається на нуклони (на основі аналізу повної енергії ядра від параметрів зірки). Згідно з результатами обчислень, це явище так званої дисоціації ядер не виникає у білих карликах у рамках такого розгляду (тобто для цього сил гравітаційного тиску на ядро недостатньо). Але таке явище ми спостерігаємо у нейтронних зірках.

Нами отримано значення критичної відстані від центра зірки для найлегших ядер при густинах, що характерні для нейтронних зірок, починаючи з якої існує дисоціація ядер. Тобто, у рамках поєднання аналітичного представлення багатонуклонної моделі ядра з достатньо простою політропною моделлю зірки нами отримано фізичне пояснення явища дисоціації ядер у компактних зірках.

1. А.Ю. Потехин. Физика нейтронных звезд. УФН 180 (2010) 1279.
2. K. Wildermuth, Y.C. Tang. *A Unified Theory of the Nucleus* (Vieweg, 1977).
3. Y.C. Tang, M. LeMere, D.R. Thompson. Phys. Rep. 47 (1978) 167.
4. Г.С. Бисноватый-Коган. *Релятивистская астрофизика и физическая космология* (Москва: Красанд, 2011) 376 с.
5. I. Steshenko, G.F. Filippov. Size and shape of neutron-excess nuclei. Journ. Nucl. Phys. 14 (1971) 715 [In Russian: А.И. Стешенко, Г.Ф. Филиппов, Размеры и форма ядер с избытком нейтронов. Ядерная Физика 14(4) (1971) 715].

DETERMINING MODERN ENERGY DENSITY FUNCTIONAL FOR NUCLEAR MANY-BODY SYSTEMS

Shalom Schlomo

Cyclotron Institute, Texas A&M University, College Station, USA

The development of a modern and more realistic nuclear energy density functional (EDF) for accurate predictions of properties of nuclei is the subject of enhanced activity, since it is very important for the study of properties of rare nuclei with unusual neutron-to-proton ratios that are difficult to produce experimentally and likely to exhibit interesting new phenomena associated with isospin, clusterization and the continuum.

We will describe a method for determining the parameters of the EDF, associated with the Skyrme type effective interaction, by carrying out a Hartree-Fock based fit to extensive set of data of ground state properties and giant resonances and imposing additional constraints, such as the Landau stability conditions.

We will then present results of our calculations of properties of nuclei and nuclear matter (NM) by employing our newly obtained EDF and address, in particular, the equation of state (EOS) of symmetric and asymmetric NM. The EOS of NM is an important ingredient in the study of various properties of nuclei, heavy-ion collisions, supernovae and neutron stars. Accurate values of the NM incompressibility coefficient, K , and the symmetry energy coefficient, J , are needed in order to extend our knowledge of the EOS in the vicinity of the saturation point of the symmetric NM and for asymmetric NM. We will discuss the current status of K and J , as deduced from properties of isoscalar and isovector giant resonances of various multipolarities.

ВИПРОБУВАННЯ ПРОТОТИПУ КОМПАКТНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО КАЛОРИМЕТРА LumiCal ТА ВИМІРЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОГО РАДІУСА МОЛЬ'ЄРА

Х. Абрамович¹, Я. Бенхамму¹, О. Борисов¹, М. Борисова², А. Леві¹, І. Леві¹

¹ Тель-Авівський університет, Тель-Авів, Ізраїль

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Електромагнітний калориметр LumiCal – це компактний люмінометр, що розробляється для майбутніх електрон-позитронних та електрон-іонних колайдерів. Прототип цього калориметра, що складається з 8 модулів кремнієвих детекторів, вставлених в щілини 1 мм між вольфрамовими поглиначами, було протестовано на прискорювачі DESY з електронними пучками 1 - 5 GeV.

Метою цього випробування було продемонструвати можливість роботи компактного прототипу вольфрамо-кремнієвого калориметра з пів міліметровими чутливими шарами, а також, вивчення розвитку електромагнітного каскаду та порівняння його з Монте-Карло (MC) моделюванням.

Більше семи мільйонів подій було зібрано на електронному пучку з енергіями від 1 до 5 GeV, з кроком в 1 GeV для різних конфігурацій установки для вимірювання точності положення електромагнітного каскаду, його розвитку в поздовжньому і поперечному напрямках і ефективного радіуса Моль'єра. Встановлено, що прототип демонструє лінійний відгук на енергію пучка. Добре узгодження було знайдено між даними та моделюванням у Geant4.

Розрахунки радіуса Моль'єра були отримані за допомогою параметризації поперечної форми електромагнітного каскаду. Визначено, що величина ефективного радіуса Моль'єра при енергії електронів 5 GeV становить $(8,1 \pm 0,3)$ мм [1], і це значення добре відтворюється MC моделюванням $(8,4 \pm 0,1)$ мм.

Також, було вивчено енергетичну залежність у діапазоні 1 - 5 GeV. Спостерігається невелике зменшення, пропорційне $E_{\text{inc}}^{(-0,15 \pm 0,04)}$, яке пояснюється обмеженою глибиною прототипу та витоками енергії. Ці результати демонструють можливість побудови компактного калориметра, відповідно до концептуальної конструкції, яка оптимізована для вимірювання світимості з високою точністю в майбутніх експериментах на e^+e^- колайдерах.

1. H. Abramowicz et. al. Performance and Moli'ere radius measurements using a compact prototype of LumiCal in an electron test beam. Dec. 29, 2018. 16 pages e-Print: arXiv:1812.11426 [physics.ins-det]

ІЗОМЕРНІ ВІДНОШЕННЯ ДЛЯ ПРОДУКТУ ФОТОРЕАКЦІЇ (γ , 3n) НА ^{55}Mn , ^{107}Ag , ^{113}In

О. А. Безшийко¹, О. М. Водін², Л. О. Голінка-Безшийко¹, І. М. Каденко¹,
А. В. Котенко¹, В. А. Кушнір², В. В. Мітроченко², С. М. Олійник²,
С. А. Пережогін², Т. В. Повар¹

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

² НДК «Прискорювач» ННЦ ХФТІ, Харків, Україна

Отримання нових експериментальних даних із взаємодії гамма-квантів з ядрами в діапазоні енергій (30 ÷ 100) МеВ дає можливість перевірки теоретичних та модельних підходів при дослідженні фотоядерних реакцій в області енергій вище гігантського дипольного резонансу та більш глибокого розуміння процесів взаємодії гамма-квантів з ядрами в цьому діапазоні енергій.

Було проведено вимірювання ізомерних відношень для ядер ^{52}Mn , ^{104}Ag , ^{110}In що утворюються в результаті реакції з вильотом трьох нейтронів на зразках ^{55}Mn ^{107}Ag та ^{113}In при опроміненні гальмівними гамма-квантами з граничними енергіями в діапазоні 40 - 45 МеВ. Опромінення проводилося γ -квантами гальмівного спектра лінійного прискорювача електронів НДК «Прискорювач» ННЦ ХФТІ ЛУ-40 з танталовою мішенню товщиною 1,05 мм. Енергетична роздільна здатність пучка електронів була не гірше 1 % при середньому струмі до 5 мкА. Для вимірювання наведеної активності зразків використовувалась спектрометр на базі напівпровідникового HPGe-детектора з відносною ефективністю 20 % та енергетичною роздільною здатністю 1,9 кеВ для лінії 1332 кеВ ^{60}Co . Калібровку по ефективності детектора було проведено на всіх відстанях «зразок - детектор», для яких проводився набір апаратурних гамма-спектрів опромінених зразків. Для калібровки використовувалися джерела з набору ОСГІ. Відхилення калібрувальних значень від лінійної залежності в подвійному логарифмічному масштабі не перевищувало 2 %.

Проведено порівняння експериментально виміряних значень ізомерних відношень з теоретично розрахованими величинами, отриманими з використанням коду TALYS [1]. Ізомерні відношення розраховувалися з урахуванням як статистичних механізмів перебігу фотоядерних реакцій, так і передрівноважних процесів.

1. A.J. Koning, S. Hilaire, M.C. Duijvestijn. TALYS: Comprehensive nuclear reaction modeling./ AIP Conf. Proc. Vol. 769. P. 1154. <http://www.talys.eu>

STUDY OF GAMMA-SPECTRUM DISCREPANCY IN $^{nat}\text{Cd}(n, \gamma)$ REACTION

**B. M. Bondar^{1,2}, O. M. Gorbachenko³, B. Yu. Leshchenko¹,
I. M. Kadenko³, V. A. Plujko³, K. M. Solodovnik³**

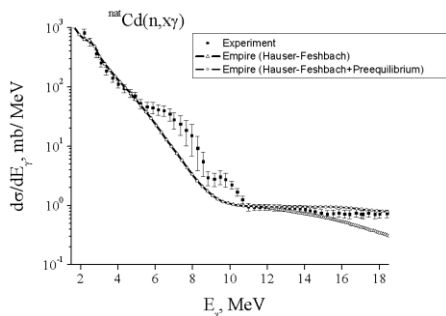
¹ Nuclear Power Plants and Engineering Thermal Physics Department,
National Technical University of Ukraine

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

² All-Ukrainian Center for Radiosurgery, Clinical Hospital "Feofania",
Kyiv, Ukraine

³ Nuclear Physics Department, Taras Shevchenko National University,
Kyiv, Ukraine

The cross sections of (n, γ) reactions are required for radiation damage and shielding calculations of the nuclear facilities, and the 14-MeV (DT) neutrons are of special importance for these tasks because of many number of open reaction channels at this energy. Despite large number of experiments performed with DT neutrons, there are still disagreements between nuclear data from different authors or between experimental results and theoretical calculations. In particular, the last one was obtained in our experiments for Cd element [1], which is commonly used in the nuclear technologies. The experimental data on gamma-ray spectrum were obtained using the 14-MeV pulse neutron generator PNG-200 and applying TOF-technique for $n\text{-}\gamma$ discrimination with pulse repetition period (PRP) of 140 ns and with γ -detection time window of 20 ns.



Here we study possible reasons of the disagreement of the experimental data and calculations in the energy range 5.5÷10 MeV (see Figure). The MCNP simulations of experiment were performed for this study. The experimental hall, PNG-200, detector facility and all the surroundings were built for simulations, and the neutron flux was determined on the sample surface within the high (0.1÷14 MeV) and low (0÷0.5 eV) energy ranges. It

was shown that the main reason of the discrepancy is the contribution of the gamma-ray spectra from (n, γ) reactions that can be resulted from rescattered neutrons. New experimental geometry is finalized with clear separation of primary 14-MeV and low energy rescattered neutrons.

This work is partially supported by the IAEA through a CRP on Updating the Photonuclear Data Library and generating a Reference Database for Photon Strength Functions (F41032).

1. B.M. Bondar et al. Proc. of the 4-th Int. Conf. "Current Problems in Nucl. Phys. and At. Energy", Kyiv, Ukraine, September 3-7, 2012 (Kyiv, 2013) p. 270.

ГЕНЕРАЦІЯ J/ψ МЕЗОНІВ В УЛЬТРАПЕРИФЕРИЧНИХ $^{208}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}$ ЗІТКНЕННЯХ ПРИ ЕНЕРГІЇ $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5 \text{ TeV}$ В ЕКСПЕРИМЕНТІ LHCb

А. Фр. Бурше¹, В. М. Добішук², В. М. Пугач²

¹ Університет Кальярі та Національний інститут ядерної фізики Кальярі, Кальярі, Італія

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Ультрапериферичні зіткнення (УПЗ) ядер дають можливість досліджувати народження векторних мезонів у фотон-ядерних реакціях – процес, у якому прецизійні вимірювання розподілів партонів в ядрах, факторів ядерної модифікації тощо становлять велику зацікавленість як теоретиків, так й експериментаторів [1, 2].

У даній роботі представлено вимірювання поперечного перерізу генерації J/ψ мезонів у процесі електромагнітної взаємодії $^{208}\text{Pb} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + (J/\psi \rightarrow \mu^+ + \mu^-) + ^{208}\text{Pb}$ при енергії в системі центра мас пари нуклонів 5 TeV. Реконструкція таких подій здійснювалася за критерієм малої множинності треків в детекторній системі LHCb в геометричному аксептансі $2 < \eta < 5$, де η – псевдорapidіті частинки.

Подальший відбір когерентних J/ψ мезонів полягав в аналізові спектра інваріантної маси та p_T^2 спектра пар мюонів з протилежним електричним зарядом у сигнальному вікні $\pm 65 \text{ MeV}/c^2$ від номінальної маси J/ψ мезонів, що відповідає довірчому інтервалу $\pm 5\sigma$ (де p_T – переданий поперечний імпульс кандидата на J/ψ мезон).

Розділення подій із когерентною та некогерентною генерацією мезонів здійснювалося на основі величини p_T^2 утвореного J/ψ мезона. Показано поліпшення розділення в p_T^2 спектрів мезонів при накладанні вето на активність в спеціальній детекторній системі HeRSChEL [3], а також можливість розширення діапазону ексклюзивності досліджуваної реакції до $-10 < \eta < 10$ з її використанням.

Проводився аналіз вибірки даних експерименту LHCb, що відповідає інтегральній світимості 9 мкб^{-1} .

Представлено диференціальні поперечні перерізи утворення когерентних J/ψ мезонів $d\sigma^{\text{coh}}/d\eta$ як функцію rapidіті у межах від 2 до 4,5. Розрахований з цих даних інтегральний переріз становить $5,3 \pm 0,2$ (стат.) $\pm 0,8$ (сист.) мб. Одержані експериментальні дані порівнюються з розрахунками за теоретичними моделями [4].

1. S. Klein, J. Nystrand. Ultraperipheral nuclear collisions, Physics Today 70 (2017) 40. <https://doi.org/10.1063/PT.3.3727>.
2. A. Adeluyi, C.A. Bertulani. Constraining gluon shadowing using photoproduction in ultraperipheral pA and AA collisions. Phys. Rev. C 85 (2012) 044904. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevC.85.044904>.

3. K.C. Akiba et al., The HeRSChel detector: high-rapidity shower counters for LHCb, JINST 13 (2018) (04), p. P04017, URL: <https://doi.org/10.1088/1748-0221/13/04/P04017>.
4. B. Audurier et al. Measurement of J/ψ production in ultra-peripheral lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5$ TeV with the LHCb experiment, LHCb ANALYSIS NOTE (2017) (in progress).

ВИЗНАЧЕННЯ ПОВНОГО НЕЙТРОННОГО ПЕРЕРІЗУ ^{52}Cr НА ФІЛЬТРОВАНОМУ ПУЧКУ НЕЙТРОНІВ З ЕНЕРГІЄЮ 145 кеВ

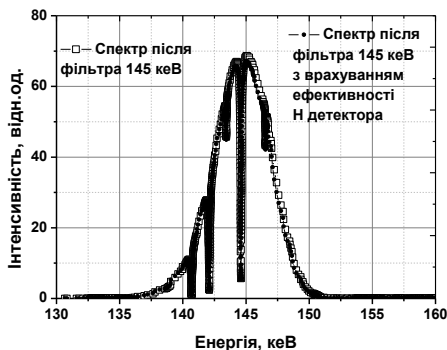
**О. О. Грицай, А. К. Гримало, В. М. Венедиктов,
В. П. Шахов, Я. В. Пшеничний**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

У доповіді буде представлено результати вимірювань повного нейтронного перерізу ^{52}Cr при енергії 145 кеВ. Вимірювання проведено методом пропускання на 9-му горизонтальному експериментальному каналі (ГЕК-9) Київського дослідницького реактора ВВР-М. Для формування квазімоноенергетичної нейтронної лінії з середньою енергією 145 кеВ було використано композиційний фільтр із складом, представленим у таблиці.

Елемент	Si	Ti	^{10}B
Товщина, г/см ²	184,07	11,49	0,2

Розрахунковий спектр нейтронів після фільтра наведено на рисунку.



Розрахунковий спектр нейтронів після фільтра з енергією 145 кеВ.

0,00583 ядер/б $8,40 \pm 0,12$ б та для зразка 0,03532 ядер/б $7,20 \pm 0,02$ б. Експериментально визначений спостережуваний повний нейтронний переріз ^{52}Cr залежить від товщини зразка, що вказує на присутність резонансів у перерізі хрому в енергетичному діапазоні 139,83 - 148,69 кеВ, тобто спостерігається ефект резонансного самоекранування.

Розрахункова чистота фільтра становить 98,87 %, середня енергія та ширина основної нейтронної лінії (на рівні 95 % відгуку) $144,86^{+3,83}_{-5,03}$ кеВ.

В експерименті використовувалося 2 зразки хрому збагаченого по ізоотопу ^{52}Cr до 99,30 % з товщинами $0,00583 \pm 0,00004$ та $0,03532 \pm 0,00004$ ядер/б. Отримані величини спостережуваних повних нейтронних перерізів становлять: для зразка товщиною

Для визначення ефекту резонансного самоекранування було проведено моделювання за допомогою програми MCNP 4с. В моделюванні використовувалися ті ж параметрами зразків, що і в експерименті, додатково було прораховано перерізи для трьох більш тонких зразків. Розрахунки проводилися з використанням даних з двох бібліотек оцінених ядерних даних BROND-2 та CENDL-3.1, в яких спостерігається найбільша відмінність в повних нейтронних перерізах ^{52}Cr . Отримані з розрахунків значення факторів резонансного самоекранування k_j було використано для визначення неекранованого перерізу ^{52}Cr .

ЧАСОВА ЕВОЛЮЦІЯ ХВИЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ ДЛЯ КЛАСТЕРНОГО РОЗПАДУ

О. Я. Дзюблик

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Кластерний розпад ядер, зокрема альфа розпад, зазвичай описується в рамках моделі Гамова [1], де вважається що в початковий момент часу $t = 0$ всередині ядра існує вже сформована α частинка, яка описується хвильовим пакетом, що задовольняє умовам квантування Бора - Зоммерфельда для квазі-енергетичного рівня. Відповідно, завжди беруться комплексні значення енергії відносного руху кластерів, уявна частина якої визначає час життя початкового ядра. При цьому хвильова функція відносного руху кластерів виявляється ненормованою. До сих пір робилися спроби якось обійти ці негаразди теорії, але завжди вважалося, що в початковому стані вже є готовий кластер. Однак більш реально описувати початковий стан материнського ядра оболонковою моделлю, тобто вважати, що нуклони рухаються вільно, і лише під дією остаточної взаємодії вони утворюють кластер.

Найбільш послідовний опис процесів розпаду ядер, включаючи випромінювання кластерів, дає теорія Гольдбергера - Ватсона [2]. Використовуючи її, ми представили гамільтоніан ядра H як суму незбуреного гамільтоніану H_0 та деякої остаточної взаємодії V . Власні функції H_0 описують як квазі-зв'язані стани батьківського ядра ϕ_a , так і стани неперервного спектра ϕ_b^+ , а V забезпечує переходи між цими станами. В початковий момент часу $t = 0$ ядро описується функцією ϕ_a^+ . При $t > 0$ до неї примішуються функції ϕ_b^+ . Хвильова функція α частинки, яка рухається у полі сферичного ядра, розкладається по парціальним хвилям, а рівняння для радіальних функцій розв'язується в квазі-класичному наближенні із застосуванням функцій Лангера. Враховуючи те, що константа розпаду λ пропорційна інтегралу від густини хвильової функції α частинки по об'єму ядра, знайдено, що $\lambda \sim e^{-2S}$ [3], де експонента визначає ймовірність тунелювання скрізь кулонівський бар'єр. Цей загально відомий вираз з'являється лише у випадку, коли кінетична енергія руху кластерів не відповідає умові Бора - Зоммерфельда. Навпаки в тій ситуації, коли

воно виконувалося би, константа λ при $2S \gg 1$ ставала б надто великою, а саме $\lambda \sim \exp(+2S)$.

Послідовні розрахунки в рамках загальної теорії Гольдбергера - Ватсона дали вираз для хвильової функції кластерів, що нормований на одиницю у відповідності до принципів квантової теорії.

1. G. Gamow. Z. Phys. 51 (1928) 204.
2. M.L. Goldberger, K.M. Watson. *Collision Theory* (New York: J. Wiley, 1964).
3. A.Ya. Dzyublik. Acta Phys. Polonica B 10 (2017) 69.

БЛОК МОНІТОРНОГО КАНАЛУ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

М. І. Доронін, А. П. Войтер, О. М. Ковальов, І. О. Мазний

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Блок моніторного каналу призначений для використання у складі вимірювальних систем дослідження ядерних реакцій. Він має забезпечувати перетворення в безперервному режимі сигналу від спектрометричного підсилювача моніторного каналу в цифровий код, накопичення кодів в гістограмній буферній пам'яті та підготовки даних до візуалізації.

Блок розроблений на основі мікросхеми АЦП послідовного наближення AD7679 та програмованої логічної матриці EPM3128ATC100-10N серії MAX3000, мікросхеми EP3C40Q240C8N серії Cyclone фірми Altera.

Програмування блока моніторного каналу здійснюється від системного комп'ютера.

Вхідним сигналом блока є позитивні імпульси від стандартних спектрометричних підсилювачів з постійною часу формування від 0,25 до 20 мкс.

Запуск роботи блока може здійснюватися або в режимі автозапуску або в режимі стробування. При автозапуску процес перетворення ініціюється вхідним сигналом, який пройшов через схему відбору імпульсів, з амплітудою, яка відповідає виставленим значенням нижнього і верхнього порогів.

В якості буферної пам'яті використовується SRAM-пам'ять фірми Cypress об'ємом 512 Кбіт ($32K \times 16$). Для обміну даними з системним комп'ютером в мікросхемі EP3C40Q240C8N серії Cyclone фірми Altera реалізовано пам'ять в режимі FIFO з об'ємом $1K \times 16$ розрядів.

Блок розроблено з більш широкими функціями, ніж необхідно для роботи в моніторному каналі. Це зроблено для можливості його використання в якості автономного спектрометричного АЦП з роздільною здатністю 12 біт з вбудованою БП. Крім того є можливість підключенням 8 входового аналогового мультиплексора отримати 8 входовий спектрометричний АЦП. Мультиплексор підключається через роз'єм на задній панелі блока. При роботі з мультиплексором дані з виходу аналого-цифрового перетворювача можуть накопичуватися в оперативній пам'яті блока у вигляді гістограм. Для кожного з

восьми входів виділена область розміром 4Кх16 розрядів. Реалізувати повний набір функцій блока можна при установці додаткових компонентів на передбачені місця на друкованій платі.

Основні технічні характеристики блока моніторного каналу:

- Діапазон входних сигналів від 0 до 5,0 В.
- Вхід стробування для сигналів TTL/NIM рівнів (вибір за допомогою перемикачів).

• Роздільна здатність: 512, 1024, 2048, 4096 каналів (вибір програмно).

- Диференційна нелінійність $\pm 1 \%$.
- Інтегральна нелінійність $\pm 0,05 \%$.
- Наявність гістограмного пам'яті та пам'яті з FIFO.
- Лічильник подій і лічильник живого часу.
- Режими автозапуску і зовнішнього стробування.
- Час перетворення і зчитування 3 мкс.
- 255 градацій установки нижнього і верхнього порогів дискримінації.

На передній панелі модуля розташовані роз'єми LEMO для підключення аналогового входного сигналу, зовнішнього стробу, сигналів скидання, режекції накладень, зайнятості і роз'єм USB.

Блок реалізовано в стандартному модулі КАМАК подвійної ширини, в якому розміщено дві друковані плати: аналого-цифрового перетворювача з роздільною здатністю 12 біт і інтерфейсу плати USB. Системна шина КАМАК в роботі блока не використовується.

DEVELOPMENT OF THE FTOF DETECTOR FOR FUTURE TAU-CHARM FACTORIES

**V. A. Yeroshenko¹, S. Barsuk², O. A. Bezshyyko¹, L. Burmistrov²,
V. Chaumat², L. O. Golinka-Bezshyyko¹, V. Puill², A. Stocchi²**

¹*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine*

²*Laboratoire de L'accélérateur Linéaire, Orsay, France*

The FTOF detector is proposed to use for the particle identification (PID) in forward region for the HIEPA project, China, and is applicable for other tau-charm factories. The goal of PID in this experiment is to perform 4σ pion/kaon separation up to 2 GeV/c momentum. Also due to the good time resolution this detector can be used for bunch crossing time stamp.

The DIRC-like TOF detector for the SuperB experiment was taken as a base for the FTOF development. The ring of 12 wide trapezoidal sectors was replaced with 100 narrow sectors to improve time measurements. The complete research of Cherenkov light in detector was performed to determine factors that degrade time resolution. Geometry with two layers with sectors shifted by the half of width was proposed as a solution to increase resolution and to cover dead spaces between sectors where the optical insulation is placed. The tilted geometry of sectors with

some angle was proposed to collect light with less reflections which causes less time of light propagation and delta electron Cherenkov light suppression. Results show that it provides better timing up to dozen picoseconds with idealistic photodetector. In this framework a threshold counter approach was proposed assuming that all sides absorb all the light. This approach is based on tuning the angle to collect a light from particles with a narrow range of velocity. It allows to separate particles with different masses by a fact of light presence or absence. Placing few layers with different angles can make possible to cover whole range of momentum. Both analytical solution and Geant4 simulations are taken into account in the future development of final geometry.

Newest achievements in silicon photomultipliers (SiPM) photon detection efficiency (PDE) and single-photon time resolution (SPTR) made possible to replace microchannel plate photomultipliers (MCP PMT) in the region with strong magnetic field. Geant4 simulations including PDE of few different SiPM and MCP PMT models showed that this factor is very decisive in our approach. Also the use of SiPM is more scalable solution on the big sensitive surface because of simplicity of making custom sized matrix and sufficiently low cost compared with MCP PMT.

Research was conducted in the scope of the IDEATE International Associated Laboratory (LIA).

ДОСЛІДЖЕННЯ ^{178m}Lu ТА $^{179m2}\text{Hf}$ У РЕАКЦІЯХ З ВИЛЬОТОМ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК

В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Вивчення перерізів та виходів заселення високоспінових ізомерних станів дає змогу отримати різноманітну інформацію як про структуру збуджених рівнів в неперервній та дискретній областях збудження, так і про механізми протікання ядерних реакцій. Одними з таких ізомерів є ^{178m}Lu та $^{179m2}\text{Hf}$ і тому метою нашої роботи являється дослідження перерізів напрацювання ^{178m}Lu і $^{179m2}\text{Hf}$ в реакціях з гальмівними гамма-квантами для величини енергії, яка перевищує діапазон величин енергії гігантського дипольного резонансу.

Вимірювання інтегральних перерізів проводилось методом наведеної активності на гальмівному γ -пучку ЛУЕ-40 ХФТІ НАН України для електронів з величиною енергії 55 MeV на мішенях як природного ізотопного складу танталу, так і на мішенях, збагачених ^{179}Hf та ^{180}Hf . Вимірювання активностей здійснювалось в окремій низькофоновій лабораторії за допомогою γ -спектрометрів, зібраних на базі HPGe-детекторів з енергетичною роздільною здатністю 1,8 - 2 keV на γ -лініях ^{60}Co та ефективністю реєстрації 15 - 40 % порівняно з NaI(Tl)-детектором розмірами $3'' \times 3''$. В спектрах надійно виділені γ -переходи з розпаду ^{178m}Lu та $^{179m2}\text{Hf}$.

Уперше виміряно інтегральні перерізи як заселення $^{178\text{m}}\text{Lu}$ в $(\gamma, d(\text{pn}))$ -реакції на ^{180}Hf і в (γ, p) -реакції на ^{179}Hf , так і напрацювання $^{179\text{m}2}\text{Hf}$ у $(\gamma, d(\text{pn}))$ -реакції на танталі при граничному значенні енергії гальмівних γ -квантів 55 МеВ. При даній величині енергії вперше виміряно ізомерне відношення виходів для реакції $^{180}\text{Hf}(\gamma, d(\text{pn}))^{178\text{m},\text{g}}\text{Lu}$, величина якого становила $Y_{\text{m}}/Y_{\text{g}} = 0,23(3)$.

Моделювання гальмівного спектра проводилося у рамках програмного коду Geant4. Отримано наступні величини інтегральних перерізів: $\sigma^{\text{in}} = 396(30)$ мкбн·МеВ для реакції $^{180}\text{Hf}(\gamma, d(\text{pn}))^{178\text{m}}\text{Lu}$, $\sigma^{\text{int}} = 3,1(7)$ мбн·МеВ для реакції $^{179}\text{Hf}(\gamma, p)^{178\text{m}}\text{Lu}$ та $\sigma^{\text{in}} = 37(4)$ мкбн·МеВ для реакції $^{181}\text{Ta}(\gamma, d(\text{pn}))^{179\text{m}2}\text{Hf}$. За результатами моделювання в рамках програмних кодів TALYS-1.9 та EMPIRE-3.2 констатується домінування нестатистичних процесів. Теоретичні інтегральні перерізи значно нижчі експериментальних величин.

Проводиться обговорення отриманих даних.

ЗБУДЖЕННЯ $^{179}\text{Hf}^{\text{m}2}$ ТА $^{180}\text{Hf}^{\text{m}}$ В (γ, γ') -РЕАКЦІЯХ

В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Дослідження перерізів в фотоядерних реакціях найбільш повно проведено для (γ, n) - та (γ, γ') -реакцій. Причому вважалось, що переріз останньої реакції з заселенням ізомерного стану різко знижується при відкритті (γ, n) -каналу. Проте нещодавно [1] було помічено зростання перерізу реакції $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{180}\text{Hf}^{\text{m}}$ при $E_{\gamma} = 20$ МеВ. Тому існує значний науковий інтерес у вивченні функції збудження як вищезгаданої, так і реакції $^{179}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{179\text{m}2}\text{Hf}$ при величинах енергії вищій гігантського дипольного резонансу.

Вимірювання інтегральних перерізів проводилося методом наведеної активності на гальмівному γ -пучку ЛУЕ-40 ХФТІ НАН України для електронів з величиною енергії 55 МеВ на мішенях як природного ізотопного складу, так і збагачених ^{179}Hf і ^{180}Hf . Вимірювання активностей здійснювалося в окремій низькофоновій лабораторії за допомогою γ -спектрометрів, зібраних на базі HPGe-детекторів з енергетичною роздільною здатністю 1,8 - 2 кеВ на γ -лініях ^{60}Co та ефективністю реєстрації 15 - 40 % порівняно з NaI(Tl)-детектором розмірами $3'' \times 3''$. В спектрах надійно виділені γ -переходи з розпаду $^{179}\text{Hf}^{\text{m}2}$ і $^{180}\text{Hf}^{\text{m}}$.

Уперше виміряні інтегральні перерізи при заселенні $^{179}\text{Hf}^{\text{m}2}$ і $^{180}\text{Hf}^{\text{m}}$ в (γ, γ') -реакції при граничному значенні енергії гальмівних γ -квантів 55 МеВ. Моделювання гальмівного спектра проводилося в рамках програмного коду Geant4. Отримані наступні величини: $\sigma^{\text{int}} = 2,8(10)$ мкбн·МеВ для реакції $^{179}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{179}\text{Hf}^{\text{m}2}$ та $\sigma^{\text{int}} = 7,8(23)$ мкбн·МеВ для реакції $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{180}\text{Hf}^{\text{m}}$ відповідно. За результатами моделювання в рамках програмних кодів TALYS-1.9 та EMPIRE-3.2 констатується домінування нестатистичних процесів, причому TALYS-1.9 краще описує експериментальні результати.

Проводиться обговорення отриманих даних.

1. N.A. Demekhina, A.S. Danagulyan, G.S. Karapetyan. Phys. Atom. Nucl. 64 (2001) 1879.

ФОТОЯДЕРНІ РЕАКЦІЇ НА МІШЕНЯХ БОРУ ТА БЕРИЛІЮ

В. О. Желтоножський, Д. Є. Мизніков, А. М. Саврасов, В. І. Слісенько

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Фотоядерні реакції на легких ядрах з вильотом заряджених частинок на сьогоднішній день залишаються слабодослідженими. У той же час вивчення даних реакцій представляє значний інтерес з причини їхньої суттєвої відміни від (γ, n) -реакції. Ця відміна пов'язана зі збудженням інших станів, часто недоступних для (γ, n) -каналу. Крім того, саме для фотоядерних реакцій з вильотом заряджених частинок очікується значний внесок прямих та напівпрямих процесів особливо при граничній енергії гальмівних γ -квантів вище енергії гігантського дипольного резонансу.

Вимірювання інтегральних перерізів проводилося методом наведеної активності на гальмівному γ -пучку ЛУЕ-40 ХФТІ НАН України для електронів з величиною енергії 55 MeV на мішенях природного ізотопного складу бору та берилію. Вимірювання активностей здійснювалося в окремій низькофоновій лабораторії за допомогою γ -спектрометрів, зібраних на базі HPGe-детекторів з енергетичною роздільною здатністю 1,8 - 2 кеВ на γ -лініях ^{60}Co та ефективністю реєстрації 15 - 40 % порівняно з NaI(Tl)-детектором розмірами 3'' $\times$ 3''. В спектрах надійно виділені γ -переходи з розпаду ^7Be .

Вперше виміряні інтегральні перерізи при заселенні ^7Be як в $(\gamma, 2n)$ -реакції на берилії, так і в реакціях на борі при граничному значенні енергії гальмівних γ -квантів 55 MeV. Моделювання гальмівного спектра проводилося в рамках програмного коду Geant4. Отримані наступні величини інтегральних перерізів для відповідних реакцій, мб·МеВ: $^9\text{Be}(\gamma, 2n)^7\text{Be}$ - 44(4), $^{10}\text{B}(\gamma, t)^7\text{Be}$ - 52(5), $^{11}\text{B}(\gamma, tn)^7\text{Be}$ - 35(4), $^{10}\text{B}(\gamma, dn)^7\text{Be}$ - 84(8), $^{11}\text{B}(\gamma, d2n)^7\text{Be}$ - 61(6), $^{10}\text{B}(\gamma, p2n)^7\text{Be}$ - 101(10), $^{11}\text{Be}(\gamma, 3n)^7\text{Be}$ - 82(8). За результатами моделювання в рамках програмних кодів TALYS-1.9 та EMPIRE-3.2 констатується домінування нестатистичних процесів. Порівняння теоретичних та експериментальних результатів вказує на домінування (γ, t) -реакції на ^{10}B .

Проводиться обговорення отриманих даних.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЕРЕЗАРЯДНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭГП-10К

Г. Г. Заикин, А. А. Кушпий, В. В. Осташко, А. Ф. Шаров

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Измерение тормозного излучения является важным диагностическим методом для тестирования рабочих условий в ускоряющей трубке [1]. Интенсивное тормозное излучение вызывает ионизацию изолирующего газа в уско-

рителе, что нарушает стабильность работы ускорителя, вплоть до электрического пробоя.

Во время проведения исследовательских работ на перезарядном ускорителе Института ядерных исследований НАН Украины ЭП-10К неоднократно в разное время измерялась интенсивность тормозного излучения вдоль оси ускоряющей системы ускорителя. Измерения выполнялись с помощью сцинтилляционного детектора с высоким пространственным разрешением (одновременно регистрировалось излучение примерно от четырех ускоряющих промежутков). Обнаружены места повышенного радиационного излучения, связанные с торможением вторичных электронов на электродах ускоряющей трубки и держателе перезарядных мишеней. Наибольший выход вторичных электронов наблюдается в низкоэнергетической ускорительной трубке, где электроны образуются при взаимодействии отрицательных ионов с остаточным газом. Вторичные электроны попадают на электроды трубки в результате действия наклонных электрических полей, которые используются для уменьшения энергии электронов и интенсивности тормозного излучения в трубке. Измеренные осевые зависимости тормозного излучения говорят о большой величине излучения в области кондуктора. Это связано в основном с торможением электронов в материале держателя углеродных мишеней и рассеянием тормозного излучения на стенках вакуумной камеры кондуктора. Спроектирована специальная электронная ловушка из алюминия со свинцовой защитой, которая должна устанавливаться на держателе перезарядных мишеней и в несколько раз уменьшать интенсивность тормозного и рассеянного излучения в области кондуктора.

1. Á.Kiss, E. Koltay, Gy. Szabó. Nucl. Instr. and Meth. 117 (1974) 325.

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ВТОРИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТРУБКЕ С НАКЛОННЫМИ ПОЛЯМИ

Г. Г. Заикин

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

В перезарядном ускорителе ЭП-10К для ускорения ионов используются трубки с наклонными электрическими полями. В процессе ускорения отрицательных ионов в низкоэнергетической трубке происходят столкновения ионов с атомами остаточного газа и обдирка слабо связанных электронов. Электроны ускоряются в наклонных полях трубки и попадают на электроды, выбывая из процесса дальнейшего ускорения. Таким способом уменьшаются энергия вторичных электронов, интенсивность возникающего тормозного излучения и предотвращается образование электронных лавин на полную длину трубки, которые неизбежно приводят к электрическому пробую.

Были выполнены расчеты траекторий релятивистских электронов в трубке и определены места их торможения и энергия. Расчетная модель ускорителя

тельної трубки представлялась в виде комбiнації елементів с різними типами електричних полів - секції с прямими, нахилними і призматическими електродами. Використовувались вираження для траєкторних урівнень, виведені з урівнення Ейлера - Лагранжа [1]. Для прямих і нахилних однорідних полів ці урівнення інтегрується в аналiтическом виде. Для призматических полів урівнення не можуть бути рішені аналiтически. Урівнення рішаються численно с використанням метода Рунге - Кутта четвертого порядку. Використовувалась встроєна функція MatLab - солвер ode45.

Проведено сравнение рассчитанного распределения энергии вторичных электронов по оси трубки с измеренным ранее распределением интенсивности тормозного излучения низкоэнергетической ускорительной трубки.

1. Á.Z. Kiss, E. Koltay, Gy. Szabó. Nucl. Instr. and Meth. 212 (1983) 81.

ПОШУК ПОДВІЙНОГО БЕТА-РОЗПАДУ ЯДРА ^{106}Cd З ВИКОРИСТАННЯМ ЗБАГАЧЕНОГО СЦИНТИЛЯЦІЙНОГО ДЕТЕКТОРА $^{106}\text{CdWO}_4$ У ЗБІГАХ ІЗ ДЕТЕКТОРАМИ CdWO_4

**М. М. Зарицький¹, П. Беллі^{2,3}, Р. Бернабей^{2,3}, В. Б. Бруданін⁴,
Ф. Капелла⁵, В. Карачіоло⁶, Р. Черуллі^{2,3}, Ф. А. Даневич¹, А. Інчікитті^{5,7},
Д. В. Касперович¹, В. В. Кобичев¹, О. Г. Полішук¹, В. І. Третяк¹**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Національний інститут ядерної фізики, відділення у Римі, "Тор Вергата",
Рим, Італія

³ Римський університет "Тор Вергата", Рим, Італія

⁴ Об'єднаний інститут ядерних досліджень, Дубна, Росія

⁵ Національний інститут ядерної фізики, відділення у Римі "Ла Сапієнца",
Рим, Італія

⁶ Національна лабораторія Гран Сассо, Ассерджі, Італія

⁷ Римський університет, "Ла Сапієнца", Рим, Італія

Пошук подвійного бета-розпаду (2β) дає змогу досліджувати властивості нейтрино та слабкої взаємодії, шукати ефекти за межами Стандартної моделі елементарних частинок. Процеси 2β -розпаду із зменшенням заряду ядра: подвійного електронного поглинання (2ε), електронного поглинання з випромінюванням позитронів ($\varepsilon\beta^+$) і подвійного позитронного розпаду ($2\beta^+$) цікаві з огляду на можливості визначення механізму безнейтринного 2β -розпаду з випромінюванням електронів. Ядро ^{106}Cd є одним з найбільш перспективних нуклідів, для яких можливі 2ε , $\varepsilon\beta^+$ і $2\beta^+$ -процеси, завдяки достатньо високій енергії розпаду $Q_{2\beta} = 2775,39(10)$ кеВ та порівняно високій ізотопній поширеності $\delta = 1,245(22)\%$. Теоретичні передбачення періоду напіврозпаду для ядра ^{106}Cd відносно двонейтринної (2ν) моди $\varepsilon\beta^+$ -розпаду лежить у межах 10^{20} - 10^{22} років, що дає надію на спостереження цього про

цесу сучасними методами низькофонової спектроскопії. Пошук різних каналів і мод 2β -розпаду ядра ^{106}Cd ведеться за допомогою кристала вольфрамату кадмію ($^{106}\text{CdWO}_4$), виготовленого з кадмію, збагаченого ізотопом ^{106}Cd до 66 %, у підземній лабораторії Гран-Сассо в Італії [1 - 3]. Сцинтилятор $^{106}\text{CdWO}_4$ проглядається через світловід із археологічного вольфрамату свинцю низько радіоактивним фотоелектронним помножувачем і функціонує у збігах/анти-збігах з двома сцинтиляційними детекторами з кристалами CdWO_4 . Детектори захищені від зовнішнього фону захистом з міді, свинцю та поліетилену товщиною по 10 см кожного матеріалу. Із γ -джерелами ^{137}Cs , ^{22}Na , ^{60}Co , ^{232}Th виконано енергетичне калібрування детекторів $^{106}\text{CdWO}_4$ та CdWO_4 , визначено їхню енергетичну роздільну здатність. За допомогою відбору подій збігів γ -квантів від джерела ^{22}Na у детекторі $^{106}\text{CdWO}_4$ із анігіляційними γ -квантами у хоча б одному із детекторів CdWO_4 визначено часову роздільну здатність установки. Розроблено метод розділення подій для α - та $\gamma(\beta)$ -частинок за формою сигналу, визначено радіоактивну забрудненість кристала $^{106}\text{CdWO}_4$. З підгонки спектрів детектора $^{106}\text{CdWO}_4$ у анти-збігах та збігах із детекторами CdWO_4 моделями, що описують радіоактивні забрудненості елементів установки, попередньо оцінено період напіврозпаду ядра ^{106}Cd відносно $2\nu\beta^+$ -розпаду.

1. P. Belli et al. Development of enriched $^{106}\text{CdWO}_4$ crystal scintillators to search for double β decay processes in ^{106}Cd . Nucl. Instrum. Meth. A 615 (2010) 301.
2. P. Belli et al. Search for double- β decay processes in ^{106}Cd with the help of a $^{106}\text{CdWO}_4$ crystal scintillator. Phys. Rev. C 85 (2012) 044610.
3. P. Belli et al. Search for 2β decay of ^{106}Cd with an enriched $^{106}\text{CdWO}_4$ crystal scintillator in coincidence with four HPGe detectors. Phys. Rev. C 93 (2016) 045502.

РОЗРОБКА НИЗЬКОФОНОВИХ СЦИНТИЛЯЦІЙНИХ КРИСТАЛІВ ВОЛЬФРАМАТУ ЦИНКУ ДЛЯ ПОШУКУ ТЕМНОЇ МАТЕРІЇ ТА 2β -РОЗПАДУ

**Д. В. Касперович¹, П. Беллі^{2,3}, Р. Бернабей^{2,3}, Ю. А. Боровлев⁴,
Ф. А. Даневич¹, В. Н. Жданков⁵, А. Інчіккітті^{6,7}, Ф. Каппелла⁶,
В. Караччіоло⁸, О. Г. Полішук¹, Д. С. Ткачов⁴, С. В. Ткачов⁴,
В. І. Третяк¹, Р. Черулі^{2,3}, В. Н. Шлегель⁴**

¹ Інститут ядерних досліджень, Київ, Україна

² Римський університет «Тор Вергата», Рим, Італія

³ НІЯФ, відділення у Римі «Тор Вергата», Рим, Італія

⁴ Інститут неорганічної хімії ім. А.В. Ніколаєва, Новосибірськ, Росія

⁵ CML Ltd., Новосибірськ, Росія

⁶ НІЯФ, відділення у Римі, Рим, Італія

⁷ Римський університет «Ла Сапієнца», Рим, Італія

⁸ Національна лабораторія Гран-Сассо, Ассерджі, Італія

Можливість пошуку добової модуляції сигналів від гіпотетичних взаємодій частинок темної матерії з речовиною за допомогою анізотропних скінтиляційних кристалів було вперше розглянуто у роботі [1]. Ідею використання скінтиляційних кристалів вольфрамату цинку (ZnWO_4) для таких експериментів вперше запропоновано у [2] та у подальшому розроблено у [3]. Крім цього, скінтилятори ZnWO_4 перспективні для дослідження подвійного бета-розпаду ядер цинку та вольфраму. Два зразки кристалів ZnWO_4 було вирощено методом Чохральського з низьким градієнтом температури, ще два кристали було отримано шляхом подвійної кристалізації матеріалу. Окрім цього, були отримані два зразки шляхом одиночної кристалізації з додатково очищеного вольфраму. Вимірювання радіоактивної чистоти зразків проводилися в установці DAMA/R&D, розташованій у підземній лабораторії Гран-Сассо (Італія). Показано виключно високий рівень радіоактивної чистоти кристалів. Так, загальна активність альфа-радіоактивних ядер з ланцюжків урану і торію у зразках лежить у межах 158 - 1418 мкБк/кг. Активність ^{228}Th у кристалах становить 0,35(15) мкБк/кг для найбільш забрудненого кристала, для інших зразків встановлено обмеження на рівні $< 0,2$ - $< 1,3$ мкБк/кг. Крім цього, встановлено обмеження на поверхневу забрудненість альфа-радіоактивними нуклідами кристалів, вирощених з додатково очищеного вольфраму, на рівні $< 0,10$ - $< 0,21$ мкБк/см². Спостережено суттєву сегрегацію у кристалах радіоактивних елементів рядів урану і торію та (або) їхніх дочірніх, що проявляється у приблизно у два рази меншій сумарній альфа-активності цих радіонуклідів у скінтиляторах, вироблених з тих частин кристалічних буль, що були вирощені на початку процесу росту.

1. P. Belli et al. Identifying a “dark matter” signal by nonisotropic scintillation detector. *Nuovo Cimento C* 15 (1992) 475.
2. F.A. Danevich et al. ZnWO_4 crystals as detectors for 2β decay and dark matter experiments, *Nucl. Instr. Meth. A* 544 (2005) 553.
3. F. Cappella et al. On the potentiality of the ZnWO_4 anisotropic detectors to measure the directionality of Dark Matter. *Eur. Phys. J. C* 28 (2003) 203.

ПОШУК АЛЬФА-РОЗПАДУ ЯДЕР $^{184,186}\text{Os}$ НА ЗБУДЖЕНІ РІВНІ ДОЧІРНІХ ЯДЕР

**Д. В. Касперович¹, П. Беллі^{2,3}, Р. Бернабей^{2,3}, Ф. А. Даневич¹,
А. Інчіккітті^{4,5}, Ф. Каппелла⁴, В. Караччіоло⁶, В. В. Кобичев¹,
Г. П. Ковтун⁷, Н. Г. Ковтун⁷, М. Лаубенштейн⁶, Д. В. Подя^{1,8},
О. Г. Поліщук¹, С. Тесаліна⁹, В. І. Третяк¹, Р. Черуллі^{2,3}, О. П. Щербань⁷**

¹ Інститут ядерних досліджень, Київ, Україна

² Римський університет «Тор Вергата», Рим, Італія

³ НІЯФ, відділення у Римі «Тор Вергата», Рим, Італія

⁴ НІЯФ, відділення у Римі, Рим, Італія

⁵ Римський університет «Ла Сапієнца», Рим, Італія

⁶ Національна лабораторія Гран-Сассо, Ассерджі, Італія

⁷ ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут», Харків, Україна

⁸ Центр ядерної фізики та матеріалознавства, Орсе, Франція

⁹ Дослідницький центр Джона де Лейтера, Університет Кертіна,
Бентлі, Австралія

Усі сім природних ізотопів осмію є теоретично нестабільними відносно α -розпаду. Ізотопи ^{184}Os та ^{186}Os перспективні для дослідження з огляду на теоретичні передбачення ймовірності розпаду як на основні, так і на збуджені рівні дочірніх ядер [1]. Альфа-розпад ядра ^{186}Os на основний стан дочірнього ядра було зареєстровано у прямому експерименті з періодом напіврозпаду $T_{1/2} = (2,0 \pm 1,1) \cdot 10^{15}$ років [2], у той час як α -розпад ^{184}Os було спостережено у геохімічному експерименті з періодом напіврозпаду $T_{1/2} = (1,1 \pm 0,2) \times 10^{13}$ років [3]. Вимірювання з метою пошуку α -розпадів $^{184}\text{Os} \rightarrow ^{180}\text{W}^*(2^+, 103,6 \text{ кеВ})$ та $^{186}\text{Os} \rightarrow ^{182}\text{W}^*(2^+, 100,1 \text{ кеВ})$ проводяться у підземній лабораторії Гран-Сассо (Італія) за допомогою низькофонового напівпровідникового германієвого детектора з покращеною ефективністю реєстрації низькоенергетичних гамма-квантів (Broad Energy Germanium Detector, BEGe). Зразок осмію, глибоко очищений методами електронно-променевої та зонної плавки (вміст осмію $> 99,99\%$), мав вигляд набору тонких пластинок товщиною 0,7 - 1,2 мм загальною масою 118 г. Вміст ізотопу ^{184}Os у зразку був визначений з великою точністю у Дослідницькому центрі Джона де Лейтера (Бентлі, Австралія) як $0,0158 \pm 0,0011\%$ (табличне значення $0,02 \pm 0,02\%$). Зразок було встановлено безпосередньо на верхню кришку криостата детектора. Детектор захищений шарами радіоактивно чистих міді та свинцю. В результаті вимірювань, проведених впродовж 15851 год, встановлено обмеження на періоди напіврозпаду ядер ^{184}Os та ^{186}Os на перші збуджені рівні дочірніх ядер: $T_{1/2} \geq 5,6 \cdot 10^{15}$ років та $T_{1/2} \geq 5,0 \cdot 10^{17}$ років відповідно (з довірчою ймовірністю 90 %). Ці значення лежать на межі теоретичних передбачень для досліджуваних ядер. Із жовтня 2018 р. експеримент продовжується зі зразком осмію масою 58,78 г, встановленим безпосередньо на кристал германієвого детектора, з метою підвищення ефективності реєстрації гамма-квантів.

1. D.N. Poenaru, M. Ivascu. Estimation of the alpha decay half-lives. J. Physique 44 (1983) 791.
2. V.E. Viola et al. Alpha decay of natural ^{186}Os , J. Inorg. Nucl. Chem. 37 (1975) 11.
3. S.T.M. Peters et al. Alpha-decay of ^{184}Os revealed by radiogenic ^{180}W in meteorites: Half life determination and viability as geochronometer. Earth and Planetary Sci. Lett. 391 (2014) 69.

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ РОЗПАДУ ЯДРА ^{50}V У ПІДЗЕМНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ HADES (БЕЛЬГІЯ)

**В. Р. Клавдієнко^{1,2}, Ф. А. Даневич¹, В. В. Кобичев¹, В. І. Третьак¹,
Д. В. Касперович¹, Г. Люттер³, О. Г. Поліщук¹**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

³ Об'єднаний дослідницький центр Європейської Комісії, Гель, Бельгія

Дослідження схеми розпаду ядра ^{50}V були виконані методом наднизько-фонової гамма-спектрометрії у підземній лабораторії HADES Об'єданого дослідницького центру Європейської Комісії (Гель, Бельгія). В експерименті було застосовано два напівпровідникових детектори з надчистого германію, і зразок ванадію масою 955 г. Набір даних проходив у два етапи: перший – впродовж 34 діб, другий – впродовж 110 діб із додатковим пасивним захистом детекторів від нейтронів. Було оцінено радіоактивну забрудненість зразка ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th та їхніми дочірніми нуклідами, а також довгоживучими ізотопами рідкоземельних елементів лютецію (^{176}Lu) та лантану (^{138}La). Попередньо період напіврозпаду ядра ^{50}V відносно електронного поглинання з переходом на збуджений рівень ^{50}Ti з енергією 1553,8 кеВ становить $-T_{1/2} = 2,69 \pm 0,16 \cdot 10^{17}$ років. Це значення узгоджується з даними інших вимірювань, зокрема з результатом недавнього експерименту у підземній лабораторії Гран Сассо (Італія): $T_{1/2} = 2,67^{+0,16}_{-0,18} \cdot 10^{17}$ років [1]. Гамма-пик з енергією 783.3 кеВ, очікуваний у випадку бета-розпаду ^{50}V на збуджений рівень 2^{+} ядра ^{50}Cr , не спостережено. За допомогою підходу до аналізу даних з низькою статистикою, запропонованого Feldman та Cousins [2], на період напіврозпаду ядра ^{50}V відносно бета-розпаду встановлено обмеження $-T_{1/2} > 2 \cdot 10^{19}$ років з довірчою ймовірністю 90 %.

1. M. Laubenstein et al. A new investigation of half-lives for the decay modes of ^{50}V arXiv:1812.04745v1 [nucl-ex] 11 Dec 2018.
2. G.J. Feldman, R.D. Cousins. Unified approach to the classical statistical analysis of small signals. Phys. Rev. D 57 (1998) 3873.

БЛОК ЛІЧИЛЬНИКІВ

О. М. Ковальов, А. П. Войтер, М. І. Доронін, І. О. Мазний

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Блок лічильників призначений для використання у складі вимірювальних систем дослідження ядерних реакцій. Він складається з незалежних 32-рядних лічильників, з яких чотири лічильника мають індивідуальні входи

стробування, а чотири лічильника без стробування.

Лічильники мають спільний вхід скидання. Всі входи можуть приймати або імпульси негативної швидкої логіки NIM, або позитивні імпульси рівня ТТЛ. Вибір проводиться індивідуальними для кожного входу перемикачами, розташованими на друкованій платі.

Блок розроблений на основі FPGA EP3C40Q240C8N серії Cyclone фірми Altera. Негативні вхідні імпульси повинні відповідати стандарту NIM логіки з фіксованим порогом -250 мВ на навантаженні 50 Ом.

Лічильники можуть працювати або в режимі автозапуску, або в режимі стробування. При автозапуску процес рахунку ініціюється вхідним сигналом. В режимі стробування для запуску рахунку додається умова наявності зовнішнього імпульсу дозволу. Індивідуальні входи стробування лічильників дозволяють працювати в режимах дозволу рахунку під час дії стробу або збори рахунку на час дії стробу. Зчитування даних з блоку лічильників в блок збігів та кодування часу і управління режимами його роботи відбувається по локальній шині системи. Управління режимами роботи лічильників здійснюється від системного комп'ютера.

Лічильники можуть бути використані для підрахунку:

- сумарної кількості накопичених подій;
- кількості подій по кожному із восьми входів відповідно до збігів різних пар телескопів детекторів;
- кількості подій, зареєстрованих детекторами, що дає змогу здійснювати моніторинг інтенсивності пучка та ефективну товщину мішені.
- кількості подій, зареєстрованих по кожному із восьми входів, для визначення інтенсивності потоків даних.

Технічні характеристики:

- дев'ять незалежних вхідних каналів по 32 розряду кожен;
- рівні вхідних сигналів лічильників і сигналу загального скидання – негативною швидкої логіки NIM від -0,6 В до -1,4 В з часом наростання і спаду від 1 нс до 300 нс на вхідному опорі 50 Ом, або ТТЛ рівнів на входом опорі 1 кОм;
- входи стробування приймають сигнали ТТЛ рівнів і мають вхідний опір 1 кОм;
- сигнал на виході переповнення лічильників має рівні ТТЛ на навантаженні 1 кОм;
- максимальна швидкість рахунку для NIM сигналів дорівнює 100 МГц, для ТТЛ сигналів дорівнює 25 МГц.

Блок лічильників реалізовано на друкованій платі яка розміщується в стандартному модулі КАМАК подвійної ширини. На передній панелі блоку розташовані дев'ять роз'ємів LEMO для підключення входів лічильників, роз'єми LEMO для входу загального скидання і виходу сигналу переповнення лічильників а також 40-контактний роз'єм для підключення до локальної шини даних і управління. Передбачено два варіанти конструкції блоку. У першому варіанті можна використовувати чотири лічильника зі стробуван-

ням, чотири лічильника без стробування плюс додатковий лічильник. У другому варіанті можна використовувати дев'ять лічильників без стробування і додатковий 16- контактний роз'єм на передній панелі для підключення до блоку збігів та кодування часу системи. Цей варіант може бути корисним в багатопараметричних кореляційних експериментах.

МЕТАЛЕВІ МІКРОДЕТЕКТОРИ ДЛЯ ЗОБРАЖЕННЯ ЇХ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ ПРОСТОРОВО ФРАКЦІОНОВАНИХ ПУЧКІВ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК ТА ГАММА-КВАНТІВ

**О. С Ковальчук, В. М. Пугач, В. М. Міліція,
Д. І. Сторожик, В. О. Кива, О. А. Федорович**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Металеві мікродетектори (ММД) – це позиційно-чутливі детектори іонізуючого випромінювання товщиною 1 мікрометр з надзвичайно високою радіаційною стійкістю. В Інституті ядерних досліджень НАН України (ІЯД) розроблені вимірювальні системи на їхній основі для онлайн моніторингу просторового розподілу потоків заряджених частинок та синхротронного випромінювання, зокрема для визначення положення і профілю пучків таких частинок на прискорювачах або синхротронах.

Лабораторні дослідження з пучками синхротронного випромінювання та клінічні застосування фракціонованих пучків гамма-променів продемонстрували перспективність такого напрямку робіт. Фракціонування дає змогу суттєво збільшити локальні дози в області пухлин, забезпечивши при цьому толерантні дози для здорових тканин. Крім того, застосування високо енергетичних (декілька сотень МеВ на нуклон) пучків іонів розглядається як перспективний напрям для підвищення терапевтичного ефекту за рахунок локалізації дози та високої біологічної ефективності в порівнянні з звичайною рентгенотерапією. Головним технічним завданням просторово-фракціонованої терапії є формування дозового поля з максимальним співвідношенням пікової дози до дози в захищених коліматором здорових частин тіла (Peak-to-Valley-Dose-Ratio, PVDR). При цьому очікується найбільш ефективна рекреція уражених раковою пухлиною частин тіла.

Дозиметрія в просторово-фракціонованій терапії є складним завданням через необхідність високої просторової роздільної здатності, а також через високі дози. До сих пір жоден досконалий детектор, здатний впоратися з усіма особливостями просторово-фракціонованої терапії не був побудований. ММД, розроблені в ІЯД, можуть стати відповідними пристроями для цієї мети, забезпечуючи найвищу радіаційну стійкість та вимір просторового розподілу інтенсивності випромінювання в реальному часі.

Для тестування принципів формування багато-пучкових структур адронних пучків та детекторних систем для вимірювання просторового розподілу їхньої

інтенсивності було виготовлено 2 типа коліматорів: щілинні та матричні.

Ведеться розробка детекторизованого фантому на базі металевих мікро-детекторів для дослідження розподілу дози на різній глибині фантому. Наразі виготовлено прототип детекторного модуля на базі ММД128 (128 стріпів, 110 мкм крок) та системи зчитування XDAS (Sense-Tech, UK).

Робота виконувалася в рамках діяльності Міжнародної асоційованої лабораторії LIA IDEATE із залученням частини коштів за проектом УНТЦ Р9903.

СИСТЕМА РАДІАЦІЙНОГО МОНІТРОНГУ ЕКСПЕРИМЕНТУ LHCb У 2017 та 2018 РОКАХ

С. М. Колієв, О. А. Кот, О. Ю. Охріменко, В. М. Пугач

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Представлені результати роботи системи радіаційного моніторингу (СРМ) експерименту LHCb за 2017 та 2018 роки. СРМ призначена для моніторингу дозових навантажень, розподілу потоків заряджених частинок і зміни струмів витоку через кремнієві сенсори внутрішнього трека (ВТ), який відіграє дуже важливу роль у реконструкції треків фізичних подій в експерименті LHCb. Будуть наведені результати по виміру розподілу потоків заряджених частинок, а також, по оцінці поглинутої дози та зміни струмів витоку через кремнієві сенсори ВТ. Значення вищезгаданих величин наведені у таблиці.

Величина	Вимірювання у 2017 р.	Вимірювання у 2018 р.
Поглинута доза	0,15 - 0,8 кГр	0,2 - 1 кГр
Зміна струмів витоку	40 - 300 мкА	40 - 380 мкА
Флюєнс	0,6 - $3,5 \cdot 10^{12}$ МІЧ/см ²	0,8 - $4,5 \cdot 10^{12}$ МІЧ/см ²

Наведено результати по виміру інтегральної світимості експерименту LHCb за допомогою СРМ. Отримані результати в рамках похибок узгоджуються з вимірами інших детекторних систем.

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

ПОПЕРЕЧНІ ПЕРЕРІЗИ ГЕНЕРАЦІЇ Λ -ГІПЕРОНІВ У p -Pb ЗІТКНЕННЯХ ПРИ ЕНЕРГІЇ 5 TeV В ЕКСПЕРИМЕНТІ LHCb (CERN)

**К. В. Колієва^{1,2}, С. М. Колієв¹, О. А. Кот¹, О. Ю. Охріменко¹,
Є. О. Петренко¹, В. М. Добішук¹, В. М. Пугач¹**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Представлено результати по вимірюванню диференційних поперечних перерізів утворення Λ -гіперонів у p -Pb зіткненнях при енергії у системі центра мас 5 TeV в експерименті LHCb (CERN). Дані зібрані детектором

ЛНСб у прямій та зворотній конфігураціях пучкових зіткнень (p -Pb та Pb- p). Наведено значення поперечних перерізів для діапазонів поперечного імпульсу від 0,15 до 6 GeV/c, рапідіті для протон-ядерних зіткнень $1,5 < y < 4$ та рапідіті для ядерно-протонних зіткнень $-5 < y < -2,5$. Також наводяться розрахунки відношень виміряних поперечних перерізів утворення Λ -баріонів та анти Λ -баріонів.

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

ДВУХКАМЕРНЫЙ ИСТОЧНИК ИОНОВ. ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА ЦИКЛОТРОНЕ У-240

А. И. Колосов, М. В. Маковский, Л. В. Михайлов,
Т. П. Руденко, С. В. Чередник

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

Первые включения двухкамерного радиального источника легких ионов (РИЛИ) показали некоторое несоответствие теории работы источника ионов и практических характеристик его эксплуатации. Исследования вольтамперных характеристик РИЛИ привело к необходимости выработки новой концепции модернизации источника ионов и создания алгоритма управления режима питания с целью оптимизации согласно требованиям, предъявляемым к работе циклотрона У-240 с током пучка протонов до 150 мкА.

ВИМІРЮВАННЯ ПЕРЕРІЗІВ УТВОРЕННЯ V^0 ЧАСТИНОК ТА ФАКТОРІВ ЯДЕРНОЇ МОДИФІКАЦІЇ У ЗІТКНЕННЯХ ПРОТОН-СВИНЕЦЬ В ЕКСПЕРИМЕНТІ ЛНСВ

О. А. Кот, В. М. Пугач, О. Ю. Охріменко, Є. О. Петренко, С. М. Колієв

Институт ядерных исследований НАН Украины, Київ, Україна

Представлено результати вимірювання утворення дивних мезонів (K_S) та баріонів (Λ) у експерименті ЛНСб у протон-ядерних зіткненнях (p -Pb) при енергії $\sqrt{s} = 5$ TeV. Виміряні поперечні перерізи утворення дивних частинок та їхні відношення (Λ -bar/ K_S , Λ -bar/ Λ) залежності від поперечного імпульсу p_T та рапідіті y . Кінематичний діапазон вимірів за поперечним імпульсом становить $0,15 \text{ GeV/c} < p_T < 6,0 \text{ GeV/c}$ та за рапідіті $-5,0 < y < -2,5$ і $1,5 < y < 4,0$ для p -Pb та Pb- p зіткнень відповідно. Розраховано фактори впливу ядерного середовища на процеси утворення дивних частинок, отримані дані порівняні із теоретичними передбаченнями.

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

HIGH-ENERGY EXCITED 0^+ STATES IN ^{158}Gd

**A. I. Levon¹, D. Bucurescu², T. Faestermann³, R. Hertenberger³,
A. G. Magner¹, S. Pascu³, K. P. Shevchenko¹, A. A. Shevchuk¹, H.-F. Wirth³**

¹ *Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences, Kyiv, Ukraine*

² *H. Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering,
Bucharest, Romania*

³ *Fakultät für Physik, Ludwig-Maximilians-Universität München,
Garching, Germany*

Excited 0^+ states in nuclei are the specific modes of nuclear excitations which were intensively studied in a few last decades. They have a different structure associated, e.g., with pair vibrations, beta vibrations, vibrations caused by spin-quadrupole forces, one- and two-phonon excitations, and so on. The 0^+ states occupy a special place in nuclear physics. Many difficulties of the nuclear theory describing the collective dynamics are concentrated just on these states. Theories met difficulties already for consideration of the properties of the first excited states. The multiple 0^+ states in deformed nuclei are so far a new challenge for improving the theoretical collective dynamics models. Such models describe the properties of energy spectra of the 0^+ states and their excitation cross sections. Comprehensive theoretical efforts were spent to understand the important nature of these 0^+ excitations, and to extract information on the evolution of the abundance of 0^+ states in the entire region of deformed nuclei, as well on the dependence of their abundance in the excitation energy spectrum. The excited 0^+ states can be identified via (p, t) reactions even in the complicate and dense excitation spectra. So far, almost all studies of the 0^+ states have been performed for an excitation energy below 3 MeV. We present the results of the $^{160}\text{Gd}(p,t)^{158}\text{Gd}$ experiment aiming for the first time the observations of 0^+ excitations in the region up to 4.2 MeV [1].

The experiment has been performed at the Tandem accelerator of the Maier-Leibnitz-Laboratory of Munich Universities using a 22 MeV proton beam on a $110\text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^2$ target of isotopically enriched ^{160}Gd (98.10 %) with a $14\text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^2$ carbon backing. A long (1.4 m) focal plane detector provides the particle identification of masses 1 - 4 in the high-precision Q3D spectrometer. The resulting triton spectra have a resolution of 4 – 7 keV (FWHM) and are background-free. The angular distributions of the cross sections were obtained from the triton spectra at eight laboratory angles from 5 to 40° with step of 5°.

The thirty two new excited 0^+ states and four tentative ones have been assigned up to the 4.3 MeV excitation energy with high precision. The total number of 36 excited 0^+ states (besides the ground state) in a deformed nucleus, close to a complete level scheme, offers a new opportunity to test nuclear models and obtain more information on the structure of these states. Such abundance of 0^+ states have not previously been observed in any nucleus investigated so far. The new information can be interesting, especially among theoreticians, because several models were applied in an attempt to understand the nature of these states. The obtained experimental results are compared with calculations in the framework of

the spdf-version of the phenomenological interacting boson model and of a simple version of the semi-microscopic quasiparticle phonon model. Much richer new information should attract the attention of both theoreticians and experimentalists since the observation of thirty six excited 0^+ states in one nucleus is the strongest challenge to our understanding of these excitations.

As perspectives, other designations of the experimental results are a statistical analysis of the discovered long sequences of the 0^+ , 2^+ , 4^+ collective states, and of the symmetry breaking by fixing the projection K of the nuclear angular momentum in deformed nuclei.

1. A.I. Levon et al. arXiv:181012592 [nucl-th], 2018 (submitted to the Phys. Rev. C, 2019).

МЕХАНІЗМИ ЗАСЕЛЕННЯ ЗБУДЖЕНИХ СТАНІВ ЯДРА ^{15}C У РЕАКЦІЇ $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{10}\text{B})^{15}\text{C}$ ПРИ $E_{\text{лаб.}}(^{11}\text{B}) = 45 \text{ MeV}$ ВИЩЕ ПОРОГУ РОЗВАЛУ $^{14}\text{C} + n (1,218 \text{ MeV})$

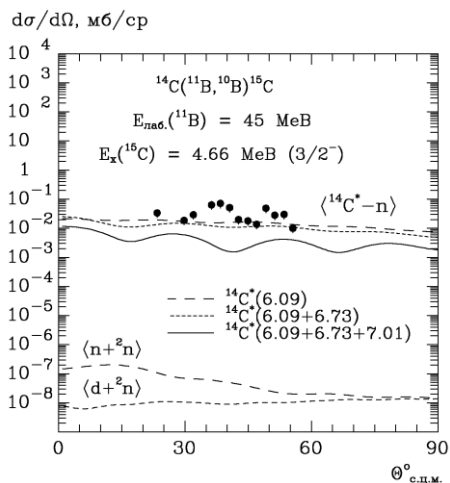
**С. Ю. Межевич¹, А. Т. Рудчик¹, К. Русек², К. В. Кемпер³,
А. А. Рудчик¹, О. А. Понкратенко¹, С. Б. Сакута⁴**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

³ Фізичний факультет Національного університету Флориди, США

⁴ НДЦ «Курчатівський інститут», Москва, Росія



Диференціальні перерізи реакції $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{10}\text{B})^{15}\text{C}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}(^{11}\text{B}) = 45 \text{ MeV}$ для збудженого стану $4,66 \text{ MeV } (3/2^-)$ ядра ^{15}C . Криві – МЗКР-перерізи для різних процесів.

Отримано нові експериментальні дані диференціальних перерізів реакції $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{10}\text{B})^{15}\text{C}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}(^{11}\text{B}) = 45 \text{ MeV}$.

Експериментальні дані проаналізовано за методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР) з використанням одно- та двоступінчастих передач нуклонів і кластерів. У МЗКР-розрахунках для вхідного каналу використано оптичний потенціал, отриманий з аналізу пружного та непружного розсіяння ядер $^{11}\text{B} + ^{14}\text{C}$ [1]. Цей же потенціал використано і для вихідного каналу $^{10}\text{B} + ^{15}\text{C}$.

У МЗКР-розрахунках передач нуклонів і кластерів використовувалися спектроскопічні амплітуди, обчислені в рамках мікроскопічної моделі [2]. Для каналу

реакції із збудженим станом 4,66 MeV ($3/2^-$) ядра ^{15}C домінує передача нейтрона із збуджених станів ^{14}C , а внески послідовних передач кластерів $\langle n + {}^2\text{n} \rangle$ та $\langle d + {}^2\text{n} \rangle$ у реакцію мізерні.

1. S.Yu. Mezhevych et al. Eur. Phys. J. A 50 (2014) 4.
2. D. Carbone et al. Phys. Rev. C 95 (2017) 03460.

«ПРОЗОРИЙ» ПРОФІЛОМЕТР ЗАРЯДЖЕНИХ ПУЧКІВ ДЛЯ АДРОННОЇ ТЕРАПІЇ

**В. М. Міліція¹, О. С. Ковальчук¹, В. М. Пугач¹, Д. М. Рамазанов¹,
Д. І. Сторожик¹, О. А. Федорович¹, С. Я. Барсук², А. Фаус-Гольф²,
П'єр Луїс Андре Леперк²**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

² *Лабораторія лінійного прискорювача
Національного центру наукових досліджень, Орсе, Франція*

Адронна терапія – опромінення пухлини пучками протонів або важких іонів – незважаючи на довгу історію, залишається одним з найбільш багатобічючих напрямків ядерної медицини. Щорічно число центрів адронної терапії в світі зростає на десяток. Високий терапевтичний ефект досягається завдяки фізично обумовленому поглиненню руйнівної енергії адронів переважно в раковій пухлині, тобто в кінці їхнього пробігу (пік Брега).

Виконуються комплексні дослідження можливості підвищення терапевтичного ефекту в адронній терапії шляхом просторового фракціонування опромінюючого пучка. Фракціонування опромінення дає змогу суттєво збільшити локальні дози в області пухли при низьких дозах на шляху до неї для здорових тканин. Адронна терапія вимагає точного розрахунку, а також більшої гнучкості і варіативності. Існуючі детекторні системи не витримують високе радіаційне навантаження (напівпровідникові детектори, іонізаційні камери), або не забезпечують необхідної просторової роздільної здатності (сцинтиляційні детектори), або для отримання результату необхідно багато часу (~ 24 год – радіохромні плівки).

Металеві мікро-детектори (ММД), розроблені в ІЯД НАН України, забезпечують високу радіаційну стійкість та вимір просторового розподілу інтенсивності фракцій пучка в реальному часі [1]. Ці детектори спроможні реєструвати потоки іонізуючого випромінювання у широкому діапазоні енергій та інтенсивності.

Особливостями ММД є їхня прозорість (товщина сенсора ~1 мкм) для потоків радіації, висока радіаційна стійкість (понад 100 мкГр), висока просторова роздільна здатність (до 2 мкм), низька робоча напруга (20 В), унікальна технологія виробництва, комерційно доступна зчитувальна електроніка.

ММД були успішно застосовані для вимірювання структур міні-пучків син-

хротронного випромінювання на синхротроні ESRF (Гренобль, Франція) [2] а також пучків іонів у медичному центрі HIT (Гайдельберг, Німеччина) [3].

В рамках співпраці по проєкту Міжнародної асоційованої лабораторії (LIA IDEATE, проєкт УНТЦ P9903) розроблено дизайн нової експериментальної методики для досліджень в області просторово-фракціонованої радіаційної терапії. В її складі – багато-щілинні та матричні коліматори для формування одновимірних (1D) та двовимірних (2D) пучкових структур адронів з енергіями, типовими для медичного застосування (50 - 300 МеВ/нуклон), тканин-еквівалентний фантом, оснащений ультра-тонкими металевими та гібридними мікро-детекторами із зчитувальною електронікою та програмним забезпеченням для аналізу розподілу поглиненої дози.

1. O. Fedorovich et al. Metal micro-detectors: Development of “transparent” position sensitive detector for beam diagnostics. Problems of Atomic Science and Technology Series “Plasma Physics” 6(82) (2012) 196.
2. O. Kovalchuk et al. Metal Micro-detectors for Radiation therapy instrumentation. Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference IEEE (2011) 2617.
3. V. Pugatch et al. Characterization of equipment for shaping and imaging hadron minibeam, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A 872 (2017) 119.

РАДІАЦІЙНА СТІЙКОСТЬ ДВОСТОРОННІХ МІКРОСТРІПОВИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ КРЕМНІЄВОЇ ТРЕКОВОЇ СИСТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТУ CBM

Є. Л. Момот^{1,2}, В. М. Пугач³, В. О. Кива¹, Й. М. Хойзер³

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

² *Франкфуртський університет імені Йоганна Вольфганга Гете, Франкфурт, Німеччина*

³ *Центр дослідження важких іонів імені Гельмгольца, Дармштадт, Німеччина*

Основним трековим детектором експерименту CBM (Compressed Baryonic Matter) є Кремнієва Трекова Система STS (Silicon Tracking Station), яка має слугувати для реконструкції треків і визначення імпульсу заряджених частинок, що виникають при взаємодії пучка з мішенню. Завданням STS є вимірювання траєкторій до 800 заряджених частинок за одне зіткнення з ефективністю реконструкції треків більше 95 % та роздільною здатністю по імпульсу 1 - 2 %.

Щоб гарантувати необхідну продуктивність протягом усього терміну експлуатації експерименту CBM, система повинна мати малу кількість матеріалу (близько 1,5 % радіаційних втрат на станцію) на шляху проходження заряджених частинок, високу гранулярність, високий коефіцієнт сигнал до шуму

(SNR) та радіаційну толерантність. У результаті оптимізаційних досліджень STS складається з двосторонніх кремнієвих мікростріпових сенсорів близько 300 мкм, які повинні забезпечувати відношення SNR більше 10, навіть після випромінювання з очікуваним еквівалентом життєвого флюенса $10^{14} \text{ 1 MeB}_{\text{нег}} \text{ см}^{-2}$ [1].

Щоб дослідити радіаційну стійкість, кремнієві сенсори різних форм-факторів від різних виробників були опромінені 23 MeB протонами. Властивості сенсорів були охарактеризовані до і після опромінення. Відгук датчика на мінімум іонізаційні частинки від ^{90}Sr до опромінювання розцінювався як 100 % збір заряду. Основними наслідками після опромінення є: збільшення струму витоку, зменшення ефективності збору заряду, збільшення шуму та як наслідок деградація сигналу над шумом [2].

Детальні результати вимірів по ефективності збору заряду та симуляція реконструкції треків і роздільної здатності по імпульсу в опромінених сенсорах будуть представлені на стендовій доповіді.

1. J. Heuser, et al. GSI Report 2013-4.
2. E. Momot et al. Investigation into the charge collection efficiency of prototype microstrip sensors for the CBM Silicon Tracking System. Journal of Physics: Conference Series 1024(1) (2018) 012004.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ СПОСТЕРЕЖЕННЯ НЕЙТРОН-НЕЙТРОННИХ КОРЕЛЯЦІЙ В ЯДРІ ^6He

О. М. Поворозник, О. К. Горпинич

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Проаналізовано проєкції двовимірних спектрів р- α збігів з чотирьохчастинкової реакції $^3\text{H}(\alpha, \text{p}\alpha)\text{nn}$ при енергії альфа-частинок 27,2 MeB ($0 < E_{\text{ex}} < 3,5 \text{ MeB}$) на вісь енергії альфа-частинок для шести пар кутів. Результати параметризації за методом Монте-Карло показали, що у випадку першого збудженого стану ^6He при розпаді домінує конфігурація «альфа-частинка + дінейтрон» тільки в обмеженій ділянці фазового простору, а при іншій кінематиці та для другого і третього збуджених станів проявляються конфігурації «альфа-частинка + дінейтрон» та «альфа-частинка + сигара» в різних співвідношеннях.

ГЛОБАЛЬНИЙ ОПТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ДЛЯ ^6Li

**О. А. Понкратенко¹, В. В. Улещенко¹, Ю. М. Степаненко¹,
Ю. О. Ширма¹, А. А. Рудчик¹, А. Т. Рудчик¹, К. Русек³, К. Кемпер^{2,3}**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

² *Флоридський університет, Таллахассі, США*

³ *Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща*

Виконано аналіз великого масиву експериментальних даних з пружного розсіювання іонів ${}^6\text{Li}$ на ядрах ${}^{12}\text{C}$, ${}^{24}\text{Mg}$, ${}^{28}\text{Si}$, ${}^{40,48}\text{Ca}$, ${}^{58}\text{Ni}$, ${}^{90}\text{Zr}$, ${}^{208}\text{Pb}$ у діапазоні енергій зіткнення від 1 до 50 МеВ/нуклон.

Встановлено, що в дифракційній області, що відповідає діапазону переданого імпульсу $q_t < 3 - 4 \text{ фм}^{-1}$, експериментальні диференціальні перерізи пружного розсіювання демонструють систематичну поведінку залежно від енергії: положення максимумів і мінімумів практично не змінюються у всьому діапазоні енергій, що розглядався, а значення перерізу в максимумах змінюються плавно з одним мінімумом в районі енергій зіткнення $E \approx 10 \text{ МеВ/нуклон}$.

В рамках оптичної моделі використовувалися різні форми представлення радіальної залежності оптичного потенціалу: типу Вудса - Саксона (WS) та квадрату такого форм-фактора (WS2), а також за допомогою моделі подвійної згортки (DF). Параметри форми потенціалів WS та WS2 – глибина, радіус, та дифузність, з кількома різними формами енергетичної, масової та зарядової залежності – визначалися з підгонки до експериментальних диференціальних перерізів. У випадку DF-потенціалів розрахунки як дійсної так і уявної частин потенціалу будувалися на основі теоретично обґрунтованих нуклонних густин, взятих з літератури. Нормувальні множники N_R , N_I , та масштабні множники для радіуса t_R , t_I , необхідні для покращення опису експериментальних даних, мали різні залежності від енергії зіткнення та заряду мішені. Загалом фолдінг-підхід вимагає менше вільних параметрів.

У результаті виконаного аналізу побудовано глобальний енергетично-залежний оптичний потенціал ${}^6\text{Li} + \text{T}$, що забезпечує задовільний опис пружного розсіювання ${}^6\text{Li} + \text{T}$ у діапазоні мас $A_T > 10$.

АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ ІЗОТОПІВ БЕРИЛІЮ З ДЕЙТРОНАМИ

**О. А. Понкратенко, В. В. Улещенко, Ю. М. Степаненко,
Ю. О. Ширма, А. Т. Рудчик, А. А. Рудчик**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Виконано систематичний аналіз великого масиву експериментальних даних для диференціальних перерізів процесів, що мають місце при зіткненнях дейтронів з ізотопами берилію ${}^{7,9,10,11}\text{Be}$: пружного, непружного розсіювання, а також реакцій однеінейтронних передач (d, p) та (d, t) у діапазоні енергій зіткнення 1 - 30 МеВ/нуклон. Теоретичною базою аналізу стали оптична модель, метод зв'язаних каналів реакцій та модель складеного (компаунд) ядра.

Аналіз продемонстрував виразну регулярну поведінку диференціальних перерізів у дифракційній області, особливо у випадку пружного розсіювання. Положення максимумів та мінімумів перерізів у шкалі переданого імпульсу залишаються практично незмінними у всьому аналізованому діапазоні енергій. Значення перерізів у максимумах також демонструють плавну залежність від енергії, відому з попередніх аналізів інших ядерних систем.

Встановлено, що в процесах пружного $d + \text{Be}$ розсіяння домінує потенціальне розсіяння хоча на великих кутах внесок механізму статистичного розпаду складеного ядра може бути вагомим, особливо при малих енергіях $E < 10$ МеВ/нуклон. Непружне розсіяння вдається описати на основі припущення про колективну природу збуджених рівнів з врахуванням внеску від механізму компаунд ядра, який на великих кутах може бути істотним при $E < 10$ МеВ/нуклон. Для досягнення якісного опису реакцій одонуклонних передач, необхідно враховувати, як механізми прямих передач так і механізм статистичного розпаду компаунд ядра, особливо при менших енергіях.

В результаті аналізу побудовано глобальний енергетичнозалежний оптичний потенціал взаємодії ізотопів берилію з дейтронами у діапазоні енергій 1-30 МеВ/нуклон, який забезпечує задовільний опис $d + {}^{7,9,10,11}\text{Be}$ взаємодії, базуючись істотною мірою на моделі подвійної згортки.

РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ ДЕТЕКТОРИЗОВАНОГО ФАНТОМУ ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦІЇ МЕТОДИКИ ПРОСТОРОВО ФРАКЦІОНОВАНОЇ РАДІАЦІЙНОЇ ТЕРАПІЇ

**Д. М. Рамазанов¹, В. М. Пугач¹, О. С. Ковальчук¹, В. М. Міліція¹,
А. В. Чаус¹, В. О. Кива¹, Д. І. Сторожик¹, М. І. Палій², О. Ю. Столярова²,
С. Я. Барсук³, А. Фаус-Гольф³**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

² *Інститут раку МОЗ України, Київ*

³ *Лабораторія лінійного прискорювача*

Національного центру наукових досліджень, Орсе, Франція

Основною проблемою радіаційної терапії є опромінення здорових тканин. Просторове фракціонування пучка дає змогу значно зменшити дозове навантаження на пацієнта, та підвищити загальну ефективність опромінення. Робота присвячена дослідженню впливу просторово фракціонованого пучка на тканини на різній глибині, за допомогою різних типів частинок: фотонів, протонів, електронів, легких іонів.

Використовуючи моделювання за методом Монте-Карло (GEANT4) розраховані оптимальні параметри геометрії та оптимальні матеріали для коліматорів. Розраховані параметри щілинних та матричних коліматорів для фотонів 6 МеВ, електронів 12 МеВ та протонів 105 МеВ. Результати розрахунків для ефективного формування міні-пучків оцінювалися за критерієм відношення інтенсивності міні-пучків в отворі коліматора до її значення в проміжку між двома міні-пучками (PVDR-Peak-to-Valley-Dose-Ratio).

За результатами були розроблені, виготовлені та протестовані коліматори для фракціонування пучків високоенергетичних фотонів. Тестування проводилися на фотонах 6 МеВ на медичному прискорювачі Varian linac на базі Київського інституту раку. Розроблені та виготовлені нові мікростріпові

детектори MMD-128 з використанням системи зчитування XDAS для фінальної версії детекторизованого фантому.

Планується тестування коліматорів та детекторизованого фантому на базі детекторів MMD-128 на 50MeV електронах на електронному прискорювачі установи ALTO (IN2P3, Orsay).

Роботи виконуються в рамках діяльності Міжнародної асоційованої лабораторії LIA IDEATE за фінансовою підтримкою проекту УНТЦ P9903.

ОСТАННІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ BGO-OD

М. В. Романюк^{1,2}
(від колаборації BGO-OD)

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Національний інститут ядерної фізики, Рим, Італія

BGO-OD – це новий експеримент на прискорювачі ELSA в Боннському університеті. Він поєднує магнітний спектрометр та центральний калориметр BGO, забезпечуючи таким чином майже 4π трекінг заряджених частинок та реєстрацію фотонів з високою роздільною здатністю. Це дає змогу досліджувати фотонародження мезонів в раніше не доступних режимах.

Введення в експлуатацію детектора було завершено у 2016 р. і з того часу було отримано декілька наборів даних на рідкому водні та дейтерії.

Отримані попередні результати фотонародження $K^+\Lambda$ на малих кутах, $K^+\Sigma^0$, $K^+\Lambda$ (1405) у різних канал розпаду, включаючи $\Lambda(1405) \rightarrow p^0\Sigma^0$, $K^0\Sigma^+$ та $K^0\Sigma^0$ на протонній та нейтронній мішенях. Останнє є особливо важливим для розуміння ролі взаємодії векторних мезонів та баріонів у s-секторі.

ПРУЖНЕ ТА НЕПРУЖНЕ РОЗСІЯННЯ ІОНІВ ^{15}N ЯДРАМИ ^6Li ПРИ ЕНЕРГІЇ 81 MeV

**А. Т. Рудчик¹, А. А. Рудчик¹, О. О. Чепурнов¹, К. Русек², К. В. Кемпер³,
Е. П'ясецькі², А. Столяж², А. Трціньська², Є. І. Кошій⁴, В. М. Пірнак¹,
О. А. Понкратенко¹, І. Строск⁵, Р. Сюдак⁶, С. К. Сакута⁷, А. П. Ільїн¹,
Ю. М. Степаненко¹, В. В. Улещенко¹, Ю. А. Ширма¹**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

³ Відділ фізики, Флоридський державний університет, Таллахасі, США

⁴ Циклотронний інститут Техаського А&М університету, Техас, США

⁵ Національний центр ядерних досліджень, Варшава, Польща

⁶ Інститут ядерної фізики ім. Г. Неводнічанського, Краків, Польща

⁷ Національний дослідний центр «Курчатовський інститут», Москва, Росія

Отримано нові експериментальні дані диференціальних перерізів пружного та непружного розсіяння іонів ^{15}N ядрами ^6Li при енергії $E_{\text{лаб.}}(^{15}\text{N}) = 81 \text{ MeV}$. Експериментальні дані проаналізовано за методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР). Пружне й непружне розсіяння, процес переорієнтації спіну ядра ^6Li та реакції передач нуклонів і кластерів включалися у схему зв'язку каналів. У МЗКР-розрахунках використовувався потенціал Вудса-Саксона (WS) з дійсною частиною, узгодженою з потенціалом подвійної згортки (фолдінг-потенціалом DF) взаємодії ядер $^{15}\text{N} + ^6\text{Li}$. Визначено параметри потенціалу WS, деформації ядер ^6Li і ^{15}N й отримано відомості про внески процесу переорієнтації спіну ядра ^6Li і реакцій одно- та двоступінчастих передач нуклонів і кластерів у пружне й непружне розсіяння ядер $^{15}\text{N} + ^6\text{Li}$. Спектроскопічні амплітуди нуклонів і кластерів, що використовувалися при розрахунках реакцій передач, обчислено за трансляційно-інваріантною моделлю оболонки (TIMO). Експериментальні дані пружного розсіяння ядер $^{15}\text{N} + ^6\text{Li}$ та потенціал WS взаємодії цих ядер порівнюються з відповідними величинами взаємодії ядер $^{15}\text{N} + ^7\text{Li}$. Виявлено ізотопічні відмінності (ефекти) експериментальних даних розсіяння ядер $^{15}\text{N} + ^6\text{Li}$ і $^{15}\text{N} + ^7\text{Li}$ та потенціалів їхньої взаємодії.

ИНДИКАТОР ОБЛАСТИ БАЛАНСА ПРИ ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРА В МЕТОДЕ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ТИХОНОВА

А. М. Соколов

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

Учет искажающего влияния аппаратуры при регистрации экспериментальных данных приводит к решению интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода:

$$\int_a^b K(t, s) x(s) ds = y_\delta(t), \quad t \in [c, d],$$

(в операторном виде $Kx = y_\delta$), (1)

где $x(s)$ – интересующая нас исходная зависимость (неискаженный спектр), $y_\delta(t)$ – полученная в результате регистрации спектра аппаратурой зависимость (зарегистрированный спектр), δ -уровень ее погрешности, $K(t, s)$ – аппаратная функция, предполагаемая заданной.

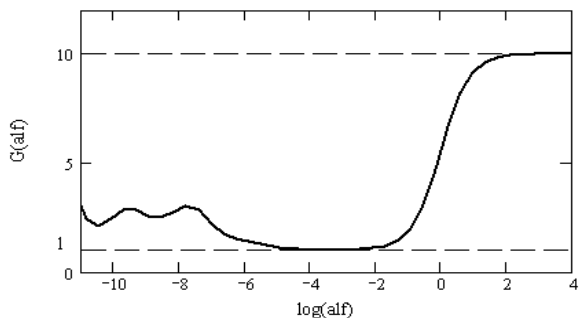
На решение уравнения (1) сильно влияет погрешность в правой части. Поэтому в методе регуляризации Тихонова уравнение (1) заменяется задачей на минимум сглаживающего функционала:

$$x_\alpha = \arg \min_x (\|Kx - y_\delta\|_{L_2}^2 + \alpha (\|x\|_{L_2}^2 + \|x'\|_{L_2}^2)). \quad (2)$$

Решение задачи (2), т.е. функция x_α , зависит от параметра регуляризации (ПР) α , балансирующего требования к частям функционала в (2). Важно удачно выбрать α .

Введем параметрические функционалы (функции от параметра α):

$$\rho(\alpha) = \|Kx_\alpha - y_\delta\|_{L_2} \quad \text{и} \quad \gamma(\alpha) = \|x_\alpha\|_{W_2^1} \equiv \left(\|x_\alpha\|_{L_2}^2 + \|x'_\alpha\|_{L_2}^2 \right)^{1/2}. \quad (3)$$



Графическая форма индикатора баланса (+S-curve)

Основные их свойства хорошо изучены [2]. Обе функции строго монотонны. Функция $\rho(\alpha)$ (невязка уравнения (1) на x_α) возрастает, норма регуляризованного решения $\gamma(\alpha)$ убывает. На основе $\rho(\alpha)$ строится критерий выбора ПР по принци-

пу невязки [2]. Мы будем использовать для выявления условия баланса функцию нормы регуляризованного решения. Для этого сравним значения функции $\gamma(\alpha)$ для двух разных значений параметра регуляризации, например, для α и $q \cdot \alpha$, где $q > 1$. Удобно взять параметр $q = 10$, т.е. изменить α на один порядок. В качестве индикатора возьмем отношение

$$G(\alpha) = \frac{\gamma(\alpha)}{\gamma(q \cdot \alpha)}. \quad (4)$$

Из строгой монотонности убывающей функции $\gamma(\alpha)$ следует, что $G(\alpha) > 1$. Кроме того, оказывается $G(\alpha) \rightarrow q$ ($\alpha \rightarrow \infty$). В области баланса график функции $G(\alpha)$, с логарифмической шкалой по α , имеет хорошо выраженный широкий минимум, где значения $G(\alpha)$ близки к 1. Область минимума $G(\alpha)$ соответствует области баланса для ПР в (2). С ростом параметра α функция возрастает, приближаясь к значению q . Поэтому правая часть графика $G(\alpha)$ имеет характерную S-образную форму.

1. А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. *Методы решения некорректных задач* (Москва: Наука, 1979).
2. В.А. Морозов. *Регулярные методы решения некорректно поставленных задач* (Москва: Изд-во МГУ, 1974).

НАЙТОЧНІШЕ ЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДУ НАПІВРОЗПАДУ ЯДРА ^{212}Po

**Н. В. Сокур¹, П. Беллі^{2,3}, Р. Бернабей^{2,3}, Р. С. Бойко^{1,4}, Ф. А. Даневич¹,
А. Ді Марко^{2,3}, А. Інчікитті^{5,6}, Д. В. Касперович¹, Ф. Капелла⁵,
В. Караччіоло⁷, В. В. Кобичев¹, О. Г. Поліщук¹, В. І. Третьак¹, Р. Черуллі^{2,3}**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Національний інститут ядерної фізики, відділення у Римі "Тор Вергата",
Рим, Італія

³ Римський університет "Тор Вергата", Рим, Італія

⁴ Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Київ, Україна

⁵ Національний інститут ядерної фізики, відділення у Римі, Рим, Італія

⁶ Римський університет "Ла Сапієнца", Рим, Італія

⁷ Національна лабораторія Гран-Сассо, Ассерджі, Італія

Метою дослідження є точне вимірювання періоду напіврозпаду ядра ^{212}Po (один з дочірніх нуклідів радіоактивного ряду ^{232}Th) за допомогою рідкого сцинтилятора на основі толуолу, у який торій у концентрації $\approx 0,1$ масових % введено у вигляді комплексу з оксидом триоктилфосфіну (активність ^{232}Th у сцинтиляторі становить 4.61 Бк/мл). Сцинтиляційні сигнали реєстрували за допомогою швидкого фотоелектронного помножувача та високочастотного осцилоскопу. Розроблено алгоритм пошуку та аналізу подій β -розпадів ^{212}Bi та наступних за ними α -розпадів ^{212}Po . З даних першого етапу експерименту було відібрано близько $7 \cdot 10^4$ подій розпадів $^{212}\text{Bi} \rightarrow ^{212}\text{Po} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$ та визначено період напіврозпаду ^{212}Po : $T_{1/2} = [294,8 \pm 1,6 \text{ (стат)} \pm 1,0 \text{ (сист)}] \text{ нс [1]}$. З метою зниження статистичної похибки, у другому етапі було набрано значно більше даних, з яких було відібрано близько $3 \cdot 10^6$ подій ланцюжка розпадів. Отримано найточніше значення періоду напіврозпаду $T_{1/2} = [294,6 \pm 0,2 \text{ (стат)} \pm 0,4 \text{ (сист)}] \text{ нс}$, яке добре узгоджується з результатами останніх експериментів Bogexino: $T_{1/2} = [294,7 \pm 0,6 \text{ (стат)} \pm 1,8 \text{ (сист)}] \text{ нс [2]}$, та XENON: $T_{1/2} = [293,9 \pm 1,0 \text{ (стат)} \pm 0,6 \text{ (сист)}] \text{ нс [3]}$, і дещо менше за величину періоду напіврозпаду, виміряну за допомогою сцинтилятора фториду барію $T_{1/2} = [298,8 \pm 0,8 \text{ (стат)} \pm 1,4 \text{ (сист)}] \text{ нс [4]}$, і табличне значення $T_{1/2} = 299 \pm 2 \text{ нс [5]}$.

1. П. Беллі та ін. Вимірювання періоду напіврозпаду ядра ^{212}Po за допомогою насиченого торієм рідкого сцинтилятора. Ядерна фізика та енергетика 19 (2018) 220.
2. G. Bellini et al. Lifetime measurements of ^{214}Po and ^{212}Po with the CTF liquid scintillator detector at LNGS. Eur. Phys. J. A 49 (2013) 92.
3. E. Aprile et al. Results from calibration a XENON100 using a source of dissolved radon-220. Phys. Rev. D 95 (2017) 072008.
4. P. Belli et al. Investigation of rare nuclears decay with BaF2 crystal scintillator contaminated by radium, Eur. Phys. J. A 50 (2014) 134.
5. E. Browne. Nuclear Data Sheets for A = 212. Nucl. Data Sheets 104 (2005) 427.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО ФРАКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ТА ГАММА-ПУЧКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТАЛЕВИХ МІКРОДЕТЕКТОРІВ

Д. І. Сторожик¹, О. С. Ковальчук¹, В. М. Пугач¹, В. М. Міліція¹,
А. В. Чаус¹, В. О. Кива¹, Д. В. Рамазанов¹, М. І. Палій², О. Ю. Столярова²,
С. Я. Барсук³, А. Фаус-Гольф³, П'єр Луїс Андре Леперк³

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Інститут раку МОЗ України, Київ

³ Лабораторія лінійного прискорювача

Національного центру наукових досліджень, Орсе, Франція

Формування дозового поля опромінення в терапії ракових пухлин належить до основних елементів лікувального плану. Мета просторового фракціонування радіаційного опромінення полягає в забезпеченні мінімального дозового навантаження на здорові тканини при максимальній дозі в раковій пухлині.

На основі моделювання за методом Монте-Карло (GATE 8.2 / GEANT4) оптимізовано функціональні елементи формування міні-пучків електронів та гамма-квантів, а також вимірювально-моніторингової системи [1]. Результати розрахунків для ефективного формування міні-пучків за критерієм відношення інтенсивності міні-пучків в отворі коліматора до її значення в проміжку між двома міні-пучками (PVDR-Peak-to-Valley-Dose-Ratio) порівнюються з експериментальними даними, виміряними на опромінюючій установці в Київському Інституті раку та на прискорювачі електронів PHIL (LAL, Орсе, Франція). Вимірювання виконані із використанням металевих та гібридних мікродетекторів [2]. Зокрема, металеві мікро-детектори (ММД), розроблені в ІЯД НАН України забезпечують найвищу радіаційну стійкість та вимір просторового розподілу інтенсивності опромінюючих пучків в реальному часі з високою просторовою роздільною здатністю (до кількох мікрон). Представлено конструкцію та перші результати тестування прототипу детекторизованого фантому, призначеного для дослідження розподілу дози на різних глибинах проникнення опромінюючих пучків. Підтверджено придатність радіаційно стійких мікро-піксельних та мікро-стріпових металевих та гібридних детекторів для моніторингу в реальному часі розподілу інтенсивності частинок в багато-пучкових структурах.

Роботи виконуються в рамках діяльності Міжнародної асоційованої лабораторії (LIA IDEATE, STCU Project P9903).

1. V. Pugatch et al. Characterization of equipment for shaping and imaging hadron minibeam. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A 872 (2017) 119.
2. V. Pugatch et al. Metal Micro-detector TimePix imaging synchrotron radiation beams at the ESRF Bio-Medical Beamline ID17. Nuclear Instruments and Methods A 682 (2012) 8.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ СИСТЕМАМИ ЖИВЛЕННЯ ТА ЗАХИСТУ ДЖЕРЕЛ ІОНІВ НА ЦИКЛОТРОНІ У-240

А. І. Устінов, О. Й. Колосов, Л. В. Михайлов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Для ефективної роботи на циклотроні У-240 розроблено комплекс програм для здійснення комп'ютеризації контролю систем живлення та захисту джерел іонів. Робота комплексу програм базується на основі промислового комп'ютера І-8831, в якому використовуються модулі розширення ЦАП, АЦП та цифрові введення і виведення даних. Такий підхід дає змогу використовувати промисловий комп'ютер для здійснення практично будь-яких функцій та моніторингу роботи циклотрона У-240, що дає змогу уніфікувати та зробити набагато дешевшим створення програмного забезпечення для вирішення поставлених задач. Комплекс програм дає змогу комп'ютерне керування роботою радіальних джерел легких та важких іонів, що забезпечує оптимізацію режиму роботи джерел іонів та необхідний захист роботи циклотрона У-240. Графічний інтерфейс розроблений на базі С++ з використанням бібліотек Qt та qwt, є доповненням операційної системи користувача для взаємодії з промисловим комп'ютером по TCP/IP.

АЛМАЗНИЙ ДЕТЕКТОР-ДОЗИМЕТР ДЛЯ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕРАПІЇ ТА ХІРУРГІЇ

**Р. Ю. Чаплинський¹, Е. Є. Петросян¹, Т. В. Микитюк¹, О. Г. Лисенко²,
В. І. Грушко², О. О. Занєвський², Є. І. Міцкевич², А. М. Кір'єв²**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

² *Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України,
Київ, Україна*

Алмаз радіаційно стійкий, має високу швидкодію, низький струм витоку в умовах високої радіації, атомний номер вуглецю ($Z = 6$) близький до ефективного атомного номера живих тканин ($Z \approx 7,4$) та води ($Z \approx 7,51$), відношення коефіцієнтів поглинання і розсіювання в алмазі та воді майже постійне в широкому діапазоні енергій іонізуючого випромінювання, також алмаз біологічно сумісний і має високу теплопровідність. Тому алмаз є перспективним матеріалом для детекторів та дозиметрів в променевій терапії та хірургії. Завдяки високій чутливості (висока рухливість електронів і дірок), короткому часу життя носіїв заряду та широкій забороненій зоні алмаз також добре підходить для реєстрації окремих іонізуючих частинок. Для детекторів часток найбільш підходящими вважаються штучні монокристали алмазу через їхню структуру кристала та можливість контролю домішок [1].

Тому в рамках роботи методом високих-тисків високих-температур синтезовані монокристали алмазу та виготовлені пластини діаметром 4 - 5 мм,

товщиною 0,5 мм. За рахунок аналізу оптичних спектрів відібрані зразки, що мають найменшу концентрацію домішок та нанесені електроди діаметром 2 мм (рис. 1). Розроблено та виготовлено попередній підсилювач та жорсткий радіопрозорий корпус детектора-дозиметру (рис. 2). Проведено випробування створеного детектора на опромінення альфа-частинками ^{241}Am , які показали впевнене детектування іонізуючих подій, викликаних альфа-частинками. Виконано моделювання відгуку детектора на дію гамма-частинок, що показали придатність розробленого приладу для використання в якості детектора-дозиметра для променевої терапії та хірургії. Використання алмазу, що має вищу радіаційну стійкість у порівнянні з іншими матеріалами для чутливих елементів, дає змогу підвищити стабільність та точність вимірювань і ефективність променевого лікування.

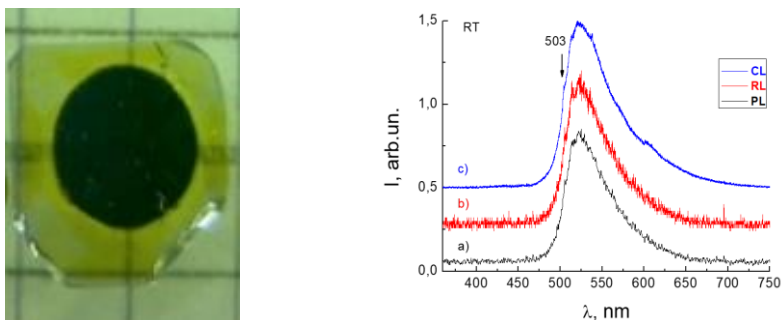


Рис. 1. Зразки алмазних пластин з контактними покриттями та їхні спектри катодолюмінесценції, фотолюмінесценції та рентгенолюмінесценції.

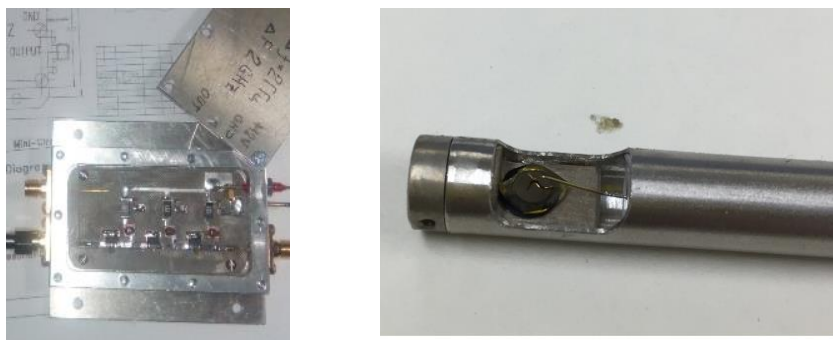


Рис. 2. Конструкція підсилювача та корпус медичного детектора-дозиметру з реєструючими алмазними пластинами.

1. Diamond detectors for hadron physics research. *Diamond and Related Materials* 19 (5-6) 358-367.

РОЗРОБКА НАДТОНКОЇ МІКРОСТРІПОВОЇ МІШЕНІ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ LHCb (CERN)

С. Б. Чернишенко^{1,2}, В. М. Пугач¹, О. Ю. Охріменко¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

З 2015 р. експеримент LHCb розпочав вивчення взаємодій ядерно-ядерних зіткнень, зокрема в режимі фіксованої мішені, котра представлена внутрішньою газовою мішенню SMOG (System for Measuring Overlap with Gas) [1]. На даний час розглядаються декілька технологічних варіантів проведення експериментів з фіксованою мішенню на LHC: газові мішені, твердотільні стріпові/фольгові мішені, тощо[2]. До переваг твердотільних мішеней можна віднести більший вибір елементів та їхніх ізотопів (майже всі метали), технічна реалізація та обслуговування, обмежена (~ 1 мкм) область взаємодії (полегшує реконструкцію точки взаємодії), вартість. Застосування такої мішені дозволить вивчати залежності процесів адронізації від характеристик основного стану ядер (параметр деформації), кіральний магнітний ефект може бути різним для ізобар-аналогових ядер, тощо. Крім того, вимірювання генерації кварконіїв одночасно на багатьох мішенях дозволить скоротити високоштовний час вимірів та запобігти цілому ряду систематичних похибок при порівнянні результатів від різних ядер-мішеней.

У цій роботі досліджуються такі фізико-технічні характеристики тонкої нікелевої мікростріпкової мішені, при котрих можлива її ефективна експлуатація в експерименті LHCb. З метою визначення оптимальних характеристик цієї мішені та її розміщення відносно пучка було зроблено оцінки часу функціонування мішені різних розмірів при різних положеннях відносно пучка.

Було виконано Монте-Карло симуляції на ГРІД-системі ЦЕРНу для нікелевої мішені розмірами $1 \text{ см} \cdot 1 \text{ мкм} \cdot 1 \text{ мкм}$ (довжина, ширина, товщина) в гало пучка LHC, що відповідає більше 3σ пучка ($\sigma = 50$ мкм), для розрахунку потоків утворених частинок. Дається загальний висновок щодо безпеки встановлення досліджуваної мішені в експерименті LHCb.

1. Emilie Maurice (on behalf of the LHCb Collaboration). Fixed-target physics at LHCb. 5-th Large Hadron Collider Physics Conference (LHCP 2017) Aug 17, 2017. 7 p. arXiv:1708.05184
2. C. Hadjidakis (Orsay, IPN) et al. A Fixed-Target Programme at the LHC: Physics Case and Projected Performances for Heavy-Ion, Hadron, Spin and Astroparticle Studies. Jul 2, 2018. 102 p. arXiv:1807.00603v2.

SEARCH FOR NEUTRINOLESS DOUBLE BETA DECAY WITH THE KAMLAND-ZEN EXPERIMENT

D. N. Chernyak

on behalf of KamLAND Collaboration

*Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (WPI),
The University of Tokyo, Kashiwa, Japan*

Neutrinoless double beta decay is a hypothetical nuclear transition which if observed will allow to establish Majorana nature of neutrino, determine the absolute neutrino mass and the neutrino-mass hierarchy, to verify the lepton number violation and possible contribution of right-handed admixture to weak interaction, help to test leptogenesis, existence of Nambu-Goldstone bosons (majorons) and other effects beyond the Standard Model.

The KamLAND-Zen experiment is searching for neutrinoless double beta decay of Xe-136 by using xenon-loaded liquid scintillator inside the KamLAND detector. The experiment is located in the Kamioka underground laboratory (Hida, Japan) at the depth of approximately 1000 m.

The previous phase of the experiment called KamLAND-Zen 400 used 13 tons of Xe-loaded liquid scintillator contained in a 3.08-m-diameter spherical inner balloon placed at the center of the KamLAND detector. The amount of the enriched xenon gas was almost 400 kg. The KamLAND-Zen 400 experiment was finished at the end of 2015 with the upper limits on the effective Majorana neutrino mass are in the range of 61–165 meV.

Status of the current phase of the experiment called KamLAND-Zen 800 will be reported. The amount of enriched Xe during this phase was increased up to ~750 kg. The production and installation of a new 3.84-m-diameter mini-balloon will be shown. The expected sensitivity on the effective Majorana neutrino mass will be discussed.

Progress on R&D for the next phase of the experiment – KamLAND2-Zen – will be also presented.

Тези доповідей з ядерної енергетики

КОНСТРУКЦІЯ І ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВИДІЛЬНОЇ ЗБІРКИ ЗІ СТРИЖНЕВИМИ ТВЕЛАМИ ДЛЯ ДОСЛІДНИЦЬКИХ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ ТИПУ ВВР-М

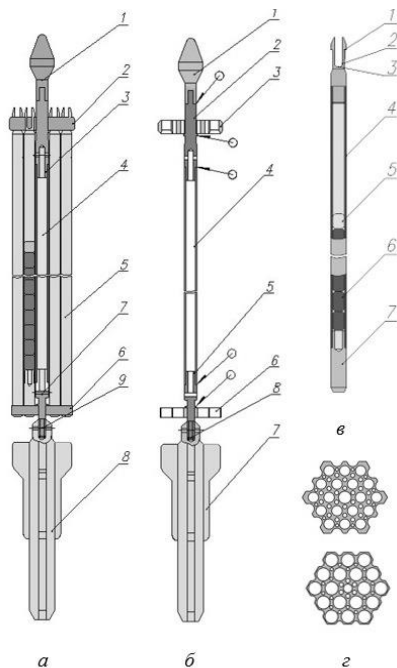
М. М. Белаш, А. В. Куштим, В. В. Зігунов, О. О. Слабоспицька

*Науково-технічний комплекс «Ядерний паливний цикл»
Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут»
НАН України, Харків, Україна*

Останніми роками намітилась тенденція до використання в паливних збірках для дослідницьких реакторів твелів стрижневої конструкції. Це пов'язано з тим, що вони є більш дешевими у виробництві, у порівнянні з трубчатими твелями збірок типу ВВР-М2.

У роботі представлена конструкція тепловидільної збірки ТВЗ-ХД2 [1] (рис. а), розробленої для використання в дослідницьких ядерних реакторах типу ВВР-М, наведено схеми виготовлення та результати досліджень паливних таблеток, твелів та ТВЗ-ХД2 в обґрунтування працездатності їх.

Паливна збірка ТВЗ-ХД2 складається з каркасу (рис. б) та 18 твелів (рис. в), що містять оболонку із сплаву Е110, яка загерметизована двома заглушками, фіксатор та паливний сердечник із композиції дисперсійного типу $\text{UO}_2 + \text{Al}$ [2]. Каркас включає центральний несучий вузол у вигляді труби з перехідними кінцевими деталями, нижню та верхню дистанційні решітки (рис. з), головку та хвостовик. Твेलі можуть бути виготовлені як в контейнерному варіанті, де паливні таблетки розміщені в оболонці з



Конструкція паливної збірки:
а – ТВЗ-ХД2; б – корпус ТВЗ-ХД2;
в – твел дисперсійного типу; з – дистанційні решітки; 1 – верхня кінцева деталь; 2 – верхня дистанційна решітка; 3 – перехідник; 4 – центральна труба; 5 – твел дисперсійного типу; 6 – нижня решітка; 7 – втулка; 8 – хвостовик; 9 – вузол з'єднання втулки з хвостовиком.

боковим зазором, так і в зчепленому, де дисперсійний паливний сердечник металургійно з'єднаний з оболонкою.

При обґрунтуванні вибору матеріалів для твелів і ТВЗ керувалися такими критеріями: значення міцності та плинності, теплофізичні та ядерні показники, корозійна стійкість в теплоносії, сумісність паливних, матричних, конструкційних матеріалів між собою при виготовленні і в експлуатації.

1. В.С. Красноруцький та ін. Тепловидільна збірка для дослідницької ядерної установки. Патент України на винахід № 117393 від 25.07.2018 р.
2. М.М. Белаш та ін. Спосіб виготовлення дисперсійного ядерного палива. Патент України на винахід № 112268 від 10.08.2016 р.

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ТЕКУЩЕГО И ПРОГНОЗИРУЕМОГО УРОВНЯ ПОДКРИТИЧНОСТИ ЯДЕРНО-ОПАСНОГО СКОПЛЕНИЯ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Е. Д. Высотский, Р. Л. Годун, К. А. Сущенко

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль, Украина

Основной задачей штатной системы контроля ядерной безопасности (СКЯБ) комплекса НБК-ОУ является непрерывный мониторинг плотности потока нейтронов (ППН) для своевременного обнаружения опасных изменений уровня подкритичности в скоплениях топливосодержащих материалов (ТСМ).

После начала эксплуатации Нового Безопасного Конфайнмента (НБК) на доступной периферии потенциально ядерно-опасного скопления (ПЯОС) ТСМ, локализованного в пом. 305/2, регистрируется рост ППН, который по результатам анализа может быть вызван увеличением эффективного коэффициента размножения нейтронов ($K_{эф}$) в этом кластере. ПЯОС ТСМ рассматривается как водо-урановая размножающая система с низкообогащенным топливом, характерной особенностью которой является наличие оптимального водо-уранового отношения, т.е. концентрации воды при которой $K_{эф}$ достигает максимальных значений ($K_{эф}$ уменьшается при дальнейшем увеличении концентрации воды до значений, определяемых доступной пористостью этой среды).

ПЯОС ТСМ наиболее вероятно представляет собой двухслойную композицию (верхний слой – черные ЛТСМ с массовой долей топлива до 5 % урана, нижний слой – предположительно критическая композиция с высокой долей топлива). Непосредственный доступ к этому скоплению ТСМ отсутствует, а мониторинг ППН осуществляется с помощью блоков детектирования (БД) СКЯБ ОУ. БД регистрируют нейтроны утечки, появляющиеся на верхней (БД №1) и на боковых поверхностях (БД №3) ПЯОС ТСМ. ППН, регистрируемая каждым детектором, включает в себя нейтроны, генерируемые как слоем ЛТСМ, так и предположительно критической композицией.

В рамках решения проблемы эффективного обеспечения ядерной бе-

зопасности с помощью регламентной СКЯБ был разработан и предложен алгоритм экспертной оценки текущего и прогнозируемого уровня подкритичности при уменьшении концентрации воды в размножающей среде ПЯОС ТСМ. Предложенная методология основывается на использовании динамики детектируемой ППН, расчетно-экспериментальных зависимостей $K_{эф}$ от концентрации воды в среде ЛТСМ, а также на взаимосвязи следующих динамических параметров размножающих систем в подкритичности:

$$\varphi \rightarrow n \rightarrow \frac{dn}{dt} \rightarrow \frac{dK_{эф}}{dt} \rightarrow \frac{dC}{dt} \rightarrow K_{эф}(t) \rightarrow \varphi(t),$$

где φ [н/см²·с] – детектируемая ППН; n [н/см³] – плотность нейтронов в системе; C [г/см³] – концентрация воды в размножающей среде; $\frac{dn}{dt}$ – скорость нарастания ППН; $\frac{dK_{эф}}{dt}$ – скорость введения реактивности; $\frac{dC}{dt}$ – скорость изменения концентрации воды в процессе обезвоживания ПЯОС ТСМ.

Методика позволила получить оценочную скорость ввода позитивной реактивности ($1 \div 3 \cdot 10^{-8}$ β/с) при текущем уменьшении концентрации воды в размножающей среде, а также спрогнозировать динамику регистрируемой ППН (соответственно и уровня подкритичности ПЯОС ТСМ) на интервале времени от 3 до 6 месяцев.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТСМ ВНУТРИ НБК-ОУ И ТЕКУЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Р. Л. Годун, В. А. Краснов

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль, Украина

После установки НБК «Арка» в проектное положение происходит изменение условий хранения топливосодержащих материалов (ТСМ), в связи с чем является актуальным переоценка уровня их ядерной и радиационной безопасности. Были проанализированы нормативно-техническая документация и отчеты (за последние 25 лет) о состоянии безопасности объекта «Укрытие». Представлена формализация определения ядерной безопасности для комплекса НБК-ОУ.

По результатам ранее проведенных исследований был выполнен анализ и классификация скоплений ТСМ с точки зрения их ядерной безопасности. Все скопления ТСМ были сгруппированы в три кластера. К первому отнесены скопление ТСМ, свойства которых достаточно изучены и которые при любых изменениях условий их хранения будут ядерно-безопасными, ко второму – те, гарантии ядерной безопасности которых могут быть получены только после уточнения (по результатам дополнительных исследований) их свойств/параметров.

К третьей группе скоплений были отнесены ТСМ, которые локализованы в подреакторных помещениях и являются потенциально ядерно-опасными. Нейтронно-физические свойства этих скоплений ТСМ сейчас изменяются, поэтому необходимо разработать и внедрить: мероприятия по повышению эффективности контроля уровня подкритичности скоплений ТСМ и/или технические решения по превентивному подавлению/исключению опасных параметров.

По результатам оценок (по состоянию на 2018) суммарная активность облученного ядерного топлива в пределах НБК-ОУ составляет около $2,0 \cdot 10^{17}$ Бк. Анализ процессов, происходящих в настоящее время внутри ОУ, показал наличие факторов, которые могут дестабилизировать существующее состояние ядерной и радиационной безопасности.

Частичное решение текущих проблем по обеспечению ядерной и радиационной безопасности в условиях комплекса «НБК-ОУ» возможно при реализации «Программы мониторинга ТСМ ОУ», которая предусматривает разработку новых методов и подходов при обращении с ТСМ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА РАЗМНОЖЕНИЯ НЕЙТРОНОВ В ТСМ ВНУТРИ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

Р. Л. Годун, А. А. Дорошенко, С. Н. Стадник

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль, Украина

После установки комплекса Арка «НБК-ОУ» в проектное положение зарегистрировано увеличение плотности потока нейтронов (ППН) на нижних отметках ОУ, в зоне локализации потенциально ядерно-опасного скопления (ПЯОС) топливосодержащих материалов (ТСМ), доступ к которому отсутствует.

По результатам анализа доступных расчетно-экспериментальных данных были определены три возможные причины роста регистрируемой ППН: уменьшение концентрации поглотителя (воды) в среде между стабильным источником и детектором; изменение эффективности детектора в результате изменения энергетического спектра нейтронного излучения; увеличение эффективного коэффициента размножения нейтронов ($K_{эф}$) в ПЯОС ТСМ, на периферии которого находятся блоки детектирования.

По результатам выполненных аналитических и расчетных работ были практически исключены первых два варианта, что является косвенным доказательством того, что регистрируемый рост ППН является следствием увеличения $K_{эф}$ внутри этого скопления ТСМ. Это предположение также подтверждается результатами статистической обработки измерений ППН регламентной системы контроля ядерной безопасности за период с 2017 г. по текущее время.

В условиях комплекса НБК-ОУ рост $K_{эф}$ внутри ПЯОС ТСМ наиболее вероятно является результатом ухода воды из этой размножающей среды и

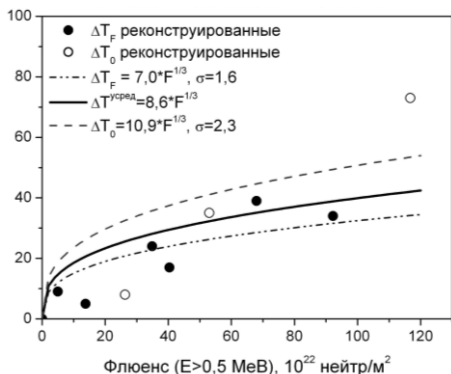
связан с тем, что концентрация воды в этом скоплении ТСМ выше оптимального значения (при котором максимум Кэф). С учетом зафиксированного в июне 1990 г. (также на периферии этого скопления ТСМ) нейтронного инцидента существует необходимость: переоценки уровня ядерной безопасности этого скопления делящихся материалов, а также разработки методологических основ и внедрения технических решений по снижению или исключению рисков, связанных с опасными изменениями уровня подкритичности внутри ПЯОС ТСМ.

КОРЕЛЯЦІЯ ЗСУВІВ КРИТИЧНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ КРИХКОСТІ ТА РЕФЕРЕНСНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ

М. Г. Голяк, В. М. Ревка, Л. І. Чирко, О. В. Шкапяк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Необхідною умовою безпечної експлуатації реакторної установки ВВЕР-1000 є збереження температурного запасу в'язкості матеріалів корпусу реактора. В'язкість руйнування характеризує опір матеріалу поширенню тріщини у відповідь на діючі механічні напруження. Найбільша ступінь окрихчування спостерігається у матеріалів КР, розташованих навпроти активної зони реактора.



Порівняння зсувів температур крихкості та референсної температури, отриманих різними методами, для основного металу КР ЗАЕС-5.

В'язкість руйнування характеризується референсною температурою T_0 , яка визначається за допомогою методології майстер кривої. Використання методології майстер кривої дає змогу отримати реальну оцінку параметрів в'язкості руйнування і тим самим уникнути необґрунтованих обмежень режимів експлуатації та термінів служби корпусу реактора.

У документі МАГАТЕ "VERLIFE" ("NULIFE") з метою оцінки радіаційного окрихчування корпусних матеріалів рекомендуються до використання такі інтегральні характеристики як

зсуви референсної температури (ΔT_0), що отримують за результатами випробувань на триточковий вигин зразків типу Шарпі з тріщиною. На практиці для цього використовують зсув критичної температури крихкості в'язкого переходу (ΔT_{KF}), який визначають за результатами випробувань на ударний вигин зразків-свідків типу Шарпі. Для продовження безпечної експлуатації

на понад проектний термін необхідно в'яснити чи зберігається кореляція між ΔT_{KF} та ΔT_0 при великих флюенсах, що накопичуються стінкою корпусу реактора навпроти активної зони.

З цією метою проведено аналіз отриманих експериментальних результатів випробувань на ударний та триточковий вигини зразків-свідків, які опромінені до великих флюенсів нейтронів (більших за $60 \cdot 10^{22}$ нейтр.м⁻²). Як показали результати аналізу, значення зсувів перехідних температур ΔT_{KF} та ΔT_0 повністю узгоджуються між собою в районі накопичених флюенсів принаймні до $92 \cdot 10^{22}$ нейтр/м².

Отриманий результат дає підставу для сумісного використання цих зсувів при визначенні коефіцієнта радіаційного окрихчування металу, що значно підвищить достовірність за рахунок збільшення експериментальних даних.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВВЕР-1000 ПРИ КОЛИВАННІ ТЕМПЕРАТУРИ ТЕПЛОНОСІЯ НА ВХОДІ В АКТИВНУ ЗОНУ

В. В. Горанчук, В. І. Борисенко

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Київ, Україна

Досліджено вплив особливостей перемішування теплоносія різних петель на нейтронну потужність на основі розробленої точкової моделі реактора ВВЕР-1000, що враховує зворотні зв'язки за ефектами реактивності, а також залежність основних теплофізичних параметрів від температури й тиску.

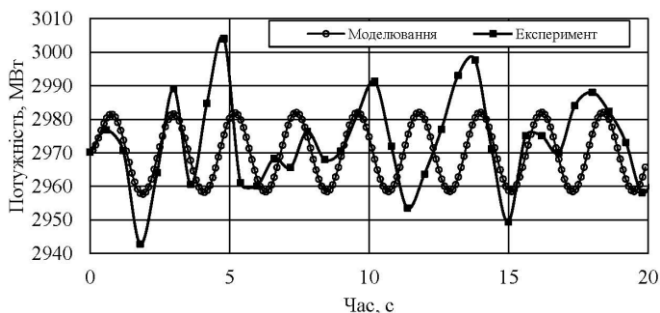
Модель передбачає врахування зворотних зв'язків реактора за рахунок визначення зміни реактивності реактора на кожному розрахунковому кроці. В моделі враховано вплив на реактивність зміни температури теплоносія і палива, положення ОР СУЗ тощо.

Для детального визначення температури твела поперечний переріз твела розбивається на елементарні сегменти з розрахунковими вузлами по центру сегментів. Для кожної зони температура вважається постійною.

Розроблена модель пройшла апробацію на даних, що були отримані під час спрацювання прискореного попереджувального захисту на ХАЕС-2, РАЕС-3 та ЗАЕС-4.

У доповіді представлено результати аналізу перемішування теплоносія петель, що призводить до зміни температури теплоносія на вході в сектор активної зони на границі сусідніх петель. Моделювання було проведено на початок і кінець паливної кампанії, а також для різних періодів коливань температури теплоносія на вході в активну зону в діапазоні 0,5 - 10 с, амплітуда коливань температури теплоносія $\sim 0,1 - 1,0$ °C.

Результати моделювання нейтронної потужності при амплітуді коливань температури теплоносія $-0,1$ °C і періоді коливань температури теплоносія на вході в активну зону рівному 2,2 с, а також експериментальні, представлені на рисунку.



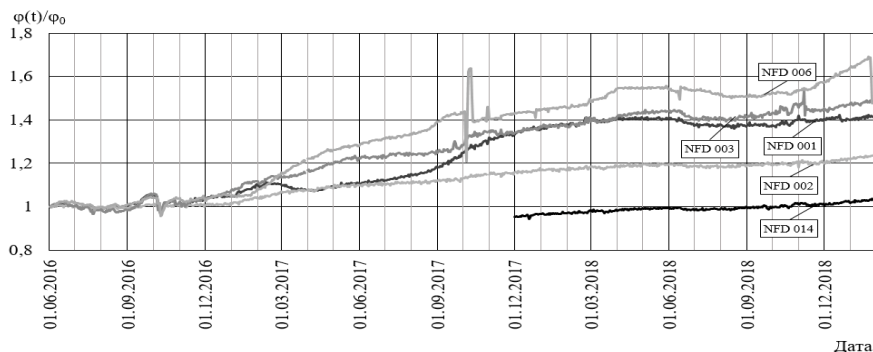
Потужність реактора ВВЕР-1000 (моделювання на початок паливної кампанії). Потужність реактора ВВЕР-1000 (моделювання на початок паливної кампанії).

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯДЕРНОЇ БЕЗПЕКИ КОМПЛЕКСУ НБК-ОУ

А. О. Дорошенко, Р. Л. Годун, Д. О. Муляр

*Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України,
Чорнобиль, Україна*

В умовах зруйнованого 4-го енергоблока ЧАЕС для ефективного забезпечення ядерної безпеки необхідно проводити безперервний моніторинг щільності потоку нейтронів (ЩПН) в місцях локалізації ядерно небезпечних об'єктів. Моніторинг температури на сьогоднішній день відсутній, а функцію моніторингу ЩПН покладено на регламентну систему контролю ядерної безпеки (СКЯБ) яка включає 19 вимірювальних каналів (ВК) ЩПН та потужності експозиційної дози (ПЕД). ВК СКЯБ розміщені в дослідних свердловинах, пробурених в різних приміщеннях об'єкту «Укриття» (ОУ) та обсаджених трубами для ізоляції від бруду та води.



Група вимірювальних каналів в яких спостерігається зростання ЩПН.

З початку введення в експлуатацію Нового Безпечного Конфайнменту (НБК) група каналів СКЯБ, розміщених в підреакторному просторі, реєструє збільшення ЩПН до 40 %, що пов'язано зі зміною температурно-вологісного режиму в середині комплексу НБК-ОУ.

Статистична обробка результатів вимірювань показала наявність групи неінформативних ВК. Дані детектори були встановлені в місцях, де не спостерігається значної ЩПН через віддаленість детекторів від паливовмісних матеріалів (ПВМ).

Інтерфейс керування СКЯБ, передбачає виведення на монітори поточної інформації та звукову сигналізацію при перевищенні контрольних рівнів, які встановлюються по результатами вимірювань за попередній рік. Таке представлення інформації не дає оператору оцінити реальні зміни в динаміці ЩПН, оскільки процес росту дуже повільний (1,5 - 3 % на місяць). На графіках щомісячних звітів, що представляються ДСП ЧАЕС, через наявність шумів (короткочасних піків, що змінюють масштаб графіків) та коротких періодів спостереження зареєстрована ЩПН має вигляд прямої лінії, в той час як реальні показники хоч і повільно але безперервно зростають.

Згідно з останніми звітами, в яких робилась оцінка ядерної безпеки на ОУ є приміщення, в яких знаходяться потенційно небезпечні скупчення ПВМ. Через складність проведення бурових робіт та невдалий вибір місць встановлення ВК поблизу потенційно ядерно-небезпечних скупчень (ПЯНС) ПВМ розміщено лише 3 – 5 ВК. При цьому центральний зал та скупчення в приміщенні 305/2, 307/2 взагалі не мають точок контролю ЩПН.

Так як СКЯБ повинен забезпечувати моніторинг у всіх зонах локалізації ПЯНС ПВМ, то пропонується провести роботи по переміщенню неінформативних ВК СКЯБ в точки моніторингу, що знаходяться в центральному залі та приміщенні 305/2.

ВЕРИФІКАЦІЯ ДАНИХ ПРО ДЖЕРЕЛА НЕЙТРОНІВ ДЛЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ MCPV І MCSS

В. В. Ількович

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Програмні засоби (ПЗ) MCPV і MCSS служать для визначення умов опромінення елементів конструкцій та зразків-свідків реакторів ВВЕР-1000 і ВВЕР-440. За допомогою цих пакетів програм виконується числове моделювання процесу переносу нейтронів у багатогруповому наближенні в тривимірній геометрії методом Монте-Карло.

Параметри елементарних джерел нейтронів для ПЗ MCPV і MCSS визначаються на підставі картограм паливних завантажень та інформації, що міститься у вихідних файлах програм для проведення експлуатаційних нейтронно-фізичних розрахунків.

Виходи нейтронів і середні групові вклади в нормовані спектри елемен-

тарних джерел визначаються залежно від сорту і глибини вигоряння ядерного палива. Необхідні для цього дані для кожного типу тепловиділяючої збірки в інтервалі вигорянь палива від 0 до 70 МВт·доба/кг(U) отримуються за допомогою ПЗ WIMS методом ймовірностей перших зіткнень у двовимірній геометрії в 69-груповому наближенні.

У роботі [1] наведено результати оновлення значень середньої кількості нейтронів, які утворюються при виділенні одиниці енергії за рахунок поділу ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu і ^{241}Pu в даному типі тепловиділяючої збірки, залежно від глибини вигоряння у даному елементарному джерелі в даний часовий момент. Для розрахунку цих значень було використано більш нову версію ПЗ WIMS – WIMSD-5B замість WIMSD/4, а також бібліотеку, яка створена на основі файлів оцінених ядерних даних ENDF/B-VII.1. Крім того, враховано нові рекомендації в ENDF/B-VII.1 з визначення енергії, яка вивільнюється за рахунок поділу ^{235}U , ^{238}U і ^{239}Pu , залежно від енергії налітаючого нейтрона.

У даній роботі наведено результати верифікації оновлених даних про джерела нейтронів для ПЗ MCPV і MCSS за допомогою ПЗ Serpent.

1. В.В. Ількович та ін. Оновлення даних про джерела нейтронів для програмних засобів MCPV і MCSS. У кн.: XXV Щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України. Київ, 16 - 20 квітня 2018. Тези доповідей (К., 2018) с. 98.

УРАХУВАННЯ ВПЛИВУ СПЕКТРАЛЬНОГО ЕФЕКТУ НА МАКРОСКОПІЧНІ ПЕРЕРІЗИ ЧАРУНКИ ВВЕР-1000

О. В. Кухонька

*Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки,
Київ, Україна*

Основою обґрунтування безпеки реакторної установки є дослідження нейтронно-фізичних характеристик активної зони реактора, що здійснюється на основі чисельного рішення рівняння транспорту нейтронів. Точність таких розрахунків забезпечує якість прогнозування поведінки реакторної установки та, відповідно, безпеку її експлуатації. Мета досліджень, результати яких представлені в роботі, – аналіз можливих підходів та методів, спрямованих на покращення точності визначення нейтронно-фізичних характеристик активної зони, і, відповідно, підвищення ядерної безпеки реакторної установки в цілому.

Розрахунки нейтронно-фізичних характеристик активної зони виконують за допомогою програмних кодів, точність проведення яких, перш за все, залежить від якості підготовки малогрупових бібліотек нейтронно-фізичних перерізів. Саме тому проблемам підготовки бібліотек макроскопічних перерізів взаємодії приділяють велику увагу.

Підготовка бібліотеки макроскопічних перерізів взаємодії вимагає врахування таких характеристик: композиції палива, його вигорання, температури та густини теплоносія та палива, концентрації рідкого поглинача [1]. Враховуючи те, що паливо у водо-водяному енергетичному реакторі (ВВЕР-1000) вигорає у переважній більшості при роботі на номінальному рівні потужності, усталена практика передбачає при підготовці бібліотеки перерізів виконувати розрахунки зміни ізотопного складу палива при вигоранні для певного референсного стану, що зазвичай характеризується усередненими значеннями. При цьому не враховується те, що у реальності умови вигорання палива можуть суттєво змінюватися, що впливає на енергетичний спектр розподілу нейтронів, та, як наслідок, на ізотопний склад.

Для урахування реальної історії вигорання (історичного або спектрального ефекту) необхідно врахувати залежність накопиченого ізотопного складу не тільки від вигорання, а й від самої історії зміни спектра нейтронів під час вигорання палива [1]. У рамках дослідження впливу спектрального ефекту розроблено розрахункову модель паливної чарунки ВВЕР-1000 для програмного коду WIMS [2] та проведено аналіз впливу зміни спектра щільності потоку нейтронів при варіації параметрів експлуатації палива на зміну ізотопного складу при вигоранні палива та макроскопічних перерізів. Визначено основні параметри, варіація яких призводить до зміни спектра нейтронів, та проведено розрахунковий аналіз зміни спектра щільності потоку нейтронів при зміні кожного із параметрів (температури палива, густини та температури теплоносія, концентрації борної кислоти) окремо та зміні усіх одночасно.

Результати розрахункового аналізу вказують на істотний вплив спектра зміни щільності потоку нейтронів на ізотопний склад при вигоранні палива. Так, у разі одночасної зміни всіх параметрів до максимальних відносно референсного значення спричинить відхилення ядерної концентрації ^{239}Pu на $\pm 22\%$ при вигоранні 63 МВт·діб/кгU). Така невизначеність ізотопного складу паливної чарунки призводить до похибки у визначенні макроскопічних перерізів взаємодії (наприклад, для перерізу поглинання в тепловій групі невизначеність становить $\pm 24\%$; та для перерізу ділення $\pm 15\%$). Таким чином, отримані результати вказують на необхідність врахування впливу залежності спектра нейтронів від точних параметрів експлуатації палива на макроскопічні перерізи взаємодії, як при підготовці малогрупових бібліотек нейтронно-фізичних перерізів, так і при подальших розрахунках нейтронно-фізичних характеристик активної зони реактора в цілому.

1. I.M. Ovdienko et al. Effect of Fuel Burnup History on Neutronic Characteristics of WWER-1000 Core. Nuclear and Radiation Safety Journal 3(63) (2014) 14.
2. J.R. Askew, F.J. Fayes, P.B. Kemshell. A general Description of the lattice Code WIMS. Journal of British Nuclear Energy Society 5(1) (1966) 564.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕЙТРОННОГО ПОЛЯ В ДОСЛІДНИЦЬКОМУ КАНАЛІ ВВЕР-М

Ю. Ф. Піонтовський¹, В. І. Борисенко^{1,2}

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

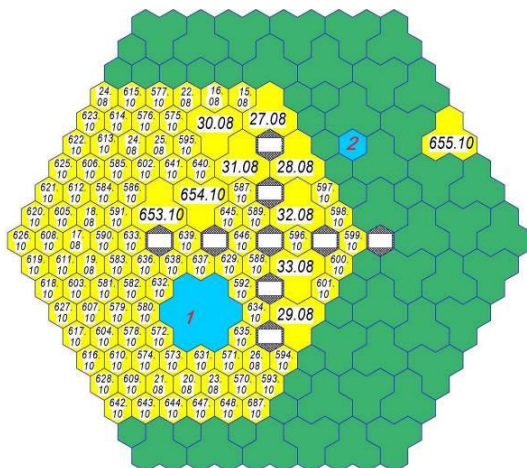
² Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Київ, Україна

У доповіді представлені результати розрахунків параметрів нейтронного поля в дослідницькому каналі який виготовлено для виконання випробувань детекторів прямого заряду (ДПЗ) в реакторі ВВЕР-М ІЯД НАН України. Роботу заплановано для оцінки працездатності та технічних характеристик експериментальних зразків ДПЗ, виготовлених в НАЕК «Енергоатом».

Опромінення ДПЗ необхідно проводити в умовах, максимально близьких до умов їхньої роботи в енергетичному реакторі типу ВВЕР.

Тісна решітка твेलів ВВЕР визначає особливості його нейтронно-фізичних характеристик, а саме твेलи розташовані близько один від одного, крок розташування 12, 75 мм. Наслідком цього є те, що жорсткість спектра нейтронів у ВВЕР змінюється у широкому діапазоні від 0,23 до 0,73 і є набагато більшою ніж, наприклад, у РБМК $\sim 0,12$. За фізичним змістом жорсткість спектра нейтронів - це відношення потоку епітеплових (резонансних) нейтронів до потоку теплових нейтронів.

Завданням дослідження було визначити можливі місця розташування дослідницького каналу у ВВЕР-М, в яких ДПЗ будуть опромінюватися потоком нейтронів щільністю та спектром нейтронів подібними до цих параметрів у ВВЕР.



Схематичне зображення розташування вимірювальних каналів в АЗ ВВЕР-М.

Для виконання такого завдання було проведено моделювання у кодї MCNP. Було розроблено дві розрахункові моделі частини активної зони (АЗ) ВВР-М, а саме, перша – представляє канал опромінення, що знаходиться в оточенні твелів в центральній частині АЗ (зона 1 на рисунку), друга – канал що знаходиться на периферії АЗ за шаром берилієвих витискувачів (зона 2 на рисунку). По периметру опромінюваних каналів встановлювалися ДПЗ, з метою визначення характеристик спектра нейтронів, що в них попадатимуть та визначення функції відгуку детекторів.

Результати числового моделювання показали, що найбільший потік нейтронів буде спостерігатися в центральній частині АЗ по висоті та що спектр нейтронів буде менш жорсткіший в каналі, що знаходиться в оточенні берилієвих блоків. Отримані значення дають змогу обґрунтовувати вибір місцерозташування та прогнозувати сигнал (струм) ДПЗ.

ВАЛИДАЦІЯ ПАКЕТА ПРОГРАММ MCNP, АДАПТИРОВАННОГО ДЛЯ РАСЧЕТОВ ПЕРЕНОСА НЕЙТРОНОВ В ОКОЛОКОРПУСНОМ ПРОСТРАНСТВЕ РЕАКТОРА ВВЭР-440

А. М. Пугач, С. М. Пугач, В. Л. Демехин, В. Н. Буканов, А. В. Гриценко

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

Дозиметрия корпуса реактора и образцов-свидетелей металла корпуса являются важными составными частями научно-технической поддержки безопасной эксплуатации ядерной энергетической установки. От достоверности данных об условиях облучения корпуса реактора и образцов-свидетелей в значительной мере зависит надежность оценки технического состояния корпуса и прогнозирования его эксплуатационного ресурса.

Поэтому для выполнения работ по подтверждению достоверности результатов расчетов переноса нейтронов и определения условий облучения корпуса ВВЭР и образцов-свидетелей нами была предложена схема процедуры верификации программного средства, которая далее была развита в схему процесса верификации и валидации. Согласно предложенной схеме валидация определяется как подтверждение адекватности результатов математического моделирования экспериментальным данным путем их сравнения.

В данной работе представлены результаты работ по валидации пакета программ MCNPV, используемого в методике определения условий облучения корпусов и образцов-свидетелей реакторов типа ВВЭР-440 украинских АЭС. Валидация выполнена на основе экспериментальных данных, полученных в макетном и натурных экспериментах. Показана возможность использования пакета программ MCNPV для моделирования распространения нейтронов в сложной гетерогенной среде ядерного реактора и получения достоверных значений функционалов нейтронного потока, воздействующего на корпус и образцы-свидетели реактора ВВЭР-440.

ВИКОРИСТАННЯ ЗРАЗКІВ ШАРПІ З ТРІЩИНОЮ ДЛЯ ОЦІНКИ В'ЯЗКОСТІ РУЙНУВАННЯ МЕТАЛУ КОРПУСУ РЕАКТОРА ВВЕР-1000 У ВИХІДНОМУ СТАНІ

В. М. Ревка, Л. І. Чирко, Ю. В. Чайковський, О. В. Шкапяк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Для матеріалознавчого супроводу безпечної експлуатації корпусів реакторів ВВЕР-1000 виконується Програма зразків-свідків, яка дає можливість контролювати радіаційно-індуковані зміни механічних властивостей металу корпусу реактора (КР) протягом всього періоду експлуатації АЕС. Однією з ключових властивостей є в'язкість руйнування, для оцінки якої передбачені стандартні зразки Шарпі та зразки Шарпі з тріщиною (PCVN). Однак, на сьогоднішній день результати випробувань зразків PCVN не використовуються для визначення в'язкості руйнування металу КР, тому що відсутні відповідні нормативні вимоги.

Останні досягнення експериментальних методів механіки руйнування дають змогу оцінювати в'язкість руйнування матеріалів за допомогою як традиційних, так і малорозмірних зразків, таких як Шарпі з тріщиною. Для цього використовують методологію Майстер кривої та референсну температуру T_0 , що вже включена в міжнародний стандарт ASTM E1921 та нормативні документи ASME Code Cases N-629 та N-830.

Однак деякі результати експериментів свідчать, що зразки Шарпі з тріщиною мають тенденцію давати неконсервативну оцінку величини T_0 , тобто спостерігається зсув у бік низьких температур на 15 - 20°C у порівнянні з традиційними зразками [1]. Тому у випадку використання даних, що отримані для малорозмірних зразків, може виникнути потреба в застосуванні додаткового температурного зсуву, щоб адекватно оцінити температуру T_0 для великих структур.

У даній роботі розглянута можливість використання зразків Шарпі з тріщиною для прямої оцінки в'язкості руйнування металу корпусу реактора ВВЕР-1000. Для дослідження був вибраний основний метал опорної обичайки архівного корпусу реактора блока № 1 Кримської АЕС у вихідному стані. Проведено випробування на в'язкість руйнування зразків різної форми та розміру. Шляхом випробувань компактних зразків 0,5T C(T) на позacentровий розтяг та зразків PCVN на 3-х точковий вигин визначено референсні температури T_0 та Майстер криві з 95 % довірчими границями. Також було проведено порівняння температур T_0 , що отримані за допомогою стандартних та малорозмірних зразків механіки руйнування.

Аналіз експериментальних даних показав, що для зразків PCVN значення T_0 на 7 °C нижче, ніж для компактних зразків 0,5T C(T). Зсув величини T_0 у бік від'ємних температур для зразків Шарпі з тріщиною можна пояснити ефектом втрати стиснення деформації (constrain loss effect) та появою розви-

неної пластичної текучості біля кінчика тріщини в момент руйнування [2]. В той же час Майстер крива та 95 % довірчі границі, отримані за результатами випробувань зразків PCVN адекватно описують температурну залежність та розкид значень $K_{JC(1T)}$ для компактних зразків 0,5T C(T). Цей результат свідчить, що зразки Шарпі з тріщиною можуть бути використані для оцінки в'язкості руйнування досліджуваного металу.

1. G.A. Joyce, R.L. Tregoning. Development of the T_0 reference temperature from pre-cracked Charpy specimen. Engng. Frac. Mech. 68 (2001) 861.
2. C. Ruggieri, R.H. Dodds, K. Wallin. Constraint Effects on Reference Temperature, T_0 , for Ferritic Steels in the Transition Region. Engng. Frac. Mech. 60 (1998) 19.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ НОВОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА АРМИРОВАННОГО БАЗАЛЬТ-БОРНОЙ ФИБРОЙ ОТ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**И. М. Романенко¹, М. И. Голюк¹, Г. И. Одинокин¹, А. В. Носовский¹,
В. Пастуск², М. Киск², А. Биланд³, Ю. М. Чувашов⁴, В. И. Гулик¹**

¹ *Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев, Украина*

² *Институт физики Университета Тарту, Тарту, Эстония*

³ *Базальтовая корпорация США, Хьюстон, США*

⁴ *Институт проблем материаловедения им. И. М. Францевича
НАН Украины, Киев, Украина*

В рамках проекта Horizon 2020 “Development of boron-infused basalt fiber concrete for nuclear and radioactive waste management applications (M-ERA.Net)” была разработана специальная базальтовая фибра с добавлением оксида бора для увеличения защитных свойств композитных материалов от нейтронного излучения.

Был проведен эксперимент на защитные свойства нового композитного материала от нейтронного излучения с помощью Pu-Be источника нейтронов. В качестве армирующего материала использовали два типа базальт-борной фибры с разными концентрациями оксида бора. Первый тип базальтовой фибры содержит 6 % B_2O_3 и 94 % базальта. Второй тип базальтовой фибры содержит 12 % B_2O_3 и 88 % базальта. При этом использовались различные дозировки базальт-борной фибры (5, 20 и 30 кг).

Для моделирования прохождения нейтронов в композитных материалах использовался Монте-Карло код Serpent. Была разработана нейтронно-физическая модель эксперимента на Pu-Be источнике нейтронов. Эта модель будет использоваться для сравнения экспериментальных и расчетных данных и для верификации кода Serpent для моделирования прохождения нейтронов в рассматриваемом композитном материале.

РОЗВИТОК ДЕЯКИХ СУПУТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ З ГАЗОВИМ ТЕПЛОНОСІЄМ IV ПОКОЛІННЯ

К. В. Сімейко

Інститут газу НАН України, Київ, Україна

Високотемпературні ядерні реактори з газовим теплоносієм мають ряд переваг перед легководними та важководними ядерними реакторами при застосуванні для генерації енергії та застосуванні у промисловості де необхідна низькопотенційна чи високопотенційна теплота. для проектування та впровадження реакторних установок даного типу необхідний розвиток супутніх технологій. до таких технологій можна віднести виробництво графіту ядерної чистоти, нанесення піровуглецевого захисного покриття мікротвелів, виробництва гелію.

В Інституті газу НАН України проведено цикл науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт у цьому напрямі. Результати досліджень відкривають перспективу створення енергоефективної та екологічно чистої технології очищення графіту до високої чистоти [1 - 2]. У реакторах з електротермічним псевдозрідженим шаром проведені дослідження по нанесенню піровуглецевого покриття на модель мікротвелу. Одержано капсульований матеріал з широким спектром вмісту піровуглецю (от 2 до 97 % мас.) [3 - 5]. Розроблено кріогенну технологію одержання гелієвого концентрату з природного газу [6].

Для проведення досліджень у напрямі розвитку супутніх технологій ядерних реакторів з газовим теплоносієм створюється Міжнародний консорціум для участі у грантових програмах Euratom і Horizon 2020.

1. К.В. Сімейко, Н.І. Сидоренко. Теплові параметри процесу високотемпературної обробки вуглецевих матеріалів у електротермічному псевдозрідженому шарі. Вчені записки Таврійського нац. ун-ту імені В. І. Вернадського. Сер.: Технічні науки. 30(69) (2019) 18.
2. K.V. Simeiko, M.A. Sydorenko. Receiving and high-temperature processing of carbon materials in the electrothermal fluidised bed for nuclear power needs. In: Intern. Sci. and Pract. Conf. "Prospects for the Development of Technical Sciences in EU Countries and Ukraine" (Dec. 21 - 22, 2018, Wloclawek, Republic of Poland). p. 129.
3. К.В. Сімейко. Дослідження теплофізичних характеристик процесу піролізу метану в електротермічному псевдозрідженому шарі. Промислова

теплотехніка 40(4) (2018) 83.

4. К.В. Семейко. Исследование характеристик и свойств пироуглеродных покрытий. Энерготехнологии и ресурсосбережение 1 (2018) 37.
5. К.В. Семейко и др. Исследование процесса осаждения твердого углерода при пиролизе углеводородных газов. Энерготехнологии и ресурсосбережение 2 (2015) 18.
6. Л.Р. Онопа и др. Извлечение гелиевого концентрата на ГРС и газовых месторождениях. Технические газы 16(4) (2015) 43.

МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ И ППН ВНУТРИ НБК-ОУ С ПОМОЩЬЮ ЭКСПЕРТНОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ СИСТЕМЫ

С. Н. Стадник, Р. Л. Годун, Г. И. Одинокин

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль, Украина

Для обеспечения внутри комплекса НБК-ОУ эффективного контроля уровня подкритичности потенциально ядерно-опасных скоплений (ПЯОС) топливосодержащих материалов (ТСМ) важным является мониторинг плотности потока нейтронов (ППН) на их доступной периферии. Также важен температурный мониторинг этих скоплений, но в связи с выводом в 2016 г. из эксплуатации системы «Финиш-Р» на текущее время штатный мониторинг температуры внутри объекта «Укрытие» (ОУ) не реализован, так как в регламентной системе контроля ядерной безопасности (СКЯБ) НБК-ОУ не предусмотрены температурные измерительные каналы.

Экспертная исследовательская система (ЭИС), которая создана в результате реорганизации систем «Финиш-И» и «Финиш-Р», предназначена для ведения долговременных и постоянных наблюдений (мониторинга) за основными параметрами состояния скоплений ТСМ (ППН и температура), расположенных во внутренних помещениях ОУ.

Представлены результаты калибровки и каротажа нейтронных измерительных каналов для различных исследовательских скважин (ИС), а также результаты мониторинга (за май-декабрь 2018 г.) и анализа температуры в ИС 3.9.Р, Ю.9.Б, Ю.9.В, Ю.9.Г, Ю.12.83, Ю.12.109 и в помещениях, в которых происходит обслуживание этих скважин. На протяжении всего исследуемого периода наблюдался рост регистрируемой температуры ($\sim 8 \div 10$ °C) в точках мониторинга, коэффициент корреляции равен $0,95 \div 0,99$, из чего следует что измерительные каналы ЭИС контролируют один источник – ПЯОС ТСМ.

На текущее время с помощью ЭИС возможно решение проблемы поиска и тестирования информативности точек мониторинга на периферии ПЯОС ТСМ внутри ОУ, а также задачи по организации мониторинга температуры в зоне локализации этого скопления.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КРИТИЧНОСТІ ТВЗ ВВЕР-1000 У КОДАХ SCALE ТА MCNP

І. О. Тітімець¹, В. І. Борисенко^{1,2}

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

² Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Київ, Україна

Проведення досліджень з критичності є обов'язковим при обґрунтуванні вибору розрахункових кодів, які застосовуються для аналізу ядерної безпеки технологічних операцій із переміщення, перевезення та зберігання як свіжого ядерного палива (вузол зберігання ядерного палива на енергоблоці АЕС), а також і відпрацьованого ядерного палива (контейнери перевантаження, сховища відпрацьованого ядерного палива) реакторів різних типів. При обґрунтуванні ядерної безпеки систем зберігання відпрацьованого ядерного палива необхідно підтвердити, що максимальне значення ефективного коефіцієнта розмноження нейтронів k_{eff} нижче встановленої нормативної межі 0,95. У цій роботі представлені результати порівняльного аналізу з визначення k_{eff} у розрахункових кодах MCNP та SCALE для різних конфігурацій ядерного палива – твелів ВВЕР-1000.

Для верифікації розрахункових кодів, було проведено моделювання 12 критичних експериментів на установці SF-9, що експлуатувалась у 1966-1987 рр. в національному дослідницькому центрі «Курчатовський інститут». Кожний з 12 критичних експериментів відрізнявся кількістю твелів ВВЕР-1000 і рівнем води при якій досягалась критичність.

Отримані результати порівняльного аналізу дають змогу зробити висновки стосовно похибки визначення k_{eff} у кодах SCALE і MCNP, а також обґрунтовано за результатами валідації обрати розрахунковий код для проведення аналізу з ядерної безпеки систем зберігання ядерного палива, у тому числі й відпрацьованого ядерного палива.

Також у роботі представлено порівняння результатів моделювання k_{eff} у кодах SCALE та MCNP, різних, мінімальних по кількості ТВЗ, конфігурацій тепловидільних збірок ТВЗ-А та ТВЗ-WR при яких можливо досягнення критичності. Під час розрахунків були прийняті однакові умови: кількість ітерацій – 1000 по 5000 нейтронів в кожній ітерації, що є достатнім для отримання статистичної похибки на рівні $\sim 0,00035$.

На границях моделі задавались умови: 1) без відбивача (вакуум); 2) псевдонескінченний водний простір (сфера радіусом 100 м); 3) повне відбивання (дзеркало).

Випадок відсутності води всередині ТВЗ не розглядався, так як він характеризується глибокою підкритичністю. Для нескінченної решітки «сухих» ТВЗ $k_{\text{eff}} \approx 0,66$.

Результати розрахунків k_{eff} для різних умов моделювання наведено у таблиці.

Значення k_{eff} при різних граничних умовах і конфігураціях ТВЗ

Конфігурація	Умова 1		Умова 2		Умова 3	
	SCALE	MCNP	SCALE	MCNP	SCALE	MCNP
3 ТВЗ-А	$0,94495 \pm 0,00040$	$0,91341 \pm 0,00037$	$1,09455 \pm 0,00039$	$1,07675 \pm 0,00033$	$1,41778 \pm 0,00028$	$1,36754 \pm 0,00025$
3 ТВЗ-WR	$0,94999 \pm 0,00043$	$0,91161 \pm 0,00036$	$1,09741 \pm 0,00037$	$1,07325 \pm 0,00034$	$1,40811 \pm 0,00027$	$1,35582 \pm 0,00026$
4 ТВЗ-А	$1,03223 \pm 0,00039$	$0,99725 \pm 0,00037$	$1,14630 \pm 0,00035$	$1,12281 \pm 0,00032$		
4 ТВЗ-WR	$1,03655 \pm 0,00043$	$0,99525 \pm 0,00035$	$1,14838 \pm 0,00036$	$1,11869 \pm 0,00033$		

Аналіз результатів дає змогу зробити такі висновки:
 розрахунковий код SCALE дає дещо завищені значення k_{eff} у порівнянні з кодом MCNP;
 обидва коди можуть бути застосовані для аналізу критичності ТВЗ для ВВЕР-1000.

ОЦІНКА РЕСУРСУ КОРПУСУ РЕАКТОРА ЕНЕРГОБЛОКА № 1 РІВНЕНСЬКОЇ АЕС ЗГІДНО З РІЗНИМИ НОРМАТИВНИМИ ПІДХОДАМИ

О. В. Тригубенко^{1,2}, В. М. Ревка¹, Л. І. Чирко¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² ВП «Науково-технічний центр» ДП «НАЕК «Енергоатом», Київ, Україна

Особливістю корпусу реактора (КР) енергоблока № 1 Рівненської АЕС (РАЕС-1) є те, що він експлуатується після проведення відновлювального відпалу зварного шва (ЗШ) № 4, що було необхідною умовою подовження ліцензії для цього енергоблока. Корпус реактора РАЕС-1 є єдиним в Україні, що пройшов процедуру відпалу, і цю обставину потрібно враховувати при оцінці його ресурсу і можливого додаткового продовження терміну експлуатації.

Необхідність проведення відпалу КР РАЕС-1 було обґрунтовано за результатами поглибленого дослідження хімічного складу металу шва, що було виконано з використанням зразків-свідків (ЗС) штатної програми енергоблока. У зв'язку з виявленим градієнтом за вмістом фосфору у зварному шві, у новій програмі ЗС, що розроблена для матеріалознавчого супроводу довгострокової експлуатації КР після відпалу, було враховано різну концентрацію фосфору в металі. Зразки металу ЗШ було розділено на дві групи: з низьким ($C_P = 0,031\text{--}0,033\%$ ваг.) та високим ($C_P = 0,035 - 0,037\%$ ваг.) вмістом фосфору. Крім того до нової програми ЗС додатково включено матеріали зварних швів, виготовлених за штатною технологією корпусів реакторів ВВЕР-440, з вмістом фосфору у діапазоні від 0,029 до 0,051% ваг., що дає змогу отримати консервативну оцінку радіаційного окрихчування внаслідок повторного після відпалу опромінення.

На даний час досліджено чотири комплекти ЗС металу корпусу реактора РАЕС-1. На підставі даних ЗС для металу зварного шва визначено зсув критичної температури крихкості для максимального флюенса нейтронів $59,4 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-2}$. Аналіз динаміки радіаційного навантаження на КР показав, що

приблизно такий флюенс буде накопичений зварним швом № 4 в кінці 40-ї паливної кампанії. Враховуючи нові дані, з'явилась можливість оцінити ресурс КР РАЕС-1 та швидкість деградації властивостей металу на період експлуатації після відновлювального відпалу.

У роботі за результатами випробувань ЗС на ударний вигин визначено ступінь радіаційного окрихчування металу КР РАЕС-1 повторно опроміненого після відпалу. Ці дані було порівняно із величиною окрихчування внаслідок первинного опромінення та з нормативною кривою ПНАЕ Г-7-002-86. Також було розраховано ресурс КР на період понад проектної експлуатації шляхом порівняння критичної температури крихкості з гранично допустимим її значенням. Оцінку критичної температури крихкості виконано згідно з двома підходами: діючого нормативного підходу, який було застосовано для КР ВВЕР при первинному опроміненні, та відповідно до відомих у літературі моделей окрихчування внаслідок повторного після відпалу опромінення. У роботі виконано порівняння двох підходів з точки зору консервативної оцінки критичної температури крихкості металу КР.

МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛЬ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ВВЭР-1000 ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВРК-М2

**А. Р. Трофименко, В. В. Гальченко, И. И. Шлапак,
Д. В. Будик, В. И. Гулик**

ЧАО "СНПО "Импульс", Северодонецк, Украина

С развитием компьютерных технологий и их возможностей, методы Монте-Карло становятся все более популярными для расчета ядерных реакторов. Самым известным кодом Монте-Карло для расчета реакторных и делющихся систем, является код MCNP, который был разработан в Национальной лаборатории США в Лос-Аламосе. В последнее время появилось достаточное количество других кодов Монте-Карло, среди которых код Serpent. Serpent разрабатывается в Финляндии (VTT Technical Research Centre) начиная с 2004 г. На данный момент первая версия этого кода доступна через NEA Data Base, а вторая версия кода распространяется среди пользователей.

В статье представлено использование нового Монте-Карло кода Serpent для трехмерного моделирования активной зоны реактора ВВЭР-1000. Применение кодов Монте-Карло позволяет анализировать свойства широкого спектра нейтронно-физических и теплогидравлических характеристик активной зоны в любой точке ядерного реактора. В работе были разработаны модели активных зон для первой топливной загрузки РАЭС-4 и 28-й ЮУАЭС-3. Разработка расчетной схемы активной зоны для двух этих топливных загрузок потребовало разработку расчетных схем ТВС различных производителей.

При разработке расчетной схемы активной зоны, детально смоделировано верхний, нижний и боковые отражатели.

Валидационные расчеты разработанной расчетной схемы были проведены для первой загрузки РАЭС-4. Для 28-й загрузки ЮУАЭС-3 были получены альбедные граничные условия для радиального и аксиальных отражателей. Подготовленные модели активных зон реактора ВВЭР-1000 будут использоваться для расчета «информационного обеспечения» для нового украинского мониторингового детерминированным кода СВРК - ImCore, который разрабатывается в ЧАО "СНПО "Импульс". Использование компьютерного кода основанного на методе Монте-Карло позволит повысить точность «информационного обеспечения», и как следствие, повысить точность всего расчета параметров ядерного реактора в СВРК.

ПРОБЛЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ ІМІТАТОРА РАДІАЦІЙНИХ ПОЛІВ У ГЕРМОЗОНАХ ЯДЕРНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕАКТОРІВ

І. А. Хомич

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

У доповіді викладено концептуальні положення проектування імітатора. Актуальність цього напрямку визначається сучасними тенденціями підвищення експлуатаційної надійності критичних об'єктів сучасної економіки – атомної енергетики, космічної галузі, об'єктів хімічного виробництва тощо. Цей напрямок отримав міжнародне признание в усіх високотехнологічних галузях і зарекомендував себе як найбільш ефективний спосіб забезпечення надійності і передбачуваності роботи відповідальних об'єктів в реальних умовах. Проведені дослідження свідчать, що незважаючи на попередній досвід української науки в створенні імітаторів, наприклад, для космічної галузі, поки що не створені імітаторів об'єктів вітчизняної ядерної енергетики. На даний час створення таких імітаторів для енергетики України є актуальною проблемою.

Метою даних досліджень є оцінка можливостей створення в ІЯД НАН України імітатора, як важливого компонента безпеки експлуатації хоча б для певної частини критичного обладнання АЕС з переліку нормативних документів України та міжнародних рекомендацій МАГАТЕ. Юридичною базою створення імітаторів є закони України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» (39/95-ВР) та «Про дозвілну діяльність у сфері використання ядерної енергії» (1370-14), нормативні положення Державної адміністрації ядерного регулювання України «Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій» (НП 306.1.02/1.034-2000) та «Загальні вимоги до продовження експлуатації енергоблоків АЕС у понад проектний строк за результатами здійснення періодичної переоцінки безпеки» (НП 306.2.99-2004), а також стандарти НАЕК «Енергоатом» України «Квалификация оборудования и технических устройств. Общие требования.» (СТП 0.08.050-2004).

Найближчим за можливостями є створення імітатора радіаційних полів в гермозонах ядерних енергетичних установок для випробування і сертифікації

електротехнічного устаткування та вузлів системи водообороту в реакторі. У їхньому складі кабелі, електроприводи, ізолятори, прохідні ізолюючі муфти та інше, з переліку, затвердженого НАЕК. Надійною основою успішного здійснення проекту такого імітатора є великий попередній досвід фахівців ІЯД НАН України та результати досліджень принципових питань вибору джерела радіації і аналізу технічних можливостей радіаційної експериментальної бази інституту. Була науково обґрунтована доцільність створювати імітатор на базі універсального електрофізичного джерела радіації – діючого прискорювача електронів великої потужності. Це стало основою створення в ІЯД науково-технологічної радіаційної установки з прискорювачем електронів 4 MeV і потужністю пучка 5 кВт. Конструкція реакційної камери установки розрахована на радіаційні випробування і сертифікацію крупного критичного обладнання АЕС. Для того, щоб скористатися такими унікальними можливостями, які поки що не мають ніякі інші наукові заклади в Україні, необхідно вирішити останнє з обов'язкових заходів створення імітатора – забезпечити протирадіаційний захист персоналу і довкілля при імітації в реакційній камері установки потужних радіаційних полів великих об'ємів.

У доповіді обговорюються методика вимірювань інтенсивності радіації в приміщеннях установки та на прилеглий території в режимах генерації електронів, гальмівного гамма-випромінювання, та змішаних гамма-електронних радіаційних полів. Обговорюються методики обробки отриманих даних та моделі розрахунків генерації нейтронних потоків для оцінки технологічної і економічної доцільності використання їх для сертифікації вибраного типу обладнання АЕС.

СТІЙКІСТЬ СТАЦІОНАРНОЇ ХВИЛІ ЯДЕРНИХ ПОДІЛІВ

В. М. Хотяїнцев, А. В. Аксьонов

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Привабливість швидких реакторів типу «breed-and-burn» обумовлені тим, що подільні нукліди в них напрацьовуються безпосередньо в процесі роботи. Тому в якості палива вони можуть використовувати ^{238}U , чи навіть відпрацьоване паливо легководних реакторів. На відміну від традиційних ядерних реакторів, вони не потребують постійного підтримання критичності системою управління і можуть працювати в так званому саморегульованому режимі, коли рівень потужності встановлюється автоматично за рахунок внутрішніх фізичних механізмів. Особливо незвичною є фізика реакторів на хвилі ядерних поділів (РХЯП) (відомих також як CANDLE або TWR), в яких напрацювання і спалювання подільних нуклідів може відбуватися у вигляді автохвилі сталої форми, або стаціонарної хвилі. Стійкість хвилі ядерних поділів є важливою з точки зору внутрішньої безпеки РХЯП і належного проектування таких реакторів, але на даний час досліджена недостатньо.

У даній роботі аналітично і чисельно досліджується стійкість реактора з

паливом на основі ^{238}U у режимі стаціонарної хвилі відносно процесів проміжного часового масштабу (порядку часу життя ^{239}U і ^{239}Np). Динаміка реактора описується в межах ефективної одновимірної моделі зв'язаною системою рівнянь вигорання для восьми нуклідів і ефективних продуктів поділу та рівняння дифузії нейтронів в одноруповому наближенні з урахуванням температурного зворотного зв'язку і впливу запізнювальних нейтронів. Аналітично стійкість хвилі досліджується в лінійному наближенні відносно малих відхилень розподілів концентрації і потоку нейтронів. Із часово-просторових рівнянь динаміки реактора отримане і проаналізоване відповідне характеристичне рівняння, знайдені межі областей стійкості і нестійкості реактора та областей з якісно різною часовою поведінкою. Побудована також відповідна діаграма у площині коефіцієнт зворотного зв'язку – швидкість хвилі, в якій існують області коливальної та експоненціальної поведінки потоку нейтронів, як стійкої так і нестійкої.

Показано, що без негативного температурного зворотного зв'язку режим стаціонарної хвилі є нестійким: коливання потоку нейтронів нарастають, переходячи в режим генерації імпульсів. Причиною виникнення нестійкості є вплив кінетики проміжних нуклідів ^{239}U і ^{239}Np , концентрації яких є малими через короткі часи життя і тому зазвичай не враховуються у розрахунках стаціонарної хвилі. Причому принципове значення має співвідношення між ефективними мікроскопічними перерізами поділу і поглинання даних нуклідів: ^{239}U є подільним, а ^{239}Np – фертильним. Стабілізувати режим стаціонарної хвилі на проміжних часах можна лише негативним температурним зворотним зв'язком. Із посиленням зворотного зв'язку режим коливальної нестійкості переходить у режим затухаючих коливань, і далі, у режим експоненціального затухання малих відхилень потоку і концентрацій ядер. Порогове значення коефіцієнта зворотного зв'язку для переходу від режиму загасаючих коливань до коливальної нестійкості залежить від швидкості хвилі.

Результати проведеного у роботі чисельного моделювання нестационарних часово-просторових процесів підтверджують існування областей стійкості і нестійкості стаціонарної хвилі та областей різної часової поведінки потоку і концентрацій відповідно до побудованої діаграми станів.

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МІНІАТЮРНИХ КОМПАКТНИХ ЗРАЗКІВ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ НА В'ЯЗКІСТЬ РУЙНУВАННЯ

Ю. В. Чайковський, В. М. Ревка, Л. І. Чирко, О. В. Шкапяк

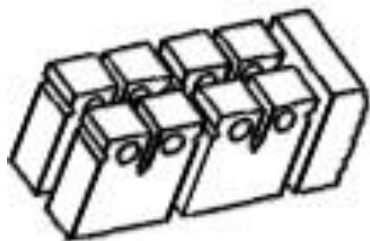
Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

На сьогоднішній день досягнення експериментальних методів механіки руйнування дають змогу прямо визначати тріщиностійкість матеріалів за допомогою як традиційних так і малорозмірних (Шарпі з тріщиною втоми) зразків механіки руйнування. Для цього використовують метод Майстер кривої та референсну температуру T_0 , які вже застосовуються у нормативній практиці.

Пряме визначення параметрів в'язкості руйнування дає можливість уникнути надмірного консерватизму та подовжити проектний термін експлуатації корпусів реакторів до 60-х – 80-х років. Як перший крок для зменшення надмірного консерватизму в оцінці ресурсу КР розглядається визначення вихідної температури крихкості для матеріалів КР у неопроміненому стані, що базується на результатах статичних випробувань зразків на в'язкість руйнування та референсній температурі T_0 , взамін критичної температури крихкості T_{K0} , що визначається з випробувань стандартних зразків Шарпі на ударний вигин. Важливо зазначити, що референсна температура T_0 суттєво нижча за температуру T_{K0} , що автоматично знижує критичну температуру крихкості опромінених матеріалів корпусу реактора і відповідно збільшує температурний запас по в'язкості руйнування та радіаційний ресурс корпусу реактора. Таким чином, з'являється можливість подовжити проектний термін експлуатації корпусу реактора шляхом простої переоцінки температури крихкості матеріалів корпусу реактора у вихідному стані, не застосовуючи для цього технологію термічного відпалу корпусу, що потребує величезних коштів.

Однак проблема полягає в тому, що фактично для жодного корпусу реактора ВВЕР-1000, що експлуатуються в Україні, немає архівного матеріалу для виготовлення стандартних зразків, проведення відповідних випробувань та надійного визначення референсної температури T_0 з необхідним рівнем консерватизму. У цьому випадку одне з можливих рішень полягає у використанні мініатюрних компактних зразків таких як 0,16Т С(Т), які можуть бути виготовлені з половинок випробуваних стандартних зразків Шарпі та Шарпі з тріщиною втомі із контрольних (неопромінених) комплектів зразків-свідків.

У роботі представлена інформація по розробці технології виготовлення малих компактних зразків 0,16Т С(Т) з розмірами $4 \times 10 \times 10$ мм, які можуть бути використані для отримання дійсний значень T_0 . Перевага цього підходу полягає в тому, що декілька міні С(Т) зразків можуть бути виготовлені з однієї з половинок випробуваних зразків Шарпі, які використовуються в програмі зразків-свідків для корпусів реакторів (рисунк).



Мініатюрні С(Т) зразки, що вирізані з половинки випробуваного зразка Шарпі.

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ТАБЛЕТОК ИЗ UO_2 ДЛЯ ТОПЛИВА ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ»

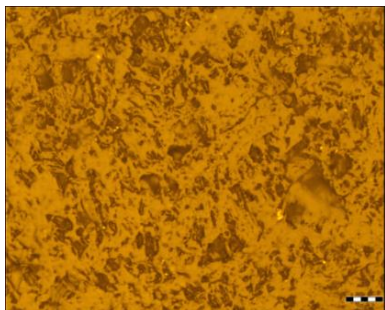
**И. А. Чернов, В. Р. Татаринев, Н. Н. Белаш,
Д. В. Кутний, Е. Б. Валежный**

*Научно-технический комплекс «Ядерный топливный цикл»
Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина*

В НТК ЯТЦ ННЦ ХФТИ разработан комплект конструкторской и технологической документации, изготовлены экспериментальные образцы топливных таблеток, твэлов, макетов ТВС различной конструкции и опытная ТВС-Х, которая спроектирована совместимой и взаимозаменяемой по габаритным и присоединительным размерам, основным эксплуатационным характеристикам с ТВС ВВР-М2, принятой в качестве базовой в подкритической сборке (ПКС) установки «Источник нейтронов, управляемый ускорителем электронов». Выполнены исследования в обоснование работоспособности применительно к параметрам и условиям эксплуатации ПКС.

В отличие от базового варианта ТВС ВВР-М2, состоящей из трех коаксиально размещенных твэлов трубчатой формы с дисперсионным металлокерамическим ($\text{UO}_2\text{-Al}$) топливом, в ТВС-Х использованы стержневые твэлы, с таблеточным топливом из UO_2 в оболочке из циркониевого сплава Э110 диаметром 9,1 мм с толщиной стенки 0,69 мм, герметизированной нижней и верхней заглушками. Внутри оболочки расположен столб топливных таблеток общей длиной 500 мм. Он зафиксирован от перемещения распорной втулкой. В основном варианте ТВС-Х топливные таблетки изготовлены из UO_2 обогащением по ^{235}U в пределах (4,40...4,43) % вес. Свободный от топливных таблеток объем и зазоры внутри твэла заполнены гелием высокой чистоты до давления 0,15 МПа.

Одной из ответственных задач при производстве твэлов ТВС-Х является изготовление таблеток из UO_2 заданного обогащения по ^{235}U , заданных геометрических размеров, плотности, структуры и т.д. В отличие от стандартных технологических процессов изготовления топливных таблеток из диоксида урана особенностью процесса изготовления топливных таблеток, использованного в данной работе, является смешивание порошков UO_2 с различным обогащением: 0,4 %вес. ^{235}U и 19,7 %вес. ^{235}U , достижение их равномерного распределения, обеспечение требуемого допуска по диаметру без применения операции шлифования таблеток за счет использования технологии вакуумного спекания. В работе приведены схема изготовления таблеток из UO_2 , технические требования и методы контроля таблеток, результаты исследований структуры, физико-химических характеристик и элементного состава материала таблеток (рисунок).



Внешний вид и микроструктура топливных таблеток.

Исследование характеристик изготовленных топливных таблеток показало соответствие предъявляемым к ним требованиям по внешнему виду, геометрическим размерам, плотности, обогащению и концентрации примесных элементов.

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ОПИСУ ГРАНИЧНИХ УМОВ ПРИ ВИРІШЕННІ ДИФУЗІЙНОЇ МОДЕЛІ

Д. О. Шеляговський¹, В. В. Гальченко¹, Ю. Білодід²,
В. І. Гулік¹, І. І. Шлапак¹, Д. В. Будік

¹ ПАТ "СНВО "Імпульс", Київ, Україна

² Гельмгольц-центр (FZR) Дрезден-Россендорф, Дрезден, Німеччина

При виконанні розрахунку активної зони енергетичного реактору важливу роль відіграє завдання граничних умов моделі. На сьогодні виділяють два підходи для вирішення цієї задачі. Це завдання граничних умов у вигляді альбедних коефіцієнтів на границі паливо\відбивач і, інший підхід, моделювання додаткового шару відбивача навколо активної зони.

В обох випадках, або підготовка альбедних коефіцієнтів, або підготовка гомогенізованих перерізів взаємодії для шару відбивача є задачею нетривіальної і такою, що вимагає досить складного і детального моделювання.

З використанням Монте-Карло Serpent розроблено розрахункову схему активної зони реактора ВВЕР-1000 і підготовлено набір як коефіцієнтів альbedo, так і гомгенізованих перерізів взаємодії для подальшого розрахунку в DYN3D.

Для програмний продукт DYN3D було розроблено дві розрахункові схеми для 19-того паливного завантаження енергоблока № 6 ЗАЕС. Розрахункова схема без відбивача, граничні умови в якій задаються з використанням коефіцієнтів альbedo і, розрахункова схема з відбивачем, для якого задавався необхідний набір гомогенізованих перерізів взаємодії.

На базі розроблених розрахункових схем проведено розрахунки паливної кампанії, та її різних станів.

1. U. Grundmann et al. DYN3D Version 3.2. Code for Calculation of Transients in Light Water Reactors (LWR) with Hexagonal or Quadratic Fuel Elements. Forschungszentrum Rossendorf, Institute of Safety Research, 2005.
2. В.В. Гальченко, А.А. Мішин, Н.М. Рабченко. Аналіз впливу допусків і посадок при виготовленні ТВЗА ВВЕР-1000 на характеристики активної зони в стаціонарних і перехідних режимах роботи реакторної установки. Наукові вісті НТУУ «КПІ» 2 (2012) 30.
3. В.В. Гальченко, А.А. Мішин. Порівняльний аналіз нейтронно-фізичних характеристик кампанії реактора з використанням різних наборів бібліотек ядерних даних для програмного продукту WIMSD5B. Ядерна та радіаційна безпека 3(67) (2015) 8.
4. J. Leppänen et al. The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013. Annals of Nuclear Energy 82 (2015) 142.
5. V. Galchenko, I. Shlapak, V. Gulik. Computational Benchmark for Fuel Assembly of VVER-1000 Using the Monte Carlo Serpent Code. Nuclear Technology and Radiation Protection XXXIII(1) (2018) 24.
6. В.В. Гальченко, А.М. Абдулаев, І.І. Шлапак. Використання програмного продукту на базі методу Монте-Карло для отримання малогрупових гомогенізованих макроскопічних перерізів. Зб. праць Одес. політехн. ун-ту 3(53) (2017) 37. (Eng)
7. В.В. Гальченко і др. Верификация методологии приготовления констант для кода ImCore. Вопросы атомной науки и техники 2(114) (2018) 44. (Eng)

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ДОВІРЧИХ ІНТЕРВАЛІВ РОЗКИДУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ТА ЇЇ АПРОБАЦІЯ

**О. В. Шкапяк, Л. І. Чирко, В. М. Ревка, Ю. В. Чайковський,
М. Г. Голяк, О. В. Тригубенко**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Однією із основних характеристик, по якій визначають ресурс блока АЕС, є стан корпусу реактора. У свою чергу, одним із критеріїв оцінки цілісності корпусу реактора є температура крихко-в'язкого переходу, а одним із методів визначення температури крихко-в'язкого переходу є випробування на ударну в'язкість. Метою представленої роботи є аналіз бази даних залежностей ударної в'язкості від температури, створеної на основі даних зразків-свідків (ЗС) корпусів реакторів типу ВВЕР-1000 і побудованої у відносних координатах для визначення рівняння верхньої (95 %) та нижньої (5 %) огинаючих розкиду експериментальних даних. Необхідність проведення такої роботи обумовлена тим, що при дослідженні зразків-свідків на ударний вигин у зв'язку із значним розкидом експериментальних даних, інколи виникає питання чи та, чи інша точка дійсно є розкидом чи, можливо, викидом експериментальних даних.

Залежність ударної в'язкості від температури має вигляд (1):

$$KCV = A \cdot \left(1 + th \left[\frac{T - T_0}{C} \right] \right), \quad (1)$$

де A – середнє значення KCV між верхнім $KCV_{\max}$ і нижнім $KCV_{\min}$ значеннями ударної в'язкості; T_0 – температура, що відповідає значенню A ; C – емпірична константа.

У рамках роботи, було проведено розрахунки результатів випробувань зразків-свідків для металів корпусів реакторів типу ВВЕР-1000 та їх зведення в одну таблицю, а саме експериментальних даних ударної в'язкості від температури, що обумовило значний масив даних. Далі було зведено ці дані в одну систему координат та проведено аналіз розкиду їх на верхньому шельфі, нижньому шельфі та в перехідній області. В результаті було отримано рівняння верхньої 95 % (2) та нижньої 5 % (3) огинаючих розкиду експериментальних даних кривої ударної в'язкості від температури, які мають вигляд:

$$KCV_{(0,95)} = A \cdot \left(1,28 + 0,96 \cdot th \left[\frac{T - T_0 + 26}{0,96 \cdot C} \right] \right), \quad (2)$$

$$KCV_{(0,05)} = A \cdot \left(0,72 + 1,04 \cdot th \left[\frac{T - T_0 - 26}{1,04 \cdot C} \right] \right). \quad (3)$$

На основі отриманих результатів була розроблена та написана комп'ютерна програма *kcvtstogun* для автоматизації та оптимізації розрахунків.

У ході проведення роботи було створено базу даних на основі випробувань зразків-свідків на ударний вигин, яка містить 1648 точок. Проведено аналіз бази даних та розроблено методику визначення довірчих інтервалів розкиду експериментальних даних ударної в'язкості від температури. На основі розробленої методики виведено рівняння верхньої (95 %) та нижньої (5 %) огинаючих розкиду експериментальних даних. Розроблена програма *kcvtstogun* дала змогу: зменшити часові витрати для побудови залежності ударної в'язкості від температури, 5 та 95 % огинаючих, а також обрахунку $T_{ки}$ або $T_{кF}$, відкрити нові можливості для швидкого обрахунку великої кількості однотипних даних з використанням різних методик при подальшому удосконаленні алгоритму та тіла програми.

Тези доповідей з радіаційної фізики та реакторного матеріалознавства

ВПЛИВ ПОТУЖНОСТІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НА ВИЗНАЧЕННЯ СПЕКТРА ПРОТОНІВ, ОТРИМАНИХ НА ЛАЗЕРНИХ ПРИСКОРЮВАЧАХ, ЗА ДОПОМОГОЮ КРЕМНІЄВИХ Р-І-N ДІОДІВ

І. Є. Анохін¹, А. Б. Розенфельд²

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Центр медичної радіаційної фізики, Університет Вуллонгонга,
Вуллонгонг, Австралія

Використання надпотужних лазерів для отримання контрольованих протонних пучків та застосування їх у різних областях – область досліджень, яка інтенсивно розвивається протягом останніх 20 років [1 - 3]. Вважається, що такі лазери можуть бути використані в якості альтернативи РЧ прискорювачам для отримання пучків з відповідними характеристиками, які необхідні для лікування раку [4].

У роботі [5] було теоретично досліджено застосування тонких кремнієвих планарних р-і-п діодів для визначення спектра пучків протонів, отриманих за допомогою лазерних прискорювачів та розроблено метод відновлення протонного спектра шляхом аналізу форми імпульсу струму від часу для різних відстаней між джерелом протонів та положенням детектора.

Найбільш помітною різницею між опроміненням протонами, які отримані за допомогою лазерних прискорювачів, та зі звичайними джерел є потужність дози. Потужність дози звичайного медичного прискорювача зазвичай становить близько 120 Гр/сек (але може досягати $\sim 10^3$ Гр/сек в режимі точкового сканування). У випадку застосування лазерних прискорювачів протонів потужність дози може перевищувати 10^9 Гр/сек, а час опромінення може бути набагато коротшим (зазвичай наносекунди). Така потужність дози може істотно змінити відгук діода.

У даній роботі теоретично досліджено вплив дуже високої потужності дози і широкого спектра протонів, отриманих за допомогою лазерних прискорювачів, на генерацію і збір заряду в тонкому кремнієвому планарному р-і-п діоді. Запропоновано модель відгуку детектора на опромінення протонними пучками, отриманими на лазерних прискорювачах, з урахуванням надвисокої потужності дози і широкого протонного спектра.

1. K. Ledingham, W. Galster. New Journal of Physics 12 (2010) 045005.
2. H. Daido et al. Rep. Prog. Phys. 75 (2012) 056401.
3. A. Macchi, M. Borghesi, M. Passoni. Rev. Mod. Phys. 85 (2013) 751.
4. H. Owena, A. Lomax, S. Jolly. Nucl. Inst. Meth. A 809 (2016) 96.
5. I. Anokhin et al. Conference records. IEEE NSS-MIC, J-03-1, 2017.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ РЕАЛІЗАЦІЇ ТРЕКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАНОПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЯДЕРНО-ФІЗИЧНИХ РАДІАЦІЙНИХ УСТАНОВКАХ ІЯД НАН УКРАЇНИ

**А. С. Борзаківський¹, Т. В. Ковалінська¹, В. І. Сахно¹, Ю. В. Іванов¹,
В. І. Куц¹, М. І. Боровець¹, В. О. Рилошко¹, О. М. Фанлейб²**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України Київ, Україна

Розробка і виробництво треккових мембран (часто – ядерних фільтрів) відноситься до області високих технологій і може бути успішно реалізована в ІЯД завдяки наявності високопрофесійних вчених-ядерників, хіміків та фізиків, а також завдяки високому рівню ядерно-фізичної експериментальної технічної бази. Мікрофільтрація і технології фільтрувальних матеріалів для них має давню історію і є традиційним напрямком української науки. У промисловості поширені ядерні фільтри у вигляді тонких полімерних плівок з наскрізними отворами малих розмірів. Основою таких методів є слід (трек) від ядерної частинки, як факт її взаємодії з матерією. Використано відомий ефект, що будь-які заряджені частинки взаємодіють з оточуючою матерією на усьому шляху їхнього руху.

Аналізується досвід тривалого застосування традиційних треккових технологій. Встановлено, що радіація є найбільш енергоефективним методом напрацювання напористих плівок з групи ядерних мембран. Показано, що для виготовлення покращених ядерних мембран з нових полімерів перспективним є використання альфа-частинок і високоенергетичного гамма-опромінення. Запропоновано і обґрунтовано технологічну схему виробництва ядерних мембран з нових вітчизняних полімерних плівок на технічній радіаційній базі ІЯД НАН України.

Наводяться результати перших випробувань запропонованої технологічної схеми для отримання треккових мембран з різних типів полімерних плівок групи поліціануратів. Отримано позитивні результати випробування нових ядерних мембран для селекції газів з їхньої суміші.

РОЗРОБКИ РАДІАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ГІДРОЛІЗНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЯДЕРНОЇ ТА ТРАДИЦІЙНОЇ МЕДИЦИНИ

Т. В. Ковалінська, В. І. Сахно, Ю. В. Іванов, І. А. Хомич, Т. І. Масівська

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Обговорюється комплекс науково-дослідних та технологічних робіт, спрямованих на пошуки шляхів нетрадиційного застосування ядерної енергії для покращення ефективності та функціональності водних медичних розчинів. В об'єм входять заходи отримання гідролізатів у радіаційно-хімічних реакціях при опроміненні води та водних розчинів, а також пошуки і випробування шляхів практичного застосування їх.

У доповіді наводяться результати аналізу теоретичних матеріалів щодо радіолізу води. Узагальнено дані щодо механізмів утворення активних гідролізатів в опроміненій воді та процеси їхньої подальшої трансформації. Складено системи хімічних реакцій, перспективних для застосування в реальній медицині. Показано, що такі радіаційні процеси можуть бути точно розраховані ще на етапі їхнього проектування.

Експериментально доведено можливість нагромадження енергії іонізуючих випромінювань у різних формах, допускаючи подальшу можливість її вивільнення і використання для медичних потреб. Розроблено методики вимірювань характеристик опроміненої (електроактивованої) води і схеми практичної реалізації їх для реальних експериментів. Оцінено і визначено оптимальні шляхи використання нагромадженої в опроміненій воді енергії випромінювання для стимулювання біохімічних та хімічних реакцій в складних органічних системах, органічних молекулах і живих клітинах.

Досліджено і запропоновано ряд технологій здійснення медико-біологічних досліджень *in-vivo* медичних можливостей гідролізатів на адаптованому варіанті радіаційної установки ІЯД з використанням спеціальних технічних засобів.

Встановлено оптимальні методи напрацювання продуктів гідролізу води. Досліджено і вибрано оптимальні методи опромінення води і водних розчинів лікарських засобів. Показано, що опромінення мегавольтними електронами для даного випадку є найбільш вигідним способом досягнення поставленої мети. Розроблено методику напрацювання активних радикалів на прискорювачі електронів 4 MeV та шляхи адаптації існуючої в ІЯД НАН України радіаційної експериментальної техніки.

Розроблено і експериментально випробувано проект технологічного регламенту напрацювання гідролізатів на промислових радіаційних установках, потужній радіаційній техніці, що експлуатується відповідними підприємствами. Результати свідчать про можливість широкого промислового виробництва гідролізатів в Україні та використання медичними закладами України для підвищення ефективності лікування найскладніших опікових травм від радіопроцедур в онкології, при аваріях на ядерних енергетичних об'єктах та запобігання небажаних побічних ефектів застосування медичних засобів.

Наукові результати сприяють створенню оригінальних методик і спеціальних медичних засобів для оперативного реагування на кризові радіаційні травми.

МОДИФІКАЦІЯ СТРУКТУРИ ПОВЕРХНІ КРЕМНІЮ З ПРИРОДНИМ ТА ЗІ ШТУЧНО НАРОЩЕНИМ ОКИСЛОМ МЕТОДОМ ІОННОГО ОПРОМІНЕННЯ

**В. І. Варніна¹, Г. П. Гайдар¹, М. Б. Пінковська¹, О. С. Кондратенко²,
В. Р. Романюк², М. І. Старчик¹**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

Досліджено можливість застосування швидких легких і важких іонів для зміни морфології та оптичних властивостей поверхні опроміненого кремнію з різною товщиною поверхневого окислу для подальшого створення поверхневих композитів і композитних плівок на кремнієвих підкладках. Такі композити у разі нанесення нанорозмірних металевих включень перспективні для створення сучасних опто- та наноелектронних пристроїв, які базуються на явищі збудження поверхневих (локалізованих) плазмонів (коливань) і поверхневих плазмонних поляритонів (хвиль).

Відомо, що іони, потрапляючи в кристал у процесі опромінення, втрачають енергію за рахунок розсіяння на електронній підсистемі (збудження та іонізація) та на ядерній – при передачі енергії ядрам атомів матриці з утворенням радіаційних дефектів. Основна генерація дефектів відбувається при сповільненні іонів, тобто є нерівномірною вздовж треку частинки і максимальна в кінці пробігу. Наші дослідження кремнію з природним окислом, опроміненого 27.2 MeV іонами гелію, продемонстрували специфіку його оптичних і структурних властивостей за великих флюенсів. Металографічні дослідження структури опроміненого Si, котрі виявляють розподіл дефектів уздовж напрямку опромінення, свідчать, що, хоча найбільші напруження ґратки Si є в області гальмування іонів (як і передбачено теорією взаємодії опромінення з кристалом), за великих флюенсів шаруватий розподіл напружень спостерігається в пробіжній для іонів області і за межею їхнього гальмування. У спектрах кремнію, опроміненого іонами гелію флюенсом

10^{17} см^{-2} , у спектральній області $5000 \div 400 \text{ см}^{-1}$ не спостерігалось додаткового поглинання, пов'язаного з опроміненням. За таких флюенсів метод поляризаційної еліпсометрії констатує стрибкоподібну зміну показника поглинання кремнію, а експерименти із залученням атомно-силового мікроскопа свідчать про значне зростання шорсткості поверхні. Зазначені обставини і стали визначальними для використання даного матеріалу у ході подальших досліджень.

Термічне осадження плівки золота на таку модифіковану поверхню кремнію зумовлює формування острівцевої плівки з окремих ізольованих зерен Au, тоді як на пласкій поверхні за аналогічного осадження золота плівка набуває лабіринтної структури.

У випадку, коли на кремній перед опроміненням нанести окисел SiO_2 товщиною близько 500 нм, ситуація стане дещо іншою. Важкі іони ^{131}Xe з енергією 130 МеВ спричиняють іонізацію та збудження атомів матеріалу вздовж усієї траєкторії руху. Структурні зміни в області траєкторії швидкого іона мають локальний характер, а нанометровий та наносекундний масштаби релаксації збудженого матеріалу забезпечують незначне збудження оточуючої матриці. Оскільки напрям руху іона, який бомбардує матеріал, практично не змінюється, утворюється прихований трек, котрий можна виявити за допомогою хімічного травлення. Напилення золотої плівки на пористу поверхню такої структури por-SiO_2 та її подальший відпал призводять до нерівномірного заповнення наночастинками Au пор шару окислу. Частинки золота розташовуються на поверхні SiO_2 та у порах верхньої частини окисної плівки товщиною близько 100 нм, ймовірно, внаслідок нерівномірного за розмірами витравлювання нанопор вглиб плівки SiO_2 .

Таким чином, осаджуючи Au на шорстку поверхню Si, попередньо опроміненого значними флюенсами іонів гелію, або впроваджуючи наночастинки Au у модифіковану швидкими іонами ^{131}Xe структуру SiO_2/Si , можна створювати поверхневі наноконкомпозити на кремнієвій підкладці.

РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННОЕ ФАЗООБРАЗОВАНИЕ В ЛАВООБРАЗНЫХ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛАХ 4-ГО БЛОКА ЧАЭС

**С. В. Габелков, И. В. Жиганюк, В. Г. Кудлай, П. Е. Пархомчук,
А. Д. Скорбун, С. А. Чиколовец**

*Институт проблем безопасности атомных электростанций НАН Украины,
Чернобыль, Украина*

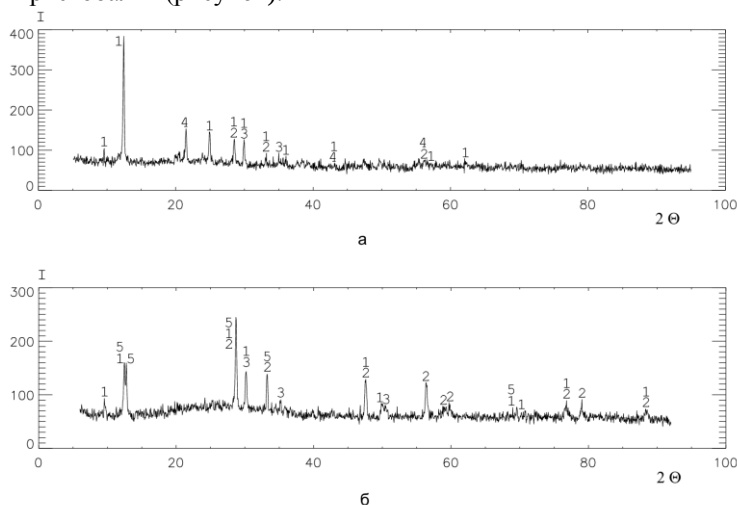
Для прогнозирования поведения лавообразных топливосодержащих материалов (ЛТСМ) 4-го блока ЧАЭС необходимо изучить проходящие в них физико-химические процессы.

Исследовались образцы коричневой керамики, характерные для помеще-

ния 304/2 4-го блока ЧАЭС. Для поиска возможностей преобразования ЛТСМ в стабильное состояние была проведена ее термообработка в печи на воздухе при 600 °С в течение 10 ч.

Фазовый состав определяли методом рентгеновской дифракции (ДРОН-4, схема $\theta - \theta$, Cu K α , монохроматор - графит). Использовали базу дифракционных данных Crystallography Open Database. Обработка данных основана на применении методов компьютерной статистики. Идентификацию фаз вели с помощью программы Match! Ver. 3.7.0.124.

На дифрактограммах коричневой керамики ЛТСМ до и после термообработки представлены гало от силикатной стекломатрицы в интервале углов 15 - 40° и отражения от кристаллических фаз: силикат урана USiO_7 , оксид урана $\text{UO}_{2,34}$, кубический оксид циркония ZrO_2 и оксиды кремния SiO_2 тридимит и кристобалит (рисунок).



Дифрактограммы коричневой керамики ЛТСМ после термообработки (а) и исходной (б): 1 - USiO_7 ; 2 - $\text{UO}_{2,34}$; 3 - ZrO_2 ; 4 - SiO_2 кристобалит; 5 - SiO_2 тридимит.

Термообработка коричневой керамики ЛТСМ привела к увеличению содержания силиката урана USiO_7 с 3 - 4 % масс. до 10 - 14 % масс. и к уменьшению оксида урана $\text{UO}_{2,34}$ с 4 - 6 % масс. до 1,5 - 2,5 % масс. и силикатной стекломатрицы. Интенсивность гало уменьшилась в ~2 раза. Содержание оксида циркония не изменилось. Тридимит перешел в кристобалит.

Эти данные указывают на то, что прошел процесс образования силиката урана и были израсходованы часть оксида урана и силикатной стекломатрицы. Относительно невысокой температуры термообработки (600 °С) для этих процессов недостаточно. Вероятно, процесс был стимулирован значительным количеством дефектов, накопленных в ЛТСМ при длительном самооблучении.

Силикат урана, способный удерживать в своей кристаллической решетке радионуклиды, может рассматриваться как одна из матричных фаз при кондиционировании ЛТСМ.

1. С.В. Габелков та ін. Проблеми безпеки атомних електростанцій та Чорнобиля 32 (2019) 44.

РАДІАЦІЙНЕ БЛОКУВАННЯ МІКРОПЛАЗМ У ДІОДАХ ФОСФІДУ ГАЛІЮ

Г. П. Гайдар¹, О. В. Конорева¹, І. В. Петренко¹, В. П. Тартачник¹,
В. В. Шлапацька², В. П. Велешук³

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Інститут фізичної хімії імені Л. В. Писаржевського НАН України,
Київ, Україна

³ Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,
Київ, Україна

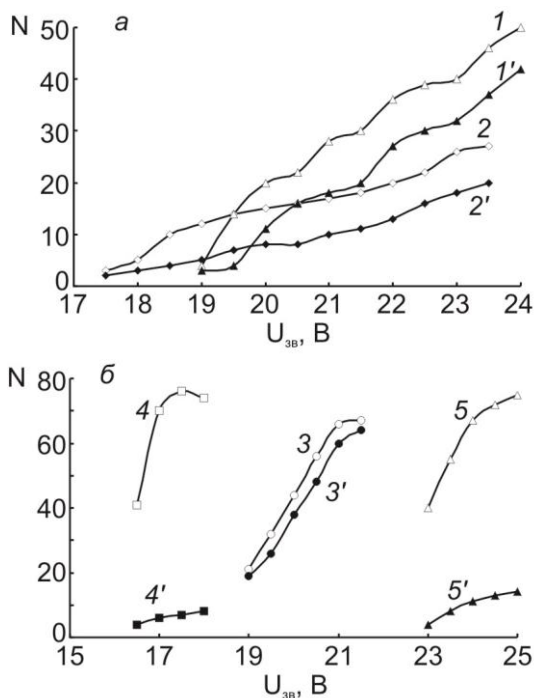
У зворотно зміщених діодах у разі досягнення деякого критичного поля ($E \sim 10^5$ В/см) виникають локальні пробіи, названі мікроплазмами (МП), які навіть у кремнієвих діодах супроводжуються свіченням. Такий ефект особливо небажаний, коли прилад працює в імпульсному режимі – свічення при зворотному зміщенні може призвести до помилкового спрацювання оптико-електричного модуля. МП також можуть спотворювати вольт-амперні характеристики діодів, погіршувати частотні параметри схем тощо. Водночас МП-свічення дає можливість визначити параметри глибоких рівнів, контролювати якість *p-n*-структур, конструювати на їхній основі шумові генератори спеціального призначення.

У даному повідомленні наведено результати використання пучка електронів з енергією $E = 2$ МеВ, як технологічного засобу з метою коригування густини МП у світлодіодах на основі фосфіду галію: GaP:N (зелених) та GaP:Zn,O (червоних). Опромінення проводили на прискорювачі ІПП-6 за кімнатної температури.

На рисунку подано залежності поверхневої густини МП від зворотної напруги, прикладеної до зразків GaP, вихідних та опромінених різними флюенсами електронів.

Як бачимо, опромінення призводить до зменшення густини мікроплазм як для зелених так і для червоних діодів. Якщо ж порівнювати реакцію на опромінення діодів одного виду, наприклад, лише червоних, то ефект поліпшення їхньої якості стосується, у першу чергу, зразків із більшою кількістю вихідних мікроплазм.

З рисунку, б видно, що збільшення флюенса опромінення ($\Phi = 8,2 \cdot 10^{16}$ см⁻²) призводить до різкого зростання позитивного ефекту.



Залежність кількості мікроплазм на 1 мм^2 від зворотної напруги для діодів GaP:N (a) та GaP:ZnO (б) вихідних (1, 2, 3, 4, 5) та опромінених електронами з енергією $E = 2 \text{ MeV}$ флюенсами $\Phi, \text{ см}^{-2}$: $2 \cdot 10^{16}$ (1', 2'); $5 \cdot 10^{16}$ (3'); $8,2 \cdot 10^{16}$ (4', 5').

Основною причиною, яка сприяє зменшенню числа МП, зумовлених мікропробоями в опромінену діоді, слід вважати блокування лавинних струмів точковими дефектами, введенними опроміненням. Механізм впливу цього чинника певною мірою аналогічний дії температурного, коли нагрівання зразка спричинює зменшення довжини вільного пробігу носіїв, що так само призводить до зростання пробійної напруги.

1. А.Н. Генкин, В.К. Генкина, В.К. Герасимчук. Научные известия НТУУ "КПИ" 4 (2008) 20.
2. С.В. Булярский, Ю.Н. Сережкин, В.К. Ионычев. Письма в ЖТФ 25(5) (1999)

ЗБУДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ ЗАРЯДЖЕНОЮ ЧАСТИНКОЮ

І. Ю. Голіней

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Поверхневі електромагнітні хвилі існують на границі періодичного середовища й середовища завдяки тому, що електромагнітна хвиля не може проникнути в середовище при виконанні умови Вульфа-Брегга. Умовою існування поверхневих хвиль є можливість зшивки двох еванесцентних розв'язків рівнянь Максвелла, що затухають по обидва боки поверхні завдяки повному внутрішньому відбиттю та ефекту Брегга.

Поверхневі електромагнітні хвилі, як і поверхневі плазмони, не можна збудити плоскою зовнішньою світловою хвилею, проте їх можна збудити об'єктом, що створює неоднорідне поле.

У доповіді представлені результати теоретичних досліджень можливості збудження поверхневих хвиль полем зарядженої частинки, що пролітає через багат шарову структуру. Індикатором збудження хвиль служить випромінювання з поверхні структури через призму в конфігурації Кретчмана.

Розраховано інтенсивності випромінювання s- та р-поляризованих хвиль. Проаналізовано залежності спектрів випромінювання від параметрів багат шарової структури, кількості шарів, та кута, під яким частинка перетинає багат шарову структуру й та кута, під яким реєструється випромінювання.

У складному спектрі перехідного випромінювання частинки, що проходить через багат шарову структуру, випромінювання, яке відповідає поверхневим хвилям, можна виділити за резонансною частотою, інтенсивністю та поляризацією. Інтенсивність збудження поверхневих хвиль особливо зростає в умовах, коли хоча б одне з діелектричних середовищ є черенковським.

Проаналізовано теоретичний випадок нескінченної кількості шарів, в якому поверхневі електромагнітні хвилі проявляються в чистому вигляді. Проте цей випадок фізично нереальний через гальмування зарядженої частинки в середовищі.

РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОТОКОВ НЕЙТРОНОВ ПРИ ДИФРАКЦИИ ЛАУЭ В СИЛЬНОПОГЛОЩАЮЩИХ КРИСТАЛЛАХ

А. Я. Дзюблик, В. В. Михайловский, В. Ю. Спивак

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Рассеяние нейтронов является одним из самых мощных инструментов исследования кристаллической структуры твердых тел и их магнитных свойств. При прохождении нейтронов через толстые мишени, где многократное рассеяние нейтронов атомами кристалла становится

существенным, для интерпретации экспериментальных данных необходимо использовать динамическую теорию рассеяния, которая это многократное рассеяние учитывает. Мы проанализировали дифракцию Лауэ расходящихся нейтронных пучков в сильнопоглощающих кристаллах. В типичных экспериментах по дифракции Лауэ падающие волны нейтронов сначала проходят узкую щель и только потом проникают в кристалл, где вследствие отражения от кристаллических плоскостей разбиваются на две волны: на преломленную волну, направление которой после выхода из кристалла совпадает с направлением падающего пучка нейтронов, и дифрагированную волну, направление которой соответствует направлению отраженной от кристаллических плоскостей волны. Они перемещаются внутри кристалла в пределах области, ограниченной так называемым треугольником Бормана. Теория динамического рассеяния предсказывает, что распределение интенсивности пучка на выходе из кристалла (вдоль основания треугольника Бормана) осциллирует вследствие обмена энергией и интерференции между этими волнами. Эта же интерференция обеспечивает также хорошо известный маятниковый эффект.

Мы построили общую теорию дифракции Лауэ нейтронов с малой энергией, испускаемых из узкой входной щели, в идеальных кристаллах. Учтено резонансное рассеяние нейтронов на ядрах, которое обеспечивает принципиально новый характер аномального поглощения нейтронов. Нами получены аналитические выражения для распределения интенсивностей преломленных и дифрагированных пучков нейтронов, рассчитанные в окрестности изолированного резонанса, для различных значений расстройки резонанса. Они напоминают картины рентгеновской оптики: вдали от резонанса, где кристалл поглощает слабо, интенсивность дифрагированного луча сильно возрастает на границах треугольника Бормана, а преломленный луч в основном концентрируется в прямом направлении. В то же время при приближении к резонансу, когда поглощение возрастает, оба пучка сконцентрированы в основном в центре треугольника Бормана. Другими словами, если имеет место сильное поглощение, нейтроны движутся внутри кристалла в основном вдоль отражающих плоскостей, а не по тем направлениям, по которым они входят и выходят. В то время как в слабопоглощающем кристалле интерференционная структура вдоль задней поверхности кристалла проявляется весьма явно, она становится смазанной в случае сильного поглощения.

Мы надеемся, что наша теория может быть использована для точного определения длин ядерного рассеяния и параметров нейтронных резонансов в экспериментах по дифракции, аналогичных исследованиям Шалла. Она также может быть полезна для планирования других нейтронно-оптических экспериментов.

DECAY OF NUCLEAR EXCITON, EXCITED BY SYNCHROTRON PULSE DURING LAUE DIFFRACTION IN CRYSTALS

A. Ya. Dzyublik, V. Yu. Spivak

*Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

In recent decades scattering of synchrotron radiation (SR) became a popular method for investigating crystals containing Mössbauer isotopes, where the nuclear scattering prevails over the Rayleigh scattering by atomic electrons. During the coherent scattering of γ -quanta the nuclei in a crystal act as a united system, whose excitation is spread over the whole crystal. This excitation is called nuclear exciton. The dynamical scattering theory for diffraction of Mössbauer radiation in crystals, where the incident photons generate nuclear excitons, has been provided in [1]. Its generalization to transmission and diffraction of synchrotron radiation has been given in [2].

However, the authors confined themselves by consideration of the plane waves only. At the same time, in typical diffraction experiments incident γ -quanta are represented by divergent beams, which first pass through a collimating slit. As a consequence, they are described by the wave packets, which are already superposition of plane waves. The Laue diffraction of divergent beams of x-rays was analyzed by Kato [3] in the approximation of spherical waves. We extended Kato's theory to the case of Laue diffraction of both Mössbauer radiation [4] and neutrons [5,6] in strongly absorbing crystals.

Using the results of these papers, we report now a quantum-mechanical description of the Laue diffraction of synchrotron rays in perfect crystals containing Mössbauer isotopes. We take into account that SR pulses are extremely short and respectively widely spread in frequency. The wave function of SR photons are described by double integrals over frequency and angle.

We calculated the decay law $p(t)$ of the nuclear exciton, generated by SR pulses in Laue geometry for refracted and diffracted beams. This decay curve significantly differ from standard exponential decay law inherent for isolated nuclei. At small times compared to the nuclear lifetime it quickly falls down, that correlates with experimental observations. The deviation of the $p(t)$ from the exponent increases with growing crystal thickness. Besides, $p(t)$ weakly depends on the position of the scanning slit on the basis of the Borrmann triangle.

1. A.M.Афанасьев, Ю.Каган. ЖЭТФ 48 (1965) 327.
2. Yu. Kagan, A.V. Afanas'ev, V.G. Kohn. J. Phys. C: Solid State Phys. 12 (1979) 615.
3. N. Kato. Acta Cryst. 13 (1960) 349.
4. A.Ya. Dzyublik, V. Yu. Spivak. УФЖ 61 (2016) 826.
5. A.Ya. Dzyublik, V.I. Slisenko, V.V. Mykhaylovskyy. УФЖ 63 (2018) 174.
6. А.Я.Дзюблик, В.В.Михайловский, В.Ю.Спивак. ЖЭТФ 155 (2019) 413.

АНАЛІЗ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАХИСНОЇ БРОНІ З SiC ЗА ДОПОМОГОЮ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ОПРОМІНЕННЯ

М. А. Заболотний, Л. І. Асламова, Ю. І. Грабовський

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Мета розробки – створення модуля для дефектоскопії на базі рентгенівський діагностичного цифрового комплексу КРДЦ-08-Альфа», рентгенівських дифрактометрів ДРОН- 3М та ДРОН- 4 для неруйнівного тестування та дослідження параметрів керамічних елементів бронепластин на основі SiC для покращення якості захисних елементів за рахунок підвищення їхньої однорідності в рентгенівському діапазоні і оптимізації кристалографічного складу виробів, аналіз зв'язку між міцністю при динамічних навантаженнях та фазово – структурними властивостями виробів з SiC.

Актуальність розробки технологій контролю карбідомістких броньових панелей обумовлена зменшенням ефективності захисту броньових сталей після створення і впровадження бронебійних куль і снарядів із сердечниками, що зроблені із зміцнених сталей або спеціальних твердих матеріалів і обумовлений цим появою композитної броні на основі кераміки з реакційно - зв'язаного SiC. Властивості і характеристики елементів з SiC під динамічним навантаженням досліджені недостатньо [1].

Матеріали та методи досліджень. При проведенні досліджень використовувались зразки з реакційно – зв'язаного карбиду кремнію з вмістом SiC – 85 - 95 % та Si – 5 - 15 % з густиною 2,9 - 3,2 г/см³. Вимірювання проводилися при використанні рентгенівського комплексу «КРДЦ-08-Альфа», рентгенівських дифрактометрів ДРОН- 3М, ДРОН- 4 та дефектоімітаторів з плівки NiCo товщиною 26 - 29 мкм, на якій сформовано набір щілин змінної ширини (12 мкм - 2 мм). Для визначення впливу залишкових напружень використовувався оригінальний навантажувальний пристрій з регульованим локальним навантаженням. При визначенні фазового складу зразків використовувався метод Дебая - Шеррера дослідження структури дрібно-кристалічних матеріалів за допомогою дифракції рентгенівських променів.

Висновки та рекомендації. 1) Рентгенівська дефектоскопія дає змогу впевнено розрізнити конуси з двох піддослідних партій, що були сформовані виробником на основі визначення густини зразків згідно з ТУ2) Використання рентгенівських дефектограм об'єкта при зміні кута падіння променів в межах [-20 град, +20 град] дає змогу визначити глибину локалізації дефекту виробу. 3) Дослідження з використанням створеного навантажуючого пристрою продемонстрували можливість реєстрації внутрішніх напружень у виробах з карбиду кремнію за допомогою рентгеноскопічного аналізу. 4) Для розробки захисних елементів заданого рівня при мінімальних вагових характеристиках необхідне врахування зміни їхнього агрегатного стану та молекулярної будови під час динамічного

навантаження. 5). Доведено, що при динамічних навантаженнях найбільш міцними виробами з SiC є виробы, які мають області як з кубічною так і гексагональною ґратками, для яких є характерною велика різниця величин областей когерентного розсіяння рентгенівських променів. 6). Встановлено, що для зразків SiC з високою міцністю при динамічних навантаженнях є характерне значення тангенсу кута нахилу лінійної екстраполяції залежності розмірів області когерентного відбиття рентгенівських променів від кута дифракції рентгенівських променів в межах 6,0 - 8,4 [1].

1. Yu.E. Grabovskiy et al. Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. 16(2) (2018) 0333.

СТРУКТУРА ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОДІОДІВ GaP

**О. В. Конорева¹, П. Г. Литовченко¹, О. І. Радкевич², Ю. В. Павловський³,
М. Б. Пінковська¹, І. В. Петренко¹, В. П. Тартачник¹**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² ДП "Науково-дослідний інститут мікроприладів" НТК

"Інститут монокристалів" НАН України, Київ, Україна

³ Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка,
Дрогобич, Україна

Світлодіоди на основі твердих розчинів GaAsP порівняно з випромінювачами, вирощеними на основі GaP, мають ряд переваг. Першою і найважливішою слід вважати можливість плавної зміни ширини забороненої зони, варіюючи склад розчину, що дає змогу одержувати джерела світла з різними довжинами хвиль. Друга – це значний квантовий вихід електролюмінесценції у разі досягнення оптимального співвідношення у розчині між GaP і GaAsP (~ 40 % GaP).

Способи підвищення якості діодних структур базуються на дослідженні природи різноманітних нерегулярностей, які впливають на характеристики приладів, а також на вивченні механізмів взаємодії дефектів технологічного і радіаційного походження з центрами рекомбінації.

Нами досліджувалися світлодіоди GaAsP, вирощені методом епітаксії і леговані азотом.

Виявлено, що за низьких температур (77 - 130 K) як і в діодах GaP [1], на вольт-амперних характеристиках (ВАХ) виникають області від'ємного диференційного опору (ВДО) N- та S-типу. На відміну від зразків GaP, N-ділянка має вигляд окремих сходинок у межах 2,5 - 6,5 В, котрі згодом переходять у ВДО S-типу. Однією з можливих причин виникнення такої структури можуть бути флуктуації розподілу атомів твердого розчину, які призводять до локальних змін ширини забороненої зони напівпровідника і можливого зона-зонного чи зона-домішкового тунелювання носіїв. Розрахунки, проведені в

межах лінійності ВАХ, показали, що опромінення спричинює збільшення контактної різниці потенціалів унаслідок зміни зарядового стану поверхневих рівнів.

Радіаційна деградація інтенсивності електролюмінесценції – результат уведення в кристал безвипромінювальних рівнів радіаційних дефектів та руйнування їхніми полями основних центрів свічення – екситонів, зв'язаних на атомах азоту.

1. G. Gaydar et al. Superlattices and Microstructures 104 (2017) 316.

ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХІДНИХ ТА ОПРОМІНЕНИХ ЕЛЕКТРОНАМИ З $E = 2$ MeV СВІТЛОДІОДІВ $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$

**Є. В. Малий¹, О. В. Конорева¹, В. П. Тартачник¹, П. Г. Литовченко¹,
В. В. Борщ², О. М. Гонтарук¹, М. В. Завада¹**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка,
Полтава, Україна

Світлодіоди $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ – випромінювачі у видимому діапазоні світла з відносно простою і добре відлагодженою технологією епітаксійного вирощування, що знайшли широке застосування як у автоматичних системах контролю, так і у пристроях керування потужними джерелами енергії, де уникнути присутності полів із підвищеними рівнями радіації неможливо. Вивчення механізмів деградаційних процесів у неоднорідних об'єктах, їхнє моделювання шляхом контрольованого введення певного виду порушень структури, розробка методів корекції характеристик і відновлення параметрів деградованих приладів – напрямки досліджень, де академічна зацікавленість поєднується з вирішенням технічних задач.

Враховуючи запити і потреби розробників сучасної мікроелектронної техніки, автори проведених досліджень зосередили основну увагу на одержанні інформації щодо впливу радіаційних дефектів на основні характеристики світлодіодів, базовим матеріалом яких є твердий розчин GaP-GaAs .

Досліджено вихідні й опромінені електронами світлодіоди $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$. Виявлено, що у даних зразках при $T = 77 - 300$ К, подібно до світлодіодів GaP , на вольт-амперних характеристиках присутні області від'ємного диференційного опору (рис. 1). Оцінки, зроблені за ВАХ зразка GaAsP , опроміненого флюенсом $\Phi = 8,24 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, $T = 77$ К, в області напруг, де величина струму обмежується опором бази, показують, що додатне значення диференційного опору становить $R_{\text{dif}}^+ = 162 \text{ Ом}$, після переходу в режим ВДО $R_{\text{dif}}^- = 9 \text{ Ом}$; після опромінення – відповідно $R_{\text{dif}}^+ = 428 \text{ Ом}$ та $R_{\text{dif}}^- = 32 \text{ Ом}$.

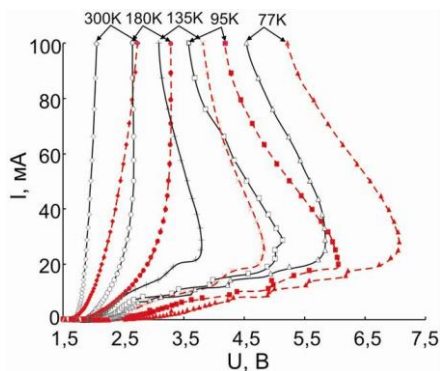


Рис. 1. ВАХ, зняті за різних температур помаранчевого світлодіода $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$. Суцільна лінія – вихідний зразок; штрихова – опромінений електронами з енергією $E = 2 \text{ MeV}$ флюенсом $\Phi = 5,7 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$.

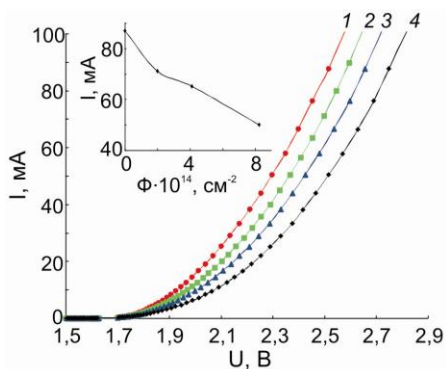


Рис. 2. ВАХ помаранчевого діода $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ при $T = 300 \text{ K}$ і різних флюенсах електронів Φ, cm^{-2} : 1 – вихідний зразок; 2 – $2 \cdot 10^{14}$; 3 – $4,12 \cdot 10^{14}$; 4 – $8,24 \cdot 10^{14}$. На вкладці – залежність величини струму I через зразок від густини потоку електронів Φ при $U = 2,5 \text{ V}$.

В області робочих зміщень за фіксованої напруги на зразку $U = 2,5 \text{ V}$ дозова залежність прямого струму експоненційна: $I = Ae^{-K\Phi}$, де $A = 8,5 \cdot 10^{-2} \text{ A}$; $K = \frac{1}{I_0} \frac{dI}{d\Phi} = 7 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2$, що добре узгоджується з характером зміни концентрації носіїв заряду, характерної для GaP.

На рис. 2 наведено ВАХ за кімнатної температури і різних густин потоку. Значення контактної різниці потенціалів U_k становлять 2,12 eV (1), 2,2 eV (2), 2,25 eV (3), 2,32 eV (4).

ЕФЕКТИ ВЗАЄМОДІЇ ВИПРОМІНЮВАННЯ НАДНИЗЬКОГО РІВНЯ З КВАНТОВИМИ КОГЕРЕНТНИМИ СИСТЕМАМИ

Л. С. Марценюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Дослідження взаємодії низько інтенсивного випромінювання з когерентними структурами живого організму і квантовими макроструктурами в даний час інтенсивно проводяться завдяки істотним досягненням за останні десятиліття в квантовій оптиці, у фізиці живого, нанофізиці; теоретичним розробкам квантової теорії поля, що відкрили нові можливості і поставили нові завдання.

Як показано в роботі [1] в когерентних системах ряд явищ, зокрема ви-

проміньовальні процеси істотно відрізняються по своїх характеристиках від тих, які виявляються в некогерентних системах (де працює закон випромінювання Планка).

До когерентних макросистем слід віднести когерентні домени у воді і водних структурах живих організмів, надпровідники, лазерні системи і ін. При дії на ці об'єкти наднизького електромагнітного випромінювання, були виявлені деякі ефекти, які не мають місця в звичайних некогерентних середовищах. До таких ефектів відносяться: ефект М. Жадіна, ефект резонансної взаємодії НВЧ- випромінювання наднизької інтенсивності з живими об'єктами і водним середовищем (СПЕ-ефект), явища міжклітинної взаємодії, відкриті ще А. Гурвичем, явища випромінювання біофотонів і ряд інших.

Для опису таких ефектів і пояснення причини того, що ці ефекти можуть виникати тільки при наднизьких енергіях, необхідне залучення таких понять як когерентні стани, стислі фотони, теорії квантових неруйнуючих вимірювань, надвипромінювання Діке, теорія заплутування і декогеренції, інформаційної взаємодії через потенціали поля і ін.

Проте, як було показано раніше [2 - 3], СПЕ-ефект можна використовувати як експериментальну ілюстрацію явищ у водному середовищі, що описуються квантово-електродинамічною теорією води, створеною Дж. Препарата. Саме це дає змогу авторові даної роботи вперше оцінити верхній рівень енергії низькоінтенсивного випромінювання на резонансних частотах як такий, що він не повинен перевищувати величини, при якому когерентний стан може перейти в некогерентний, або ж відбувається руйнування суперкогерентного стану між когерентними доменами у водному середовищі (живих організмів).

1. R.H. Dicke. Coherence in spontaneous radiation processes. Phys.Rev. 93 (1954) 99.
2. L.S. Martseniuk. The Properties of Water Nanostructures in Nanosystems. In: Nanoplasmonics, Nano-Optics, Nanocomposites and Surface Studies. Eds. O. Fesenko, L. Yatsenko. Chapter 8 (Springer, 2015) p. 133.
3. М.В.Курик, Марценюк Л.С. *Физические основы жизни* (Germany: Lambert Academic Publishing, 2012) 174 с.

НЕРАВНОВЕСНАЯ ТЕРМОДИНАМИКА С ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРОМ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ СИСТЕМЫ

В. В. Рязанов

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

Для описания неравновесных состояний системы вводится новый термодинамический параметр – время жизни системы. Записаны статистические распределения, которые описывают поведение энергии и времени

жизни. Энтропия и полученные термодинамические соотношения сопоставляются с расширенной неравновесной термодинамикой [1], где в качестве дополнительного параметра выбраны потоки. Для случая теплопроводности получены явные выражения для среднего времени жизни и сопряженной термодинамической величины. Аналогичные выражения записываются и для других потоков (вещества и пр.).

В случае отклонений от равновесного состояния различные воздействия на систему и потоки в ней приводят к уменьшению среднего времени жизни системы. Возможности увеличения среднего времени жизни появляются для систем, в которых возможно различные стационарные неравновесные состояния.

1. D. Jou, J. Casas-Vazquez, G. Lebon. *Extended Irreversible Thermodynamics*. (Berlin: Springer, 1996) 442 p.

ПРОСТОРОВА СТРУКТУРА ЕЛЕКТРОННО-ДІРКОВОЇ РІДИНИ У 2D НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СИСТЕМАХ

В. Й. Сугаков, А. А. Чернюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Вивчення електронно-діркової рідини (ЕДР) у низьковимірних матеріалах залишається актуальною задачею у зв'язку з експериментальним відкриттям в останні роки ЕДР в квантових ямах, утворених різними матеріалами: у кремнієвих напівпровідникових системах [1], у квантових ямах та надгратках на базі AlGaAs, а також у нових ван-дер-ваальсових гетеро-структурах – дихалькогенідах MoTe₂ та MoS₂ [2, 3]. Просторові структури в 2D системах, створені та керовані світлом, можуть бути перспективними для оптоелектроніки.

При опроміненні світлом 2D систем в областях співіснування фаз ЕДР повинна формуватись у вигляді острівців, проте взаємодія між острівцями до цього часу не розглядалася. У даній роботі продовжується теоретичне дослідження формування острівців ЕДР на основі статистичної моделі, апробованої при вивченні колективної поведінки острівців конденсованої фази екситонів у квантових ямах напівпровідників, опроміненних світлом [4], а саме: розглянуто флуктуації положення острівців у смужці квантової ями та структура ЕДР у диско-подібній системі залежно від інтенсивності накачки та температури. Взаємодія між острівцями здійснюється через дифузійні поля екситонів: захоплення екситонів певним острівцем впливає на густину екситонів біля сусідніх острівців і, отже, на їхній ріст.

Показано, що середньо-квадратичне відхилення місцеположення острівця $\sqrt{x^2}$ від періодичного розподілу вздовж смуги, поділене на відстань між острівцями L , зменшується з ростом накачки (рис. 1). У системі з накачуванням у формі диску можливі різні структури ЕДР (оцінюються за ймовірнос-

тями станів): у вигляді одиничного острівця або острівців, еквідистантно розташованих по краю диску, у вигляді кільця чи суцільного диску. На рис. 2 наведена кількість острівців ЕДР N із ростом накачки G для диску радіусом $R = 20$ мкм.

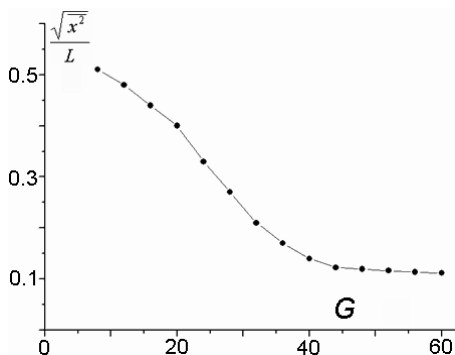


Рис. 1

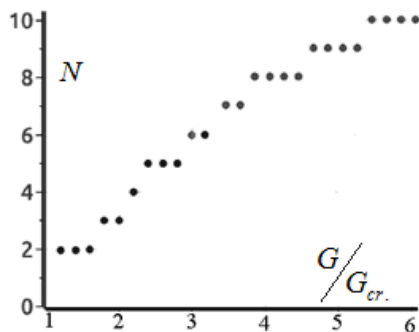


Рис. 2

1. Т.М. Бурбаев и др. Письма в ЖЭТФ 98 (2013) 926.
2. T.B. Arp et al. Nature Photonics 13 (2019) 245.
3. Y. Yu et al. arXiv:1710.09538 [cond-mat.mtrl-sci] (2017).
4. V.I. Sugakov. Phys. Rev. B 76 (2007) 115303.

ПРИРОДА КОМПЕНСАЦІЙНОГО ЕФЕКТУ В НЕВПОРЯДКОВАНИХ НАПІВПРОВІДНИКАХ

І. І. Фішук¹, А. К. Кадашук²

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Інститут фізики НАН України, Київ, Україна

Значка кількість кінетичних процесів в природі є термічно активовані, тобто описуються виразом $X = X_0 \exp(-E_a/k_B T)$, де E_a - енергія активації. Експериментально встановлено, що при зміні певним способом величини E_a значення коефіцієнта X_0 також змінюється і приймає вигляд $X_0 = X_{00} \exp(E_a/E_{MN})$. Цей ефект називається компенсаційним правилом Мейера-Нелдела (ПМН). Виникає принципове питання природи величини E_{MN} , тобто яку інформацію про систему можна отримати із експериментального вимірювання величини E_{MN} . Поширеним поясненням природи ПМН є модель ентропії множинних фононних збуджень [1], яка дає можливість оцінити величину електрон-фононної взаємодії в системі.

Проте, нещодавно було продемонстровано [2, 3], що експериментально

спостережувана компенсаційна поведінка рухливості носіїв заряду в плівкових органічних польових транзисторах не є справжнім явищем, а скоріше екстрапольованим ефектом, що виникає, як наслідок часткового заповнення носіями заряду розподілу локалізованих станів, що дає можливість оцінити ширину цього розподілу, який має форму Гауса. Щоб розв'язати це протиріччя, ми досліджуємо вплив різних моделей густини локалізованих станів на макроскопічний транспорт носіїв заряду в неупорядкованій органічній системі, використовуючи аналітичне наближення ефективної середовища.

Основним результатом цього дослідження [4] є те, що специфічне усереднення між вузлових швидкостей стрибка в звичайній енергетично неупорядкованій системі руйнує справжній визначений термодинамікою ефект ПМН, і тому макроскопічний транспорт більше не відображає мікроскопічні показники. Компенсаційна поведінка, що спостерігається для рухливості носіїв заряду в органічних польових транзисторах при зміні концентрацій носіїв заряду, може бути відтворено незалежно від одно фононного або багато фононного характеру активованих переходів і обумовлена ступенем енергетичного безпорядку напівпровідника.

Інший чудовий висновок полягає в тому, що формалізм неупорядкованості передбачає справжній ефект компенсації з використанням багато фононних частот, якщо неупорядкований напівпровідник містить значну концентрацію глибоких пасток, так що сумарна густина локалізованих станів має два піки Гауса. Таким чином, у цьому дослідженні аналізується протиріччя між моделями безпорядку та множинних фононних збуджень щодо компенсаційного ефекту, що має важливе значення для інтерпретації компенсаційного ефекту в неупорядкованих органічних напівпровідниках.

1. A. Yelon et al. Rep. Prog. Phys. 69 (2006) 1145.
2. I.I. Fishchuk et al. Phys. Rev. B 81 (2010) 045202.
3. I.I. Fishchuk et al. Phys. Rev. B 90 (2014) 245201.
4. I.I. Fishchuk et al. Phys. Rev. Appl. 10 (2018) 054063.

Тези доповідей з фізики плазми та керованого термоядерного синтезу

НЕСАМОСТІЙНИЙ ВАКУУМНИЙ ДУГОВИЙ РОЗРЯД В ПАРАХ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО ЦИРКОНІЮ

А. Г. Борисенко, Е. Г. Костін, О. Рокицький, О. А. Федорович

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Вакуумний дуговий розряд в даний час знайшов дуже широке застосування при вирішенні різних практичних завдань в багатьох галузях науки і промисловості. Однак багато питань його функціонування до теперішнього часу залишаються неясними і є об'єктами подальших досліджень. Зокрема, по даний час залишаються актуальними завдання створення замкнутої фізичної моделі катодної плями вакуумного дугового розряду. Є також необхідність проведення досліджень з метою досягнення повного розуміння фізики процесів генерації плазми в катодних плямах, подальше вивчення фізики процесів напilenня сплавів різних матеріалів [1 - 2]. Наявність макрочастинок в створюваних джерелами плазмових потоках на основі вакуумного дугового розряду з інтегрально холодним катодом є однією з основних проблем іонно-плазмових технологій і вимагає рішення задач фільтрації плазмових потоків та пошуку нових умов і методів зменшення крапельної фази катодного матеріалу в потоках плазми [3].

Безкрапельні потоки плазми твердофазних матеріалів здатний генерувати несамостійний дуговий розряд в парах матеріалу анода [4]. Він є перспективним і широко використовується для розробки джерел іонів різних металів. Розряд також розглядається як один з можливих елементів плазмового сепаратора системи переробки відпрацьованих радіоактивних відходів. Зазначені вище особливості та можливості вакуумного дугового розряду в парах матеріалу анода свідчать про доцільність і актуальність вивчення його властивостей і характеристик, в тому числі і в парах різних конструкційних матеріалів ядерної енергетики.

У роботі було запропоновано метод і розроблено методику «газового запалення» розряду, що дало змогу зовнішнього зменшити максимальну напругу необхідних джерел електроживлення. В експериментах були вивчені основні характеристики несамостійного дугового розряду в чистих парах цирконію та встановлено величину необхідної мінімальної електропотужності, необхідної для його стабільного горіння. Показано, що при певних умовах мінімальна потужність горіння розряду в парах цирконію може бути близькою до потужності горіння розряду в парах нікелю. Показано, що створюваний дуговим розрядом в парах цирконію плазмовий потік має компенсований об'ємний заряд і може бути використаним для нанесення металевих плівок і покриттів

з цирконію на підкладки з різних матеріалів, в тому числі і на діелектричні. В експериментах визначені швидкості росту осаджуваних плівок цирконію в різних робочих режимах розряду. Встановлені коефіцієнти іонізації плазмових потоків і показана можливість їхньої керованої зміни, що може бути використано для цілеспрямованого управління властивостями осаджуваних плівок і покриттів. Отримані дані також дають змогу визначити відповідні вимоги до можливих джерел електроживлення.

1. И.И. Аксенов. *Вакуумная дуга в эрозионных источниках плазмы* (Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005) 212 с.
2. A. Anders. *Cathodic Arcs: From Fractal Spots to Energetic Condensation*. (New York: Springer, 2008).
3. Ю.А. Сысоев. Проблемы ионно-плазменных технологий на основе вакуумно-дугового разряда и пути их решения. *Авиационно-космическая техника и технологии* 7(84) (2011) 38.
4. A.G. Borisenko, V.A. Saenko, V.A. Rudnitsky. Nonself-sustained arc discharge in anode material vapors. *IEEE Trans Plasma Science* 27(4) (1999) 877.

ІНІЦІУВАННЯ НЕСАМОСТІЙНОГО ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РОЗРЯДУ В ПАРАХ ЦИРКОНІЮ

А. Г. Борисенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Ресурс безперервної роботи джерел плазмових потоків твердофазних матеріалів на основі вакуумного дугового розряду в значній мірі визначається можливістю надійного ініціювання, або «запалювання», розряду в широкому діапазоні робочих параметрів. Саме тому методи ініціювання і робота систем запалювання вакуумного дугового розряду, також як і видалення або мінімізації кількості і розмірів мікрочастинок в плазмовому потоці являються об'єктами пильної уваги дослідників і розробників сучасного технологічного обладнання [1 - 3].

У даній роботі представлені результати дослідження двох методів і різних умов запалювання несамостійного вакуумно-дугового розряду в парах матеріалу анода. Описано методики і умови ініціювання розряду за допомогою безпосередньої подачі напруги між анодом і розжареним катодом розряду («вакуумне запалювання»), та за допомогою додаткового газового розряду в $E \times H$ полях («газове запалювання»). У роботі показано, що різні методи ініціювання вакуумного дугового розряду в парах матеріалу анода можуть призводити до різних умов реалізації і стабільного горіння розряду. Встановлено, що при «вакуумному» запалюванні можливі різні умови існування розряду, які розрізняються різними потужностями розряду. При «газовому запалюванні» реалізація розряду має місце при значно менших напругах джерела електроживлення розряду. Дослідження виконані як при безпосередньому розміщенні робочого ма-

теріалу, монокристалічного цирконію, на охолоджуваній поверхні анодного електрода, так і при розміщенні цирконію на аноді у тиглі певної конфігурації. Показано, що використання тигля дає змогу більш, ніж у 2 рази зменшити необхідну розрядну електропотужність і відповідно знизити вимоги до джерел електроживлення розряду. У роботі також показано, що навіть при реалізації несамотійного дугового розряду з випаровуванням цирконію з тигля існує можливість створення безкрапельних плазових потоків парів монокристалічного цирконію з високими коефіцієнтами іонізації. У роботі визначені значення швидкостей росту осаджуваних цирконієвих плівок на діелектричній підкладинці в різних робочих режимах розряду і отримані в експериментах коефіцієнти іонізації створюваних плазових потоків.

1. Ю.А. Сысоев. *Иницирование вакуумно-дугового разряда в технологических источниках плазмы. Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов* (Харьков: ХАИ, 2010) с. 280.
2. И.И. Аксенов и др. *Вакуумная дуга. Источники плазмы, осаждение покрытий, поверхностное модифицирование* (К.: Наук. думка, 2012) 726 с.
3. Ю.А. Сысоев. О возможности устранения капельной фазы вакуумно-дугового разряда вводом энергии в зону ее транспортировки. *Авиационно-космическая техника и технологии* 2(137) (2017) 71.

РАДІАЛЬНА СТРУКТУРА ВИСОКОЧАСТОТНИХ ШВИДКИХ МАГНІТОЗВУКОВИХ МОД

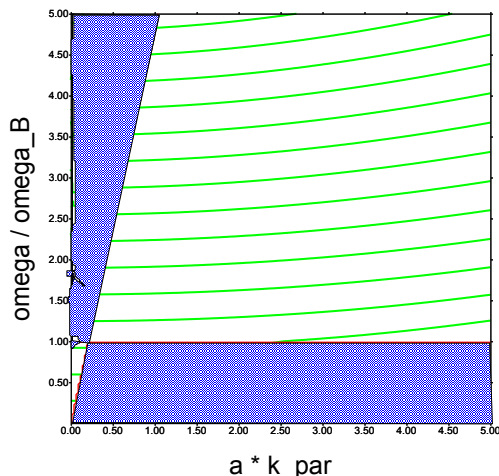
О. С. Бурдо, Я. І. Колесниченко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Високочастотні швидкі магнітозвуківі моди можуть відігравати важливу роль у термоядерній плазмі. Відомо, що вони є відповідальними за локалізовану на краю плазми надтеплову іонно-циклотронну емісію, яка спостерігалась на багатьох термоядерних пристроях. Останнім часом вони привертають увагу у зв'язку зі спостереженнями іонно-циклотронної емісії з центра плазми [1 - 3] та можливому просторовому каналюванню енергії, спрямованому всередину, яке, ймовірно, призводить до покращення параметрів плазми на JET [4]. Теорія передбачає, що високочастотні швидкі магнітозвуківі моди є локалізованими на периферії плазми [5], що не узгоджується зі спостереженнями локалізованої у центрі плазми іонно-циклотронної емісії та з передбаченнями просторового каналювання на JET. Ці факти свідчать про важливість вивчення швидких магнітозвуківих мод. Згадані факти мотивували виконання цієї роботи, метою якої було зрозуміти, чи насправді існують швидкі магнітозвуківі моди з глобальною радіальною структурою з частотами, близькими до гармонік іонної гірочастоти.

Виведено рівняння, яке описує радіальну структуру швидких магнітозвуківих мод у циліндричному наближенні. Розвинуто код для розв'язання ви-

веденого рівняння. Із його застосуванням були знайдені власні частоти й власні функції, зокрема такі, що локалізовані поблизу осі. Крім того, було здійснено аналітичний розгляд найпростіших випадків задля підтвердження коректності числових розв'язків. Виявлено добре узгодження між числовими результатами та результатами, отриманими аналітично.



Залежність власних значень від паралельного хвильового вектора.
Синім позначені області, де задача на власні значення не має розв'язків.

1. R. Ochoukov et al. Review of Scientific Instruments 89 (2018) 10J101.
2. K.E. Thome et al. Review of Scientific Instruments 89 (2018) 10I102.
3. L.G. Askinazi et al. Nucl. Fusion 58 (2018) 082003.
4. Ya.I. Kolesnichenko et al. Nucl. Fusion 58 (2018) 076012.
5. B. Coppi, Physics Letters A 172 (1993) 439.

EFFECT OF COLD ATMOSPHERIC PRESSURE PLASMA TREATMENT ON FUNGAL MYCELIUM GROW AND SPORES GERMINATION

Iu. Veremii¹, N. Tsvyd², D. Nikulin², M. Sukhomlyn², V. Chernyak¹,
V. Iukhymenko¹, E. Martysh¹

¹ Faculty of Radio Physics, Electronics and Computer Systems,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

² Educational and Scientific Center "Institute of Biology and Medicine",
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Nowadays humanity has many challenges to solve: global warming, overpopulation, lack of food etc. That is why scientists are trying to invent more efficient, more environmentally friendly and less power-consuming technologies. Cold plasma discharge application is one of the most perspective ways to approach this

aims. Today treatment by cold atmospheric pressure plasma (CAPP) can be used for sterilization, cultivation of fruits and vegetables, healing wounds. The goal of work was to discover an effect of CAPP on fungal spores and high mushroom germination. For this experiment was used plasma jet based on gliding arc discharge, working gas was air. In the experiment, the processing time and the distance from the sample to the aperture of the discharge chamber were varied.

Eventually, plasma processing of spores *Aspergillus niger* and *Penicillium sp.* resulted in growth lag of the colonies. Even so, high mushrooms (*Calvatia candida*, *Cyathus olla*) shown different result and increasing of growth of the mycelium was detected. Summing up, cold plasma chemoactive particles demonstrated different effect on fungal spores and mushroom's mycelium. First, discovered results can play important role in agriculture, medicine, pharmacy, our research may be cause for further study of cold plasma influence on microorganisms.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗПОДІЛ ЧАСТИНОК ПЛАЗМИ У ГЕЛІКОННОМУ РОЗРЯДІ З ПЛАНАРНОЮ АНТЕНОЮ

В. Ф. Вірко, Ю. В. Вірко, В. Ф. Семенюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Геліконні розряди збуджуються циркулярно поляризованими плазовими хвилями – геліконами. Ці хвилі поширюються в замагніченій плазмі і створюють об'ємну іонізацію, що обумовлює високу ефективність геліконних розрядів та їхнє широке застосування в різних галузях. Технологічні властивості розрядів визначаються енергетичними розподілами компонентів плазми – іонів та електронів. В технічних цілях широко використовуються геліконні розряди з так званою «планарною» індукційною антеною, яка являє собою плоску спіраль, розташовану за діелектричним вакуумним вікном в торці розрядної камери. Така антена вводить електромагнітну енергію в розряд вздовж магнітного поля, що значно полегшує компоновку обладнання. Відомостей про енергетичний розподіл компонентів плазми в такому розряді недостатньо. В роботі, за допомогою аналізатора енергій з гальмівним полем, досліджено енергетичні розподіли іонів та електронів у геліконному розряді з планарною антеною в умовах, типових для плазово-технологічних процесів. Енергетичні розподіли визначались шляхом диференціювання гальмівних характеристик. Вимірювання енергій іонів дає змогу одночасно визначити потенціал плазми, виявити коливання потенціалу та оцінити їхню амплітуду, встановити існування направлених іонних потоків.

Експерименти проводились в розрядній камері діаметром 14 см і довжиною 32 см, при тиску аргону 0,65 Па в магнітному полі 6 мТ. Потужність ВЧ на частоті 13,56 МГц становила 1 кВт. В цих умовах біля осі розряду спостерігається блакитне осереддя (кern), внаслідок випромінювання іонних ліній аргону (“blue core” – режим). Встановлено таке:

1) При розряді в камері з діелектричними стінками потенціал плазми є додатним і становить 10...15 В. У камері з провідними стінками потенціал є близьким до нуля, за винятком випадків, коли кінцевий електрод (підкладкотримач) має позитивне зміщення і споживає електронний струм у кілька амперів.

2) При збільшенні потужності ширина енергетичного розподілу іонів ΔE збільшується і досягає 10...12 еВ на половині висоти. Зменшення іонного струму гальмівної характеристики починається при від'ємних потенціалах сітки-дискримінатора. Це може бути наслідком стохастичних коливань потенціалу плазми, при яких потенціал приймає також від'ємні значення.

3) Обмеження електронного струму (перегин гальмівної характеристики) спостерігається раніше за досягнення потенціалу плазми. Причиною може бути спустошення (внаслідок відбору електронів) магнітної силової трубки, яка спирається на переріз вхідної апертури аналізатора. Наявність магнітного поля не дає змогу відтворити повну функцію розподілу електронів за енергіями.

4) Температура електронів, визначена з експоненціальної ділянки гальмівної характеристики, збігається з виміряною ленгмюрівським зондом і становить 3,5...4 еВ.

5) В однакових зовнішніх умовах виявлено два режими розряду, які відрізняються зміщенням максимуму електронного розподілу на величину 20...30 еВ. Причиною може бути зміна поздовжньої моди стоячих геліконних хвиль [1].

1. V.F. Virko et al. Problems of Atomic Sci. Technol. Ser.: Plasma Physics 6 (2014) 130.

ВПЛИВ НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНИХ ІОНІВ ГЕЛІЮ НА МАТЕРІАЛИ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

**В. В. Гладковський¹, Д. М. Войтенко¹, Є. Г. Костін¹, Б. П. Полозов¹,
В. О. Петряков¹, О. А. Рокицький¹, О. А. Федорович¹, В. М. Шевель¹,
О. С. Оберемок², О. Д. Рудь³, С. С. Поліщук³**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Інститут фізики напівпровідників НАН України, Київ, Україна

³ Інститут металофізики НАН України, Київ, Україна

Матеріали традиційної ядерної енергетики використовуються також в якості першої стінки термоядерного реактора, яка в процесі роботи опромінюється іонами гелію. Тому однією з важливих задач для перспективної ядерної енергетики є дослідження змін структури поверхні матеріалів та їхньої деградація по глибині при опроміненні низько енергетичними іонами гелію.

Аналогічні дослідження актуальні і проводяться іншими авторами, наприклад у [1].

Дослідження проводились на експериментальному джерелі іонів, яке описано в роботах [2, 3]. З метою уникнення пробів постійної напруги зміщен-

ня, яка прикладається між активним електродом і тримачем підкладки, а також радіаційних пошкоджень оброблюваних матеріалів було обрано такий режим: струм розряду $I_p = 5$ А, напрузі від'ємного зміщення (без пробіїв) $U_{зм} = 260$ В. Експозиція становила 36 год, робочий тиск в плазмохімічному реакторі $P = 0,13$ Тор, при напруженості магнітного поля $H \sim 300$ Е.

Для досліджень змін хімічного складу поверхні зразків після їхнього опромінення іонами гелію було використано якісну вторинну іонну мас-спектрометрію. Методику і умови таких досліджень наведено в роботі [2]. Проводились порівняльні дослідження оброблених та необроблених зразків в діапазоні мас 1 - 250 а.о.м., а також окремих мас по глибині проникнення в зразки. Розпорошення зразків при вторинній іонній мас – спектрометрії проводилось іонами аргону з енергією 500 еВ з струмом первинних іонів 4 мА, а експозиції становили до 1200 с.

Проведено дослідження змін поверхні після опромінення матеріалів іонами гелію мікрофотографічними методами і растровою електронною мікроскопією. Виявлено суттєві зміни оброблених іонами гелію поверхонь. Одночасно проведено кількісний рентгенолюмінесцентний аналіз поверхні матеріалів. Виявлена суттєва очистка поверхні матеріалів іонами гелію. Після опромінення поверхня з рівномірної стала острівковою.

1. Е.А. Денисов та ін. Журнал технической физики 83(6) (2013) 3.
2. О.А. Fedorovich et al. Problems of Atomic Science and Technology 4(116) (2018) 302.
3. В.В. Гладковский та ін. ТКЭА 5-6 (2014) 39.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВОДНЕВОЇ ПЛАЗМИ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ 12Х18Н10Т

**В. В. Гладковський¹, О. А. Федорович¹, О. В. Гладковська¹,
Б. П. Полозов¹, С. С. Поліщук², О. Д. Рудь²**

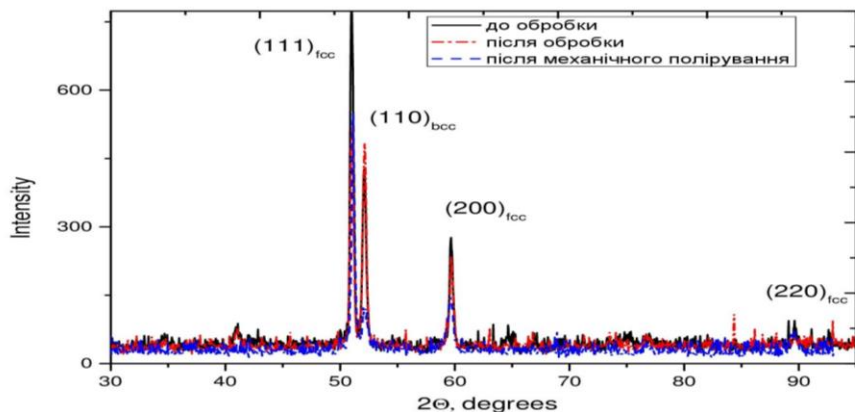
¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова, НАН України, Київ, Україна

Однією з найвагоміших проблем для реалізації першої стінки термоядерних реакторів та розробки захисних покриттів елементів конструкцій ядерних реакторів все ще залишається пошук надійних матеріалів. Оскільки до таких матеріалів висувається ряд жорстких вимог, яким вони мають відповідати, а саме: володіти хорошим комплексом фізико-механічних властивостей, мінімальною чутливістю до водневої та гелієвої крихкості тощо. На сьогодні виявлено важливий вклад низькоенергетичних іонів в деструкцію матеріалів при роботі енергетичних установок [1,2]. Однак це питання мало досліджене, особливо потребують дослідження механізми взаємодії іонів з матеріалами та наслідки їхнього впливу на фізико-механічні властивості матеріалів.

У роботі наведено результати досліджень впливу низькотемпературної

водневої плазми, яка слугувала джерелом іонів, на фізико-механічні властивості сталі аустенітного класу 12X18H10T. Опромінення зразків проводилося на плазмохімічному реакторі, опис якого приведено в роботі [3]. Дослідження опромінених зразків виконувалося з використанням вторинної іонної мас-спектрометрії, рентгеноструктурного та рентгенолюмінесцентного аналізів. Також було досліджено мікромеханічні властивості поверхні сталі з використанням нано-ідентометра «МІКРОН ГАММА».



Рентгенограма зразка сталі 12X18H10T до обробки, після обробки та після механічного полірування.

Отримані результати вказують на структурні зміни сталі та на зміну мікромеханічних властивостей поверхні. З рисунка видно, що структура матеріалу містить переважно ГЦК (гране центрований куб) та ОЦК (об'ємно центрований куб) фази, об'ємні частини яких співвідносяться як 2:1. При цьому в полірованій області зразка спостерігається співвідношення ГЦК і ОЦК фаз як 5:1. В обробленому зразку співвідношення ГЦК і ОЦК фаз наближається до 1.

1. A.V. Nikitin et al. PAST (2018) 137.
2. М.И. Гусева и др. ВАНТ 3 (2002) 20.
3. В.В. Гладковский и др. ТКЭА 5-6 (2014) 39.

NUMERICAL ALGORITHM FOR MONTE CARLO SIMULATION OF 4-D NEOCLASSICAL DIFFUSION

A. Gurin, V. Goloborod'ko

Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Based on the stochastic differential equations (SDE) theory [1] of diffusion Markov processes, the system of stochastic drift equations of motion of charged particles in a toroidal plasma corresponding to the drift theory with Coulomb colli-

sions in general form is developed. For isotropic plasma in an axially symmetric magnetic field, a system of stochastic differential equations (SDEs) for kinetic energy, a pitch-parameter and a classical two-dimensional diffusion of particles in the poloidal cross-section of plasma is formulated. In order to describe the particle spatial diffusion, the equation for collisional evolution of the particle toroidal angular momentum is used. Such a system correctly considers the drift of trapped and circulating particles and the radial Brownian motion, which leads to the effects of neoclassical diffusion. The 1st-order Millstein-type algorithm for numerical integration of these equations is presented. This algorithm does not require calculation of derivatives for kinetic coefficients, i.e. belongs to the Runge - Kutta class. The algorithm also eliminates the need to calculate the repeated Ito continual integrals in the simulation of two-dimensional poloidal diffusion, and therefore can serve as a convenient basis for simulating enhanced neoclassical plasma diffusion by the Monte Carlo method, avoiding the analytical models of "banana" trajectories of particles in toroidal plasma. Thus, approach developed is accelerated in comparison with conventional Monte Carlo algorithms. Based on these theoretical considerations the numerical code was developed. Herein we present the results of numerical simulations for slowing down and 2D spatial diffusive motion of fast ions in tokamak obtained with a proposed algorithm. Also we present the temporal evolution of fast ion trajectories in the tokamak poloidal cross-section. It is demonstrated that this algorithm may be effectively applied also for the calculation of fast ion loss poloidal distribution over the first wall in tokamaks.

1. V. Gurin, V. Goloborod'ko, Application of the Ito theory for Monte Carlo simulation of plasma diffusion. J. Plasma Phys. 84 (2018) 905840314.

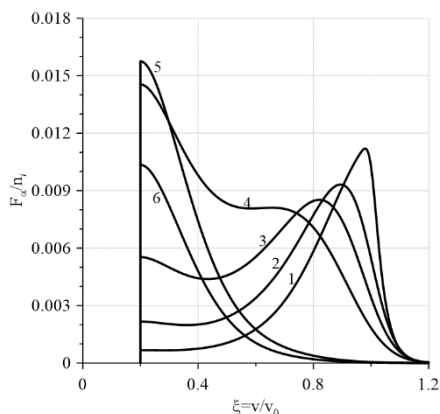
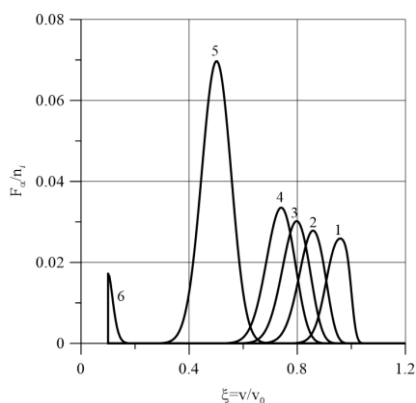
ПОПУЛЯЦІЇ ЕНЕРГІЙНИХ ІОНІВ, ЩО УТВОРЮЮТЬСЯ ПРИ ІМПУЛЬСАХ НЕЙТРАЛЬНОЇ ІНЖЕКЦІЇ У ТЕРМояДЕРНИХ ПРИСТРОЯХ

Я. І. Колесниченко, В. В. Луценко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Вивчено розподіли за енергіями швидких іонів, що виникають внаслідок короточасних імпульсів нейтральної інжекції у термоядерних пристроях. Розглянуто функції розподілу як іонів нейтральної інжекції, так і іонів, що народжуються внаслідок реакцій пучок-плазма. Розрахунки виконано для дейтерієвої плазми з дейтерієвим пучком. Виявлено нові риси цих розподілів. Зокрема, показано, що у випадку одного короточасного імпульсу максимальне значення розподілу за енергією може або наростати або спадати з часом, залежно від енергії частинки (хоча кількість частинок зберігається). Подібна картина має місце для багатьох короточасних імпульсів інжекції, що розді-

лені досить великими проміжками по часу. На противагу цьому, у випадку коли імпульси розділені не досить великими проміжками по часу, меншими за час гальмування, може сформуватися функція розподілу з кількома максимумами. Оцінено популяції як іонів нейтральної інжекції, так і іонів, що народжуються внаслідок D-D реакції. Зроблено висновок, що енерговміст продуктів реакції є набагато меншим за енерговміст іонів нейтральної інжекції для плазми з температурою близько 5 кеВ та інжекованими частинками з енергією 60 кеВ. Тому, слід очікувати, що іони нейтральної інжекції, а не продукти реакції є головним джерелом можливих колективних явищ у плазмі з розглянутими характеристиками.



На рисунку зліва – часова еволюція функції розподілу протонів, що виникають у результаті D-D реакції (початкова енергія $E_0 = 3,02$ MeV) після короткого імпульсу пучка нейтральної інжекції (час імпульсу є набагато меншим за час гальмування): 1 – $t = 0,03$ с (це відповідає моменту вимкнення нейтральної інжекції); 2 – $t = 0,06$ с; 3 – $t = 0,08$ с; 4 – $t = 0,1$ с; 5 – $t = 0,2$ с; 6 – $t = 0,74$ с. Спостерігається ріст амплітуди імпульсу з часом.

На рисунку справа – часова еволюція функції розподілу протонів, що виникають у результаті інжекції пучка нейтральних атомів (початкова енергія $E_0 = 60$ KeV) після короткого імпульсу пучка нейтральної інжекції (час імпульсу є набагато меншим за час гальмування): 1 – $t = 0,03$ с (це відповідає моменту вимкнення нейтральної інжекції); 2 – $t = 0,037$ с; 3 – $t = 0,045$ с; 4 – $t = 0,058$ с; 5 – $t = 0,15$ с; 6 – $t = 0,17$ с. Спостерігається падіння амплітуди імпульсу з часом.

Робота частково підтримана коштами проекту УНТЦ-НАНУ № 6392 та коштами бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень» (КПКВК 6541230).

ІОННИЙ ЦИКЛОТРОННИЙ НАГРІВ ПЛАЗМИ ІЗ ЗНАЧНИМ ЕФЕКТОМ ДОПЛЕРА

Я. І. Колесниченко, В. В. Луценко, Т. С. Руденко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Аналіз роботи [1], де було показано принципову можливість покращення утримання енергійних іонів при іонно-циклотронному нагріві плазми (ICRH) за рахунок спеціально вибраних характеристиках ВЧ-поля (названого ICRH-D), було розширено. Метою цього було з'ясувати, по-перше, вплив тривимірної природи квазілінійної еволюції і, по-друге, вплив кулонівських зіткнень на характеристики частинок.

Було знайдено, що добре відомий в теорії ICRH «пінч-ефект» захоплених частинок призводить до зменшення або збільшення популяції захоплених частинок, залежно від знаку тороїдального модового числа, n , тобто залежно від напрямку поширення хвилі вздовж великого азимута тора. Цей вплив ре-

алізується через зміну величини $\left(\lambda \frac{\text{pas}}{\text{max}} - \lambda_* \right)$, де $\lambda \frac{\text{pas}}{\text{max}}$ – максимальне

значення пітч-кутового параметра для пролітних частинок та λ_* – пітч, що визначає сепаратрису в фазовому просторі характеристик квазілінійного оператора $\left(\lambda \frac{\text{pas}}{\text{max}} - \lambda_* \right)$ при ICRH-D). Однак, оскільки пінч-ефект, головним чи-

ном, пов'язаний з взаємодією хвиля-частинка біля точок повороту частинки, він може мати місце лише при застосуванні антени, що збуджує хвилі з дуже великими поздовжніми хвильовими числами (на відміну від взаємодії під час звичайного ICRH). Що стосується пролітних частинок, їхнє радіальне зміщення виявилось пропорційним квадрату ларморівського радіусу, а отже невеликим. Тому в цій роботі для розгляду впливу кулонівських зіткнень було використано двовимірне квазілінійне рівняння. Кулонівське пітч-кутове розсіювання є фактором, який може спричинити утворення захоплених частинок при ICRH-D. Тому потрібно знайти умови, за яких його вплив є мінімальним. Для цього з квазілінійного рівняння було отримано вирази для потоку частинок по пітч-кутам, спричиненому квазілінійною дифузією та потоку, викликаному зіткненнями. Порівнюючи ці вирази, отримано обмеження на характеристики ВЧ-поля, які дають змогу мінімізувати негативний вплив пітч-кутового розсіювання.

Робота частково підтримана коштами проекту УНТЦ-НАНУ №6392 та коштами бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень» (КПКВК 6541230).

1. Ya. I. Kolesnichenko et al. Nucl. Fusion (2017) 066004.

DESC AND JETSTA: CODES TO EVALUATE FEATURES OF SAWTOOTH CRASHES

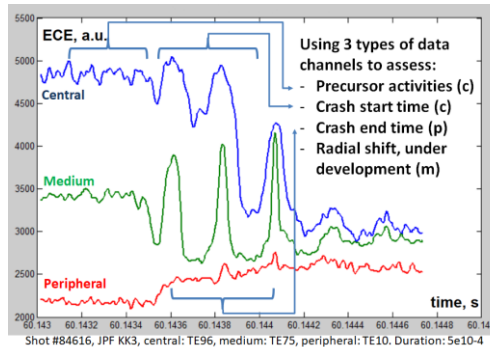
B. S. Lepiavko, A. I. Tishchenko, Yu. V. Yakovenko
and JET collaborators

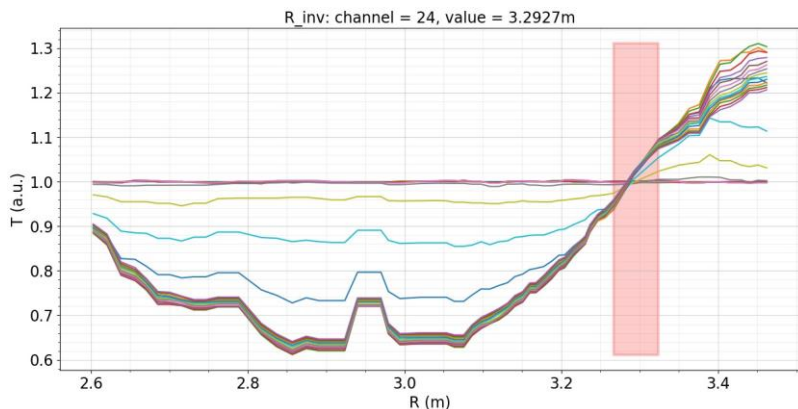
Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The sawtooth crashes observed in experiments on tokamaks are known to affect the distribution of fast ions. In particular, passing ions are strongly redistributed by the crash, as well as trapped ions with energies, lower than specific value of critical energy (E_{crit}) [1]. This energy depends on the spatial extent and duration of the crash. The spatial extent of the crash can be characterized by the inversion radius and the mixing radius. The former one determines the spatial separation between the areas where the temperature falls down and rises due to the crash. The latter one limits the total volume affected by the crash. Knowing all these values helps to evaluate the share of ions, affected and redistributed by the crash, and lets one perform simulations of processes in plasma, taking into consideration the sawtooth events.

Two codes have been developed to evaluate the parameters mentioned above. Both codes use electron cyclotron emission measurements on JET tokamak as the source of temperature evolution data. The code DESC (Duration Evaluation of Sawtooth Crashes) analyses temperatures at different radii, searching for the specific behavior patterns predicted by the Kadomtsev theory of magnetic reconnection [2]. JETSTA (JET Sawtooth Analysis) uses correlation approach and provides estimates by comparing correlation coefficients for different radial positions, and so it could be applied to non-Kadomtsev-type collapses or even to processes other than sawteeth, which are accompanied by significant drops of temperature.

Both codes have been applied for more than one hundred crashes, observed in experimental campaigns on JET. In the talk, a detailed comparison of two algorithms is provided. The definition of sawtooth crash from numerical point of view, application and limitations of usage are discussed.





Top panel of the figure – raw ECE data of temperature evolution with typical patterns of temperature evolution for core, medium and peripheral plasma regions. Marks show what DESC is looking for.

Bottom panel of the figure – evaluation of inversion radius by JETSTA, based on comparison of data from many spatial locations.

1. Ya.I. Kolesnichenko, Yu.V. Yakovenko. Nucl. Fusion 36 (1996) 159.
2. B.B. Kadomtsev, Sov. J. Plasma Phys. 1 (1976) 389.

ЦИКЛОТРОННЕ ПРИСКОРЕННЯ ЕНЕРГІЙНИХ ІОНІВ ПЛАЗМОВИМИ ЗГУСТКАМИ

В. С. Марченко, С. М. Резник

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Завдяки притаманній їм вертикальній поляризації індукованій магнітними дрейфами, згустки плазми, що виникають на нелінійній стадії колапсу п'єдесталу і рухаються назовні, можуть слугувати як природні щілини для циклотронного прискорення швидких іонів, що мають ларморовський радіус, більший за розмір згустку поперек магнітного поля. Час прискорення визначається дрейфовим рухом ведучого центра швидкого іона. При температурі електронів на сепаратрисі порядку 100 eV, навіть одне «зіткнення» зі згустком за сепаратрисою може збільшити енергію іона на 50 - 60 keV вище енергії інжекції. Обговорено можливий зв'язок цього результату зі спостереженнями на токамаку ASDEX Upgrade.

1. V.S. Marchenko, S.N. Reznik, Phys. Plasmas 25 (2018) 084502.

ГІБРИДНЕ ПЛАЗМОВО-КАТАЛІТИЧНЕ РЕФОРМУВАННЯ ЕТАНОЛУ

О. А. Недибалюк, І. І. Федірчик, В. Я. Черняк,
Т. А. Терещенко, П. В. Тищук

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Гібридний плазово-каталітичний підхід дає змогу проводити хімічні перетворення складної сировини за нерівноважних умов та низьких температур, що робить його перспективним для створення технологій які відповідають принципам зеленої хімії. У випадку вуглеводневої сировини цей підхід є основою гібридного плазово-каталітичного реформування. Дослідження гібридного плазово-каталітичного реформування показали, що воно є ефективним методом отримання синтез-газу з вуглеводнів. Однак, більшість аспектів цього процесу та вплив на нього зовнішніх факторів залишаються дослідженими. Важливим параметром є температура за якої відбувається гібридне плазово-каталітичне реформування. Тому ця робота спрямована на дослідження температури всередині реакційної камери системи для гібридного плазово-каталітичного реформування вуглеводнів з використанням методу оптичної емісійної спектроскопії та за допомогою термопар, введеної всередину реакційної камери.

Система для реформування складається зі з'єднаних між собою розрядної та реакційної камер. Модельним вуглеводнем був етанол (C_2H_5OH), а модельний окисник – атмосферне повітря. Гібридне плазово-каталітичне реформування етанолу проводилось за співвідношень $C_2H_5OH:O_2$ 1:1, 2:1, 5:2. Співвідношення $C_2H_5OH:O_2 = 2:1$ відповідає стехіометрії реакції з частковим окисненням етанолу. Потік повітря необхідний для проведення реформування було розділено між розрядною та реакційною камерами. Частина потоку повітря активувалася розрядом та ставала джерелом активних частинок необхідних для проведення гібридного плазово-каталітичного реформування етанолу. Після активації в розрядній камері повітря вводилося в реакційну камеру у вигляді плазового факелу. Решта повітряного потоку змішувалася з етанолом та вводилася в систему через верх реакційної камери. У обох камерах введення потоку повітря відбувалось по дотичній до їхніх стінок. Потік повітря у розрядній камері утворював вихровий потік, а потік повітря у реакційній камері утворював зворотно-вихровий потік типу торнадо.

Для визначення обертової та коливної температури за заселенням збуджених рівнів гідроксилу OH використовувалось порівняння емісійних спектрів плазми в реакційній камері зі змодельованими за допомогою програми Spesair 2.2 емісійних спектрів гідроксилу OH. Для вимірювання температури газу всередині реакційної камери використовувалась термопара ХА вкрита діелектриком (тонкою керамікою). Термопара була введена в реакційну камеру вздовж її осі. Температура вимірювалась на відстанях h (10 - 65 мм) від

дна реакційної камери.

Виявлено не больцманівський розподіл збуджених молекул ОН за коливними енергетичними рівнями під час гібридного плазмово-каталітичного реформування етанолу у синтез-газ при співвідношенні $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{O}_2 - 1:1, 2:1, 5:2$ ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{O}_2=2:1$ відповідає стехіометрії реформування етанолу з частковим окисленням). Це може вказувати на значну роль коливних збуджень молекул реагентів у реакціях, що протікають під час гібридного плазмово-каталітичного реформування збагачених сумішей.

ПРО ВПЛИВ ДОМІШОК ЦИРКОНІЮ ТА ТАНТАЛУ НА ТРАНСПОРТНІ ВЛАСТИВОСТІ БАГАТОКОМПОНЕНТНОЇ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ПЛАЗМИ

П. В. Порицький, Л. М. Свята

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Відомо, що цирконій та тантал широко використовуються в багатьох галузях промисловості, зокрема в ядерних технологіях і пристроях для атомних електростанцій. Удосконалення технології цих матеріалів пов'язане з використанням плазмових приладів та промислових електронних установок. При експлуатації процес ерозії призводить до випаровування металевих домішок в область розряду, що викликає зміну властивостей плазми. У реальних умовах у плазму розрядів неодмінно потрапляє випарений матеріал електродів та провідників, через які підводиться струм до плазми, або які застосовуються для ініціювання розрядів. Атоми таких домішок можуть суттєво впливати на властивості плазми підводних розрядів. Вони викликають зміни у розподілах струму та енерговиділення в розрядних каналах, впливають на формування їхньої структури та динаміку розвитку.

Розглянуто вплив домішок цирконію та танталу на транспортні властивості багатокомпонентної термічної плазми в атмосфері сумішей аргону та диоксиду вуглецю. Проведені розрахунки ґрунтувалися на методі моментів Греда. Показано, що невелика кількість металевих домішок може суттєво змінити величини транспортних коефіцієнтів порівняно із випадком чистого аргону. Висвітлено можливість нейтралізації впливу ефекту Рамзауера на властивості плазми шляхом додавання металевих домішок.

Запропоновано метод та розроблено методику контрольованого зниження електричної провідності у багатокомпонентному парогазовому середовищі із високим вмістом металевих домішок. Досліджено вплив збільшення концентрації металевих домішок на властивості плазми, зокрема на її електропровідність. Показано, що поряд з очікуваним збільшенням провідності плазми в умовах високої концентрації металевих домішок в парогазовому середовищі, також має місце зменшення електричної провідності. Досліджено умови розвитку та контрольованості зазначеного процесу.

ГЕНЕРАЦІЯ ПОТОКУ ЕНЕРГІЇ ДОСЕРЕДИНИ ПЛАЗМИ АЛЬФВЕНІВСЬКИМИ ВЛАСНИМИ МОДАМИ, ЗБУДЖЕНИМИ НЕОДНОРІДНІСТЮ ПЛАЗМИ

А. В. Тихий, Я. І. Колесниченко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Нещодавно було показано, що, коли резонансна швидкість взаємодії «частинка-хвиля» перевищує теплову швидкість частинок, альфвенівські щільні моди, пов'язані з тороїдальністю (ТАЕ), еліптичністю (ЕАЕ) тощо, можуть бути нестійкими навіть у відсутності джерел енергійних іонів, таких як інжекція нейтральних пучків [1]. Фізика цього явища полягає у різкому зростанні дестабілізуючого впливу градієнту температури іонів, коли резонансна швидкість перевищує теплову. У стелараторах, такі резонансні швидкості існують завдяки наявності неосесиметричних резонансів, передбачених у [2]. Коли радіальний профіль температури іонів плоский у центрі, але має великий градієнт на периферії плазми, дестабілізована мода може передавати енергію з периферії до центра плазми, тобто потужність, що поглинається модою у нестійкій області, нагріває плазму у стійкій області при менших радіусах. Цей механізм дестабілізації може проявлятися і приводити до доцентрового просторового каналування енергії іонів у відносно вузькій за радіусом області плазми у експериментах на стелараторі Wendelstein 7-X, в яких спостерігалися довготривалі високочастотні коливання [3].

Показано, що дестабілізація власних мод у плазмі обмеженого об'єму супроводжується генерацією радіального потоку енергії, причому радіальний розподіл потоку залежить від інкременту нестійкості. Для прикладу, штучно варіюючи температуру іонів у центрі плазми Wendelstein 7-X від $T(0) \sim 2$ keV (що відповідає першій експериментальній кампанії) до $T(0) = 5 - 10$ keV, було показано, що густина потоку енергії при незмінній амплітуді ЕАЕ-моди, розглянутої у [1], зростає майже на два порядки: потік енергії через поверхню максимального локального інкременту збудження зростає від $P \sim 0.05$ МВт до $P \sim 1$ МВт. Оцінки на основі даних по базовому сценарію ITER зі струмом плазми 15 МА показують, що при очікуваній ТАЕ-нестійкості з інкрементом $\gamma/\omega \sim 0.01$, локалізованій поблизу половини малого радіусу, там може виникати потік такого ж порядку величини $P \sim 1$ МВт.

Слід зазначити, що доцентрове просторове каналування також може забезпечувати перенесення енергії термоядерних альфа-частинок швидкими магнітозвуковими хвилями з частотами, що лежать над циклотронною частотою альфа-частинок [4].

Розглянута нестійкість може впливати на параметри плазми у Wendelstein 7-X і заслуговує на подальші експериментальні та теоретичні дослідження. Ця мода також може відігравати роль у інших стелараторах – LHD, TJ-II, H-1, U-3M та інших [5 - 8].

Робота частково підтримана коштами проекту УНТЦ-НАНУ № 6392 та коштами бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямків наукових досліджень» (КПКВК 6541230).

1. Ya.I. Kolesnichenko, A.V. Tykhyy, Phys. Letters A 382 (2018) 2689.
2. Ya.I. Kolesnichenko et al. Phys. Plasmas 9 (2002) 517.
3. T. Windisch et al. Plasma Phys. Contr. Fusion 59 (2017) 105002.
4. Ya.I. Kolesnichenko et al. Nucl. Fusion 58 (2018) 076012.
5. K. Toi et al. Plasma Phys. Contr. Fusion 53 (2011) 024008.
6. R. Jiménez-Gómez et al. Nucl. Fusion 51 (2011) 033001.
7. M.J. Hole et al. Plasma Phys. Control. Fusion 59 (2017) 125007.
8. M.B. Dreval et al., Phys. Plasmas 23 (2016) 022506.

MECHANISM OF THE ENERGY TRANSFER ACROSS THE MAGNETIC FIELD BY ALFVÉN WAVES IN TOROIDAL PLASMAS

M. H. Tyshchenko, Ya. I. Kolesnichenko, Yu. V. Yakovenko

Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Destabilized magnetohydrodynamic (MHD) eigenmodes can transfer the energy and momentum from the region where particles (e.g., fast ions) drive the plasma instability to another region, where the destabilized waves are damped. This phenomenon named “spatial channeling” (SC) was predicted in [1, 2]. The classical Alfvén waves are known to propagate along the magnetic field, so that their transverse group velocity in a homogeneous plasmas in a homogeneous magnetic field vanishes. Therefore, the physical mechanism of the SC produced by GAE, EAE and other Alfvén eigenmodes was not clear. Nevertheless, the conclusions of [1] and [3] were based on the assumption that Alfvén modes are capable of transferring energy across the magnetic field, although no analysis of the mechanism of this transfer was carried out.

This work is aimed at understanding how Alfvén modes transfer energy across the magnetic field. It is found that, in contrast to the classical Alfvén waves in infinite plasmas, the Alfvén waves in toroidal systems produce plasma compression due to coupling with fast magnetoacoustic waves, which provides the energy transfer. The radial group velocities of the traveling waves constituting the Global Alfvén Eigenmodes (GAE) and Toroidicity-induced Alfvén Eigenmodes (TAE) are calculated. It is shown that equations for Alfvén eigenmodes derived in the approximation of vanishing wave field along the equilibrium magnetic field reproduce the longitudinal magnetic field of the wave and lead to correct transverse energy flux. The obtained results explain how Alfvén eigenmodes can provide the spatial energy channeling.

1. Ya.I. Kolesnichenko, Yu.V. Yakovenko, V.V. Lutsenko, Phys. Rev. Lett. 104 (2010) 075001.
2. Ya.I. Kolesnichenko et al. Nucl. Fusion 50 (2010) 084011.
3. Ya.I. Kolesnichenko, A.V. Tykhyy, Phys. Lett. A 382 (2018) 2689.

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОФІЛЮ МАГНІТНОГО ЧИСЛА ОБЕРТІВ ЗІ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ ПІД ЧАС МАГНІТНОГО ПЕРЕЗАМКНЕННЯ

А. І. Тищенко, Ю. В. Яковенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Магнітне число обертів (q), яке в фізиці токамаків традиційно зветься коефіцієнтом запасу стійкості, є важливим топологічним параметром, що характеризує топологічну структуру силових ліній магнітного поля. Параметр q впливає як на процеси перенесення, так і на стійкість плазми, тому часто важливо знати, чи є ця величина на певній магнітній поверхні більшою, рівною чи меншою від певного раціонального числа, а для цього потрібно доволі точно вимірювати її. Наразі основними методами діагностики q є, по-перше, непряме визначення через розв'язання рівнянь рівноваги [1] і, по-друге, визначення нахилу силових ліній з рухового ефекту Штарка (розщеплення спектральних ліній в електричному полі, що виникає в системі координат атома, що випромінює) [2]. Похибка і, особливо, просторова роздільна здатність згаданих методів є в багатьох випадках незадовільною.

У цій роботі для знаходження профілю q в центральній частині плазми пропонується використати перерозподіл температури електронів під час колапсу (фази швидкої зміни параметрів плазми) пилчастих коливань. Пилчасті коливання є поширеною формою магнітогідродинамічної активності плазми в токамаках. Згідно з моделлю Кадомцева [3], швидке перемішування плазми при колапсі викликається перезамкненням магнітних силових ліній. Зміна густини та температури при цьому залежить від форми профілю q .

У роботі пропонується метод, який дає змогу визначити профіль q в області перемішування плазми колапсом (принаймні, деякі характерні точки профілю), якщо знати профіль густини та зміну профілю температури електронів (T_e). Демонструються приклади визначення профілю q у розрядах токамака JET; при цьому для діагностики T_e використовуються вимірювання електронно-циклотронної емісії з плазми. Обговорюються джерела похибки, зокрема, теплообмін поперек силових ліній та можливе неповне погодження колапсу з моделлю Кадомцева.

Ця робота виконувалася у рамках Консорціуму EUROfusion і отримувала підтримку Програми досліджень та навчання 2014 - 2018 Євратома за грантовою угодою № 633053 і Національної академії наук України за темою «Явища, пов'язані з енергійними іонами, в токамаках та стелараторах» та Проектом № ПЛ15/18. Погляди та міркування, висловлені тут, не обов'язково відображають думку Європейської Комісії.

1. L.L. Lao et al. Nucl. Fusion 30 (1990) 1035.
2. F.M. Levinton et al. Phys. Rev. Lett. 63 (1989) 2060.
3. B.B. Kadomtsev. Sov. J. Plasma Phys. 1 (1976) 389.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВЗАЄМОДІЇ НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОТОНІВ ІЗ НЕРЖАВІЮЧОЮ СТАЛЛЮ 12Х18Н10Т

**О. А. Федорович¹, В. В. Гладковський¹, Л. М. Войтенко¹, Є. Г. Костін¹,
Б. П. Полозов¹, В. О. Петряков¹, О. А. Рокицький¹, О. С. Оберемок²,
О. Д. Рудь³, С. С. Поліщук³**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

² *Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,
Київ, Україна*

³ *Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Київ, Україна*

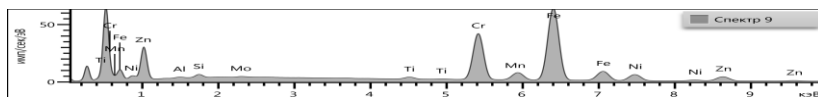
Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т є одним з найпоширеніших конструкційних матеріалів в ядерній енергетиці та для конструкцій перспективної ядерної енергетики. Це зв'язано з важливими перевагами цієї марки сталі над іншими марками конструкційних сталей. Це такі переваги: вона корозійностійка; не намагнічується, тому з неї роблять корпуси різноманітних установок, в тому числі і плазмові та плазмохімічні, які працюють з хімічно активними речовинами (фтор, хлор, кисень та їхніми радикалами); пропускає всередину магнітні поля; має достатньо високі механічні властивості; легко зварюється аргоново дуговим методом; добре полірується та інші. Ця сталь ще називається харчовою і з неї виготовляють побутовий посуд, який не дає шкідливих сполук при нагріванні та не окислюється.

Розроблені та виготовлені в нашому відділі плазмохімічні реактори також виготовлені з цієї сталі. Розрядні електроди як активний, так і заземлений також виготовлено з цієї сталі. Під час розрядів як постійного струму, так і високочастотних відбувається бомбардування цих електродів як електронами так і позитивно і негативно зарядженими іонами, особливо в хімічно активних газах, які мають великі потенціали «спорідненості до електрона». При цьому відбувається фізичне розпилення електродів, плазмохімічне витравлення деяких складових нержавіючої сталі, які можуть утворювати з галогенами летючі гази, так і проникнення іонів з малими масами в глибину електродів, (наприклад водню, гелію). При цьому може відбуватись збільшення крихкості сталі і інші зміни.

Було проведено дослідження одного з електродів, який був тримачем підкладки і опромінювався протонами сотні годин під час обробки конструкційних матеріалів. На рисунку наведено результати кількісного рентгенолюмінесцентного аналізу поверхні опроміненої протонами сталі 12Х18Н10Т.

Для порівняння в таблиці наведено результати такого ж аналізу зворотної сторони того самого полірованого зразка. З порівняння видно, що на робочій

стороні виникає певна кількість домішок цинку, якого немає на неопроміненій стороні підкладкотримача. Немає цинку і в конструкційних матеріалах іонного джерела протонів [1, 2], який виготовлений виключно із сталі



Название спектра	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Zn	Mo	Сумма
Спектр 9	0.25	0.73	0.73	23.14	1.24	57.40	7.69	8.42	0.39	100.00
Спектр 10	0.19	0.67	0.72	17.73	1.49	55.96	7.00	15.68	0.57	100.00
Спектр 11	0.40	0.88	0.66	22.98	1.07	57.10	8.31	8.33	0.28	100.00
Спектр 12	1.37	1.50	0.45	27.21	1.14	52.68	7.89	7.49	0.28	100.00

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Контролируемые примеси		
								P	S	Cu
	0.969	0.50	17.12	10.22	0.422	0.040	0.38			0.110

12X18Н10Т та фторопласту. Аналогічні результати одержані і при вторинній іонній мас-спектрометрії. Механізми появи цинку в складі нержавіючої сталі потребують більш детальних досліджень.

1. О.А. Fedorovich et al. PAST 4(116) (2018) 302.
2. В.В. Гладковский та ін. ТКЭА 5-6 (2014) 39.

Тези доповідей з радіобіології, радіоекології та техногенно-екологічної безпеки

МОРФОЛОГІЧНІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ГЕМОПОЕТИЧНИХ КЛІТИН-ПОПЕРЕДНИКІВ В УМОВАХ КУЛЬТИВУВАННЯ У МІКРООТОЧЕННІ, СФОРМОВАНОМУ МЕЗЕНХІМАЛЬНИМИ СТРОМАЛЬНИМИ СТОВБУРОВИМИ КЛІТИНАМИ ЩУРІВ, ОПРОМІНЕНИХ У СУБЛЕТАЛЬНІЙ ДОЗІ

Д. І. Білько, І. З. Руссу, М. В. Пахаренко, Н. М. Білько

Національний університет «Києво-Могилянська академія», Київ, Україна

До теперішнього часу актуальним залишається питання про те, яким чином компоненти мікрооточення можуть впливати та керувати диференціюванням і проліферацією стовбурових кровотворних клітин. Саме клітини мікрооточення так званих гемопоетичних ніш забезпечують довготривалу підтримку гемопоезу в організмі протягом усього життя. Моделювання умов, які підтримують недиференційований стан і відповідну регуляцію активності гемопоетичних клітин *ex vivo*, особливо в умовах стимуляції гемопоезу після впливу іонізуючого випромінювання, є задачею на шляху до досягнення стабільної екпансії гемопоетичних клітин *in vitro* для наукових і терапевтичних задач. Встановлено, що реалізація впливу іонізуючого випромінювання здійснюється за участі як цитокінів, так і мукополісахаридів (глікозаміногліканів), що синтезуються у клітинах мікрооточення. Для визначення шляхів впливу цих факторів на гемопоез, використовували моделі близькодистантних і дальньодистантних взаємодій, культивуючи гемопоетичні клітини над шаром мезенхімальних стромальних клітин з кісткового мозку, опромінених у дозі 6 Гр щурів. Культивування відбувалося *in vitro* у напіврідкому агарі за Pike B.L. & Robinson W.A. та у гідрогелевих дифузійних камерах (Білько Д. І.). Мезенхімальні клітини продукують велику кількість цитокінів, концентрація яких збільшується у результаті опромінення, що виявляється у рості колонієутворення у культурі і пов'язано зі змінами складу міжклітинного середовища, яке створює сприятливі умови для проліферації та диференціювання еритроїдного та гранулоцитарного паростка та впливає на інтенсивність гемопоезу. Виявилося, що прямий контакт гемопоетичних клітин з мікрооточенням не є обов'язковою умовою для підтримання гемопоезу.

ГЕМАТОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ У ЛАБОРАТОРНИХ ЩУРІВ ЗА ВПЛИВУ ^{131}I ТА ЇХНІХ ПОТОМКІВ

**О. Б. Ганжа¹, Н. К. Родіонова¹, Н. М. Рябченко¹,
А. І. Липська¹, В. В. Тально²**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Державна установа «Національний науковий центр
радіаційної медицини НАМН України», Київ, Україна

Досліджено гематологічні показники у білих лабораторних щурів, які зазнали впливу ^{131}I , та їхніх потомків. Визначено вміст лейкоцитів і еритроцитів у периферичній крові, проведено аналіз лейкоцитарної формули. Розраховано лейкоцитарні індекси: лімфоцитарний, індекс ядерного зсуву та індекс Гаркаві.

Згідно з експериментальною моделлю із вивчення біологічних ефектів інкорпорованого ^{131}I , щурам самцям і самкам (батькам потомків першого покоління) одноразово вводили перорально через зонд розчин натрію йодиду з активністю 27,35 кБк на тварину. Через одну добу після введення радіонукліда самців і самок відсаджували для спаровування з метою отримання потомків першого покоління.

Визначено, що у щурів-батьків на момент спаровування були виражені реактивні зміни у системі крові зі збільшенням вмісту лейкоцитів за рахунок гранулоцитарної фракції (зокрема паличкоядерних нейтрофілів), що зумовлено викидом лейкоцитів у периферичну кров із кісткового мозку.

У подальшому було досліджено показники периферичної крові у щурів-потомків першого покоління (самців), народжених від: 1) інтактних самця і самки (контроль) – F1; 2) інтактною самки та опроміненого самця – F1 (♂); 3) інтактного самця та опроміненої самки – F1 (♀); 4) опромінених самця і самки – F1 (♂ ♀).

Виявлено у щурів-потомків першого покоління лабільність гематологічних показників із тенденцією до збільшення вмісту лімфоцитів та зменшення кількості нейтрофілів практично у тварин усіх дослідних груп.

При розрахунку лейкоцитарних індексів, що характеризують адаптаційний потенціал організму, встановлено, що у всіх щурів-потомків ці показники перевищують контрольні значення. Особливо виражені зміни у периферичній крові спостерігали у тварин групи F1 (♂ ♀) та F1 (♂).

Наступна серія досліджень була проведена з метою визначення рівня резервних можливостей організму щурів-потомків першого покоління, для чого тварин усіх дослідних груп додатково опромінювали у сублетальній дозі 5,34 Гр. Гематологічні показники визначали як до опромінення, так і на 7, 14, 21 та 28 добу після.

Установлено, що у ранні терміни після опромінення зміни гематологічних показників (за зниженням вмісту лейкоцитів, лімфоцитів, нейтрофілів) у щурів-потомків усіх груп не відрізнялись від опроміненого контролю. Але у

подальшому, у період відновлення кровотворення виявлено особливості реакції системи крові залежно від того, хто із щурів-батьків (самець чи самка) зазнав впливу інкорпорованого ^{131}I . У щурів-потомків групи F 1 (♂ ♀) та F 1 (♂) зафіксовано уповільнення відновлення клітин тих паростків кровотворення, що проліферують та дозрівають у кістковому мозку (гранулоцити та еритроцити). Проте при аналізі лімфоцитарної фракції кровотворення на 14-ту та 21-шу добу після опромінення кількість лімфоцитів, переважно за рахунок малих, у тварин групи F 1 (♂ ♀) та F 1 (♂) була більшою у порівнянні з показниками групи F 1 та F 1 (♀).

Показано, що більш виражену напруженість компенсаторно-відновлювальних процесів спостерігали у щурів-потомків групи F 1 (♂ ♀), на що вказує збільшення індексу Гаркаві (у 2 рази) порівняно як з групою F 1, F 1 (♀) та F 1 (♂), так і з вихідними даними.

Таким чином, за нашими даними встановлено існування дисбалансу у системі крові як у щурів-батьків, безпосередньо опромінених інкорпорованим ^{131}I , так і у їхніх потомків першого покоління, що особливо проявляється у тварин групи F 1 (♂ ♀) та F 1 (♂).

ОСМОТИЧНА РЕЗИСТЕНТНІСТЬ ЕРИТРОЦИТІВ КРОВІ РУДОЇ НОРИЦІ (*MYODES GLAREOLUS*) ІЗ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС ІЗ РІЗНИМ РІВНЕМ РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Ю. П. Гриневич, А. І. Липська, О. О. Бурдо, С. В. Телецька

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Радіаційне випромінювання, що здатне викликати значні зміни функціонального стану біологічних систем різного рівня організації, та сильно впливає на структуру мембран клітин крові, зокрема, еритроцитів (МЕ), які є показником функціонального стану організму людини та тварин. Широковживаним, і в той же час достатньо інформативним методом дослідження функціонального стану еритроцитів, є вивчення їх осмотичної резистентності (ОРЕ), що відображає стійкість клітинних мембран до дії іонізуючого випромінювання. Відомо, що система осмотичного гомеостазу є однією із критичних мішеней радіаційного, ультразвукового, кислотного та теплового ураження клітин.

Як тест-об'єкт радіоактивного забруднення нами була вибрана руда нориця (*Myodes glareolus*), яка широко розповсюджена на радіоактивно-забруднених територіях полігону Янів (потужність дози зовнішнього γ випромінювання 5,0 - 21,0 мкЗв/год) та полігону порівняння Дитятки (потужність дози зовнішнього γ -випромінювання 0,2 - 0,22 мкЗв/год). У дослідях були використані тварини дво- три-місячного віку. Периферичну кров (10 мкл) відбирали із сонної артерії під легким ефірним наркозом у пробірки з різною концентрацією NaCl, попередньо додавши 0,1 мл гепарину. ОРЕ оцінювали за ступенем гемолізу еритроцитів у розчинах NaCl різної концентрації порівня

но зі ступенем гемолізу зразка із дистильованою водою.

Показано, що у руді нориці з полігону Янів початок гемолізу еритроцитів (мінімальний гемоліз) фіксувався за концентрації розчину NaCl 0,55 %, та закінчувався (максимальний гемоліз) за концентрації – 0,45 %. У групі порівняння (тварини із полігону Дитятки) мінімальний гемоліз еритроцитів відмічався за концентрації NaCl 0,50 %, тоді як максимальний – за концентрації 0,35 %. Окрім того, аналіз процентного співвідношення проміжних концентрацій NaCl, за яких відбувається гемоліз, дає підставу стверджувати, що мембрани еритроцитів нориць із полігону Дитятки є стійкішими, ніж у рудих нориць із полігону Янів. Виявлена невелика різниця меж максимальної і мінімальної OPE (амплітуда резистентності) у нориць з полігону Янів та її збільшення у тварин із полігону Дитятки, що може свідчити про відсутність суттєвих змін структурних і функціональних властивостей мембран еритроцитів як наслідок дії на організм тварин радіонуклідного забруднення полігонів. Водночас, у мишоподібних гризунів із досліджуваних полігонів зони ЧАЕС такий рівень OPE може бути обумовлений сукупним впливом низки екологічних факторів середовища їхнього перебування, основними із яких є рівень радіонуклідного забруднення та пов'язане з ним тривале внутрішнє опромінення, а також накопичена сумарна доза. Окрім того, велике значення мають індивідуальні фізіолого-біохімічні особливості організму тварин, що регулюють як процеси диференціювання та дозрівання клітин еритроїдного ряду та вихід молодих (незрілих) форм еритроцитів у кров'яне русло, так і систему антиоксидантного захисту і її вихід на інший рівень функціонування, як наслідок специфіки фізико-хімічних механізмів регуляції і підтримання окисного гомеостазу у певному інтервалі малих доз радіації. Належить зазначити, що однією з причин підвищення проникності мембран еритроцитів та ініціації їх гемолізу є процеси вільнорадикального окиснення ліпідних структур еритроцитарних мембран, зумовлені радіаційним випромінюванням, підвищенням утворення вільних радикалів у мембранах, що підтверджується низкою наукових даних.

НАУКОВО-СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

М. О. Дружина, А. І. Липська

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Сучасні темпи широкомасштабних впроваджень новітніх технологій випереджають всебічні дослідження їх негативних наслідків на довкілля і людину. Сьогодні радіонуклідне забруднення біосфери і застосування в промисловості, енергетиці, медицині пристроїв, що генерують іонізуючі випромінювання (ІВ), набули загрозливого рівня: суто наукові аспекти радіаційної безпеки переростають у соціальну проблему.

При оцінці радіаційних навантажень необхідно враховувати специфіку цього фізичного чинника – відсутність порогу безпечної дії ІВ на організм.

Тому заходи безпеки, перш за все, мають ґрунтуватися на принципі ALARA. При плануванні робіт, пов'язаних з опроміненням, прогнозуванні можливих аварійних ситуацій, очікувана поглинута доза має бути гранично мінімізована.

У надфоновому діапазоні доз рівень уражень варіює в широких межах, що зумовлюється як стохастичним характером взаємодії ІВ з «біологічними мішеннями», так і низкою причин і факторів.

Розробка сучасної концепції радіаційної безпеки потребує чіткого радіобіологічного обґрунтування і дотримання положень:

- Різні рівні радіації (щільно- та рідкоіонізуючої) характеризуються різними механізмами їх взаємодії з біологічними тканинами, а отже і різними ефектами. Еквівалентна доза (фактор якості) не відображає ці якісні відмінності.

- Умови опромінення (зовнішнє, внутрішнє, тривале, фракціоноване; тропність радіонуклідів тощо) за однакових доз викликають різні ефекти.

- Біологічні особливості організму (вік, стать, ендogenous фон радіорезистентності, і, головне – генетично зумовлена індивідуальна радіочутливість) суттєво впливає на рівень радіаційних уражень. Персональну радіочутливість організму необхідно визначати при відборі кандидатів для роботи у сфері дії ІВ.

- Серед професіоналів періодично необхідно здійснювати моніторинг стану здоров'я за цитогенетичними та метаболічними тестами з метою формування груп ризику, профілактики та упередження розвитку радіаційних уражень.

ГОСТРІ ЛІМФОБЛАСТНІ І МІЄЛОЇДНІ ЛЕЙКОЗИ У ОСІБ-РОВЕСНИКІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС У ПІСЛЯЧОРНОБИЛЬСЬКИЙ ПЕРІОД

С. В. Коваль, Н. К. Родіонова, Т. С. Іванівська, Л. М. Складенко

¹ *Інститут експериментальної патології, онкології та радіобіології
ім. Р. С. Кавецького НАН України, Київ, Україна*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

Здійснений аналіз форм гострих лейкозів (ГЛ) у осіб, що є ровесниками аварії на ЧАЕС (яким було від 0 до 4 років у 1986 р.) для виявлення можливого радіогенного впливу, який мав місце в момент і протягом років після Чорнобильської аварії. Ця вікова група умовно визначена як «критична» щодо впливу радіоактивного опромінення, враховуючи, що в цей віковий період відбувається фізіологічне переключення гемопоєзу з лімфоїдного на мієлоїдний тип кровотворення і міграція стовбурових клітин по органам гемопоєзу.

Аналіз здійснений у певні п'ятирічні періоди (1996 - 2000 рр., 2001 - 2005 рр., 2006 - 2010 рр., 2011 - 2015 рр.) у 468 осіб (чоловіків і жінок) «критичної» групи і у 397 осіб відповідної «контрольної» групи, визначеній з ураху-

ванням віку на момент дослідження. Виявлено, що впродовж 1996 - 2000 рр. у осіб чоловічої і жіночої статі, що належали до «критичної» і «контрольної» груп серед форм ГЛ гострі лімфобластні лейкози (ГЛЛ) значно переважали над гострими мієлобластними лейкозами (ГМЛ), що пояснюється закономірним розподілом форм ГЛ в цей часово-віковий період з переважанням ГЛЛ (ровесникам аварії в цей період було від 10 до 18 років). Протягом наступних досліджених п'ятирічок (2001 - 2005 рр., 2006 - 2010 рр., 2011 - 2015 рр.) ми відзначили ріст питомої ГМЛ у чоловіків «критичної» вікової групи з 29 до 48 %, але загалом спостерігається переважання в структурі ГЛ ГЛЛ (до 52 %). Інша тенденція простежується у жінок «критичної» групи: частота ГМЛ зросла з 26 до 67 %, частота ГЛЛ – зменшилась з 74 до 33 %. Подібні тенденції виявлені і у відповідних «контрольних» групах хворих різної статі.

Хоча з роками відносна кількість випадків ГЛЛ у осіб, що належали до наймолодшої на момент аварії на ЧАЕС вікової групи, могла бути прогнозовано більш низькою, враховуючи віковий розподіл форм ГЛ у дорослих осіб з переважанням у останніх ГМЛ, ми відзначили різні тенденції у осіб різної статі. Більша частка ГЛЛ в загальній структурі ГЛ у чоловіків з роками може бути пов'язана із загальним ростом онкогематологічної патології, в основі розвитку якої лежить ураження лімфоїдних клітин на різних стадіях диференціювання. Одночасно спостерігається значний ріст захворювань із зрілих лімфоїдних клітин, включаючи неходжкінські злоякісні лімфоми і хронічний лімфолейкоз. Більша частка ГМЛ в структурі ГЛ у жінок-ровесників аварії може свідчити про ураження стовбурових гемопоетичних клітин і клітин-попередників мієлопоезу, що обумовлює розвиток хронічного мієлолейкозу та інших форм мієлопроліферативних новоутворень, частота яких у жінок в післячорнобильський період, за деякими оцінками, є вищою, ніж у чоловіків.

АБЕРАЦІЇ ХРОМОСОМ У ЛІМФОЦИТАХ КРОВІ ЛЮДИНИ ЗА КОРОТКОЧАСНОГО ЗОВНІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ ¹³⁷Cs IN VITRO

**В. А. Курочкіна, Т. В. Циганок, І. А. Хомич,
В. І. Федорченко, Л. К. Бездробна**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Мета – вивчити частоту нестабільних аберацій хромосомного типу в культурі лімфоцитів крові людини при короткочасному зовнішньому опроміненні ¹³⁷Cs в малих дозах in vitro за умов наближених до in vivo.

Матеріали і методи. Дослідження виконано на зразках крові умовно здорового донора чоловічої статі віком 37 років. Стерильні зразки гепаринізованої крові опромінювали впродовж 1,75 год при температурі 35,5 - 36,5 °C у повітряному термостаті розміщеному в «гарячій» камері реактора. Активність джерела ¹³⁷Cs ($1,79 \pm 0,15$) · 10¹⁰ Бк. Джерело і пробірки зі зразками крові розміщували у планшеті зі щільного полієстеролу, який під час опромінення

обертася навколо умовної вісі, забезпечуючи цим перемішування клітин крові. Зразки крові встановлювали на відстанях від джерела 0,16 - 0,07 м, що забезпечувало опромінення крові у дозах 0,10 - 0,53 Гр відповідно. Для контролю доз під час опромінення використовували термолюмінесцентні дозиметри на основі монокристалів фтористого літію – LiF. Культивування крові (48 год) і приготування цитогенетичних препаратів проводили за загальноприйнятою методикою [1]. Досліджували частоту нестабільних аберацій хромосомного типу (дицентриків і центричних кілець із супровідними парними фрагментами та вільних ацентричних фрагментів). На кожну дозу аналізували по 2000 - 2500 метафазних пластинок.

Результати дослідження. Розподіл нестабільних хромосомних аберацій (обмінів і вільних ацентричних фрагментів) в лімфоцитах крові внаслідок їх зовнішнього гамма-опромінення ^{137}Cs в дозах до 0,53 Гр відповідав розподілу Пуассона (згідно з індексом дисперсії – σ^2/μ і χ -критерію). Виявлено одну клітину з двома дицентриками із супровідними парними фрагментами після опромінення в дозі 0,53 Гр. Встановлений рівень аберацій був у декілька разів менший ніж представлений в літературі для випадків гострого опромінення в тих же дозах. Регресійний аналіз дозових залежностей виходу дицентриків і центричних кілець (сумарно) із супровідними парними фрагментами та вільних ацентричних фрагментів підтвердив їх лінійний характер у діапазоні доз до 0,28 Гр. При опроміненні зразків крові в дозі 0,53 Гр рівень аберацій різко зростає (індукція нестабільних обмінів – на порядок).

Частота нестабільних обмінів після опромінення в дозі 0,10 Гр виявлялася на рівні неопроміненого контролю.

1. *Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies* (Vienna: International Atomic Energy Agency, 2011) 229 p.

ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОПРОТЕКТОРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕЛАНІН-ГЛЮКАНОВОГО КОМПЛЕКСУ

Л. І. Маковецька, О. А. Главін, М. О. Дружина, В. М. Михайленко

*Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології
ім. Р. Є. Кавецького НАН України, Київ, Україна*

Іонізуюча радіація є потужним ушкоджуючим фактором. У реальних умовах живі організми зазнають комплексного впливу чинників навколишнього середовища фізичної та хімічної природи, що при поєднанні з радіацією призводять до розвитку патологій різного генезу, у тому числі і онкологічних, зокрема шляхом порушення вільнорадикального гомеостазу, що обумовлює необхідність розробки заходів попередження шкідливих наслідків їх дії. Перспективними сполуками, що здатні контролювати стан системи окисного метаболізму є меланіни грибного походження, особливістю яких є наявність

високої концентрації парамагнітних центрів. Меланіни захищають клітину, зв'язуючи вільні радикали і зменшуючи рівень окиснення поліненасичених жирних кислот, упереджуючи ушкодження клітинних мембран. Вони є потужними природними антиоксидантами з біопротекторною функцією.

Нами було обрано меланін-глюкановий комплекс (МГК) з *Fomes fomentarius* з метою дослідити його вплив на рівень вільнорадикальних процесів у крові щурів за сумісної дії малих доз іонізуючого випромінювання (ІВ) та екзогенних оксидів азоту (ОА) та оцінити можливості використання МГК для корекції проявів оксидативного і нітрозативного стресу.

У модельних дослідженнях на щурах за дії ОА та ІВ охарактеризовано вплив МГК (10 мкг/мл питної води) на стан маркерів оксидативних і нітрозативних порушень вільнорадикального гомеостазу: про-антиоксидантного співвідношення в гемолізаті, вмісту білкових сульфгідрильних груп (SH-груп) і пероксидного окиснення ліпідів за вмістом малонового діальдегіду в плазмі крові та рівня апоптозу в ЛПК щурів.

Застосування МГК достовірно знижувало на 32-24 % ($p \leq 0,05$) рівень перексидного окиснення ліпідів та про-антиоксидантне співвідношення у крові тварин на 8-му добу після завершення дії канцерогенонебезпечних чинників довіклля порівняно з їх значеннями за дії ОА та ІВ із наближенням до контрольних на 15-ту добу. Дія МГК супроводжувалась 50 % зниженням рівня апоптозу в ЛПК на 1-шу добу, а на 8-му добу відмічено відновлення контрольних рівнів апоптозу і SH-груп.

Отже, використання меланін-глюканового комплексу суттєво знижувало про-антиоксидантне співвідношення, інтенсивність пероксидного окиснення ліпідів у крові і рівень апоптозу в лімфоцитах та підвищує рівень SH-груп в крові щурів за дії ОА та ІВ.

Таким чином, доведено можливість застосування МГК в якості регулятора вільнорадикальних порушень за дії канцерогенонебезпечних факторів довіклля.

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ГІПОФІЗАРНО-ГОНАДНОЇ СИСТЕМИ ЕНДОКРИННОЇ РЕГУЛЯЦІЇ У ДВОХ ПОКОЛІННЯХ БЛІХ ЩУРІВ, НАРОДЖЕНИХ ВІД ТВАРИН, ЯКІ ЗАЗНАЛИ ВПЛИВУ ІНКОРПОРОВАНОГО ^{131}I

**Є. М. Прохорова¹, О. Я. Плескач¹, Н. П. Атаманюк¹,
І. П. Дрозд², А. І. Липська², В. В. Талько¹**

¹ Державна установа «Національний науковий центр
радіаційної медицини НАМН України», Київ, Україна

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

У дітей, народжених від батьків, які постраждали внаслідок аварії на ЧАЕС, наявність структурно-функціональних зрушень в щитоподібній залозі може бути початковими проявами патологічних процесів з можливою транс-

формацією до маніфестації патології щитоподібної залози та соматостатевого розвитку у майбутньому. В них визначають девіації темпів статевого розвитку, що є проявом порушення гіпоталамічної регуляції гонадотропної функції гіпофіза, зокрема, порушення фізіологічного співвідношення між лютеїнізуючим та фолікулоstimулюючим гормонами, особливо у осіб з проявами пубертатного диспитуїтаризму. Такі гормональні зміни призводять до розвитку порушень репродуктивної функції у майбутньому.

Мета роботи: дослідити функціональний стан гіпофізарно-гонадної системи у щурів двох поколінь, народжених від тварин, які зазнали впливу інкорпорованого ^{131}I .

Методи досліджень: кількісне визначення концентрації естрадіолу, тестостерону, лютеїнізуючого (ЛГ) та фолікулоstimулюючого (ФСГ) гормонів гіпофізу у сироватці крові конкурентним твердофазним імуноферментним методом з використанням тест-системи ХЕМА (РФ): «Естрадиол-ИФА», «Тестостерон-ИФА», «ЛГ-ИФА», «ФСГ-ИФА» з реєстрацією вимірювань на мікропланшетному рідері «LabLine 022».

Результати досліджень. На створеній експериментальної моделі, що передбачала отримання двох поколінь нащадків білих щурів від опромінених батьків внаслідок введення ^{131}I з активністю 27,35 КБк на тварину, за добу до спаровування, визначено у першому поколінні зниження концентрації вільного тестостерону у самців, народжених від обох опромінених батьків, у 1,5 раза та від опромінених самок у 1,4 раза. У самок, народжених від обох опромінених батьків, визначено підвищення концентрації тестостерону в 1,3 раза, у народжених від опромінених самок у 1,2 раза. Змін концентрації естрадіолу у самців зазначених груп не виявлено. У самців та самок першого покоління концентрація ФСГ була у межах значень контролю, а концентрація ЛГ у самців, народжених від обох опромінених батьків, виявилася достовірно зниженою відносно контролю у 1,5 раза, а у самок – у 1,4 раза. Співвідношення концентрації гормонів ЛГ/ФСГ було достовірно знижене у самців групи 2 в 1,4 раза, а у самців групи 3 – в 1,2 раза. У самок, народжених від обох опромінених батьків, цей показник також був нижче контролю у 1,2 раза. У нащадків другого покоління спостерігалось достовірне зниження концентрації тестостерону у самців, народжених від обох опромінених прабатьків, і від опромінених самок та інтактних самців, у 1,3 та 1,2 раза відповідно. Показники концентрації естрадіолу були у межах контрольних значень у тварин усіх дослідних груп, як у самців, так і у самок. Концентрація ФСГ у самців та самок також була у межах норми, а концентрація ЛГ у самців, народжених від обох опромінених батьків, знижена у 1,5 раза; співвідношення концентрації гормонів ЛГ/ФСГ у тварин цієї ж групи було знижене у 1,3 раза.

Таким чином, у тварин першого покоління, народжених від обох опромінених батьків та від опромінених самок й інтактних самців, визначені різноспрямовані зміни концентрації тестостерону – зниження у самців, підвищення у самок, та односпрямовані у самців і самок – зниження ЛГ та співвідношення ЛГ/ФСГ. У самців другого покоління потомства обох опромінених батьків

виявлені подібні зміни концентрації вільного тестостерону, ЛГ та співвідношення ЛГ/ФСГ.

Висновок. Визначені особливості функціонування системи ендокринної регуляції гіпоталамус – гіпофіз – гонади обумовлені структурно-функціональними порушеннями щитоподібної залози (основної мішені для ^{131}I), що відбулися безпосередньо під час її внутрішньоутробного розвитку, та опосередкованого впливу радіаційнообумовлених метаболічних змін на подальших етапах онтогенезу.

ЕФЕКТИ ВПЛИВУ ПЕРЕДПОСІВНОГО ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ НАСІННЯ НА ВМІСТ ФЕНОЛЬНИХ СПОЛУК ТА ФЛАВОНОЇДІВ У ЕКСТРАКТАХ ІЗ СИРОВИНИ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН

С. А. Пчеловська, С. В. Літвінов, Ю. В. Шиліна, В. В. Жук,
Л. В. Тонкаль, А. Г. Салівон, Д. О. Соколова

*Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України,
Київ, Україна*

Відомо, що відповідь рослин на стресові чинники опосередкована синтезом та накопиченням у їх тканинах біологічно активних сполук, зокрема, фенолів та флавоноїдів [1]. Виходячи з цього була продемонстрована можливість використання передпосівного рентгенівського опромінення насіння низки лікарських рослин дозами радіації з інтервалу 5 - 35 Гр з метою підвищення концентрації природних антиоксидантів – флавоноїдів у етанольних екстрактах з відповідної сировини [2]. З усіх тестованих рослин найкращими джерелами біофлавоноїдів виявилися звіробій звичайний та ромашка аптечна. Рослинні феноли також виконують захисні функції в стресуючих умовах. Тому нами було вивчено питання впливу передпосівного опромінення насіння лікарських рослин ромашки аптечної, звіробою звичайного, базиліку зеленого, наперстянки пурпурової на накопичення фенолів у їх лікарській сировині. Спектрофотометрично визначали концентрацію суми флавоноїдів та фенолів у водно-етанольних екстрактах з однакових наважок. Вимірювання проводили на основі методик з використанням хлориду алюмінію (сума флавоноїдів) і реактиву Фоліна-Чокольтеу (феноли).

Отримані дані свідчать, що накопичення та екстракція флавоноїдів і фенолів з сировини рослин, вирощених з опроміненого насіння, має видову та сортову специфіку. Так, радіаційно індуковані зміни вмісту фенолів та флавоноїдів скорельовані у випадку базиліку зеленого ($r = 0,58$) та сорту ромашки аптечної, отриманого з Лубенської дослідної станції лікарських рослин ($r = 0,65$). Натомість така кореляція не спостерігається для звіробою звичайного, наперстянки пурпурової та ромашки аптечної з насіння виробника «Насіння України» («Семена Украины»). Зростання вмісту фенолів в екстрактах відмічали при застосуванні доз передпосівного опромінення 10 Гр (напер-

стянка пурпурова), 15 Гр (наперстянка пурпурова; ромашка з насіння Лубенської дослідної станції лікарських рослин), 20 Гр (ромашка з насіння Лубенської дослідної станції лікарських рослин), 25 Гр (наперстянка пурпурова). Передпосівне опромінення насіння не впливало на концентрацію фенолів у екстрактах з сировини базилику зеленого та звіробою звичайного. Найбільший інтерес становлять дози, при яких одночасно зростає як вміст флавоноїдів, так і фенолів, або, принаймні, спостерігається зростання вмісту однієї з вказаних груп біологічно активних речовин без зниження вмісту іншої групи. Це дози 25 Гр для наперстянки пурпурової, 20 Гр для насіння ромашки аптечної з колекції Лубенської дослідної станції лікарських рослин, 10 Гр і 35 Гр для звіробою звичайного, 15 Гр для базилику зеленого. Оскільки підвищення синтезу флавонових сполук можна розглядати як маркер активації захисного вторинного метаболізму, то саме ці дози можуть бути використані для подальшого вивчення радіаційної стимуляції виходу фармацевтично цінних вторинних метаболітів лікарських рослин.

1. K. Kulbat The role of phenolic compounds in plant resistance. *Biotechnology and Food Sciences* 80(2) (2016) 97.
2. С.А. Пчеловська та ін. Патент на корисну модель № 129749 «Спосіб підвищення вмісту флавоноїдів у сировині лікарських рослин шляхом передпосівної радіаційної обробки насіння».

ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ КРОВІ РУДОЇ НОРИЦІ В ГРАДІЄНТІ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

**Н. К. Родіонова, А. І. Липська, Н. М. Рябченко, О. А. Сова,
О. О. Бурдо, В. А. Шитюк, В. І. Ніколаєв**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Аварія на Чорнобильській АЕС започаткувала актуальний напрямок радіобіологічних досліджень - віддалені наслідки хронічної дії іонізуючого випромінювання (ІВ) низької інтенсивності на біоту в природних умовах. У післяаварійні роки накопичено багато експериментальних даних щодо вмісту радіонуклідів техногенного походження в різних компонентах природних екосистем ЧАЕС, їх міграції по харчових ланцюгах, здатності накопичуватися в організмі. Проте і сьогодні немає чітких прогностичних оцінок щодо біологічних наслідків хронічного опромінення у тварин з природних популяцій. Для оцінки стану біоценозів якості тест-об'єктів в дослідженнях широко використовують індикаторні види мишоподібних гризунів, які постійно перебувають у найбільш радіаційно забруднених шарах екосистеми.

Радіобіологічні дослідження механізмів адаптації природних популяцій включають, насамперед, вивчення стану кровотворної системи, що є високочутливою до впливу будь-яких зовнішніх та внутрішніх факторів.

Мета роботи: дослідження гематологічних та цитогенетичних наслідків

аварії на ЧАЕС у мишоподібних гризунів, що мешкали на радіоактивному сліді аварійного викиду за різної потужності експозиційної дози γ -випромінювання.

Об'єктом дослідження була руда нориця (*Myodesglareolus*) – домінуючий вид у угрупованні дрібних гризунівзони відчуження ЧАЕС. В дослідженнях використовували гематологічні, цитогенетичні та γ - β -спектрометричні методи.

Потужність експозиційної дози γ -випромінювання в місцях перебування тварин змінювалась в широких межах (від 0,15 до 20,1 мкЗв/год), як і концентрація радіонуклідів в тілі тварин: ^{137}Cs $1,5 \div 601$ кБк/кг та ^{90}Sr $0,2 - 1016$ кБк/кг. Хронічна дія ІВ призводить до суттєвих порушень процесів проліферації та диференціювання в усіх ростках кровотворення дослідних тварин, найвиразніші зміни спостерігалив еритроїдному ростку кісткового мозку (КМ). Кількість мієлокаріоцитів змінювалась в діапазоні $3,0 \div 18,0 \cdot 10^6$ стегову кістку. У периферичній крові реєстрували зниження еритроцитів, нейтрофільних та еозинофільних гранулоцитів, тоді як кількість лімфоцитів, навпаки, була достовірно більшою, ніж у контрольній групі. Такі зміни в лімфоцитарній ланці імпактних тварин можна трактувати як прояв активації гуморальної та клітинної ланки імунітету. Істотні зміни виявлено у морфологічних параметрах (індексу маси) кровотворних органів тварин у порівнянні з контролем. Виявлено достовірне підвищення рівня поліхроматофільних еритроцитів КМз мікроядрами (у 1,7 - 4,5 раза), індексу цитотоксичності (у 2 - 3 рази) на фоні незначного зниження кількості апоптичних клітин, що є несприятливою прогностичною ознакою розвитку стохастичних віддалених наслідків опромінення.

Таким чином, встановлено лабільність показників системи крові, яка залежала від рівня дозового навантаження, а також репродуктивного стану тварин. Радіогенні зміни в системі кровотворення хронічно опромінених тварин, ймовірно, обумовлені як безпосереднім опроміненням інкорпорованими радіонуклідами (^{137}Cs і ^{90}Sr + ^{90}Y) кровотворних органів, так і передачею патологічних змін, що формувались у ряді поколінь протягом пренатального та постнатального онтогенезу.

ГЕНОТОКСИЧНІ ЕФЕКТИ ІНКОРПОРОВАНОГО ^{131}I У ЛАБОРАТОРНИХ ЩУРІВ ТА ЇХНЬОГО ПОТОМСТВА

Н. М. Рябченко, А. І. Липська, О. Б. Ганжа

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Аварійні викиди ізотопів йоду, позаштатні ситуації на об'єктах ядерної енергетики, а також широке застосування радіофармацевтичних препаратів в ядерній медицині зумовлюють актуальність сучасних досліджень біологічних ефектів ^{131}I . Зокрема генотоксичної дії, пов'язаною з ризиком формування радіогенних стохастичних (злоякісних) патологій, нестабільності геному та її передачі наступним поколінням.

Метою роботи було оцінити ступінь дестабілізації хромосомного апарата клітин кісткового мозку (КМ) та цитотоксичні ефекти інкорпорованого ^{131}I за його надходження в різних режимах (одноразове, тривале) до організму лабораторних щурів та у їхнього потомства першого покоління (F1).

Матеріали і методи. Лабораторним щурам вводили розчин натрію йодиду одноразово та протягом 15 діб з активністю 27,35 к Бк. Цитогенетичні ушкодження клітин КМ щурів визначали на 1, 2, 3, 7, 15 та 24 доби експерименту за частотою поліхроматофілних еритроцитів (ПХЕ) із мікроядрами (МЯ) методом протокової цитометрії. Процеси диференціації та проліферації клітин еритроїдного ростка оцінювали за допомогою індексу цитотоксичності (співвідношення числа ПХЕ та нормохромних еритроцитів (НХЕ) в КМ). Методом протокової цитометрії визначали фракцію гіподиплоїдних клітин КМ, що репрезентують субпопуляцію каріоцитів на пізніх стадіях апоптозу.

Цитогенетичні маркери в клітинах КМ визначали у потомків першого покоління (F1), народжених від щурів, опромінених ^{131}I в різних комбінаціях: 1) інтактних самця і самки (контроль); 2) інтактною самки та опроміненого самця; 3) інтактного самця та опроміненої самки; 4) опромінених самця і самки.

Результати. Виконано порівняльний аналіз генотоксичних ефектів в КМ після тривалого та одноразового введення ^{131}I лабораторним щурам. За умов тривалого введення рівень цитогенетичних маркерів був вірогідно вищим в усі терміни спостереження з максимумом на 1 - 3-тю добу експерименту. Рівень апоптичних клітин поступово збільшувався і на 3 добу досліду перевищував контрольні значення у 3,4 рази. Цитотоксичні ефекти ^{131}I формувались у більш віддалені терміни на фоні зміни мієлоїдно-еритроїдного співвідношення (за рахунок істотного пригнічення еритропоезу) та лейкоцитозу периферичної крові.

Після одноразового введення радію в ранні терміни (1 - 3 доба) спостерігалось вірогідне підвищення рівня ПХЕ з МЯ в КМ щурів, який знижувався до показників контролю на 7 добу спостережень. За введеної активності радіоізотопу в усі терміни досліду не спостерігали підвищення рівня апоптичних клітин в КМ та змін проліферативної активності клітин еритроїдного ряду.

Трансгенераційна передача нестабільності геному у потомків опромінених щурів проявлялась у підвищеному рівні ПХЕ з МЯ, виявленого у групах тварин, де опромінення зазнали самці та самки та лише самці. Можна припустити, що відносно висока радіаційна чутливість генеративних структур сім'яників за критерієм індукції хромосомних перебудов є однією з основних причин формування нестабільності геному у потомства, народженого від інтактною матері та опроміненого батька.

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ МЕДИЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ ЗАХВОРЮВАНЬ, ЩО ПРИЗВЕЛИ ДО ВТРАТИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТА СМЕРТІ ВНАСЛІДОК ВПЛИВУ ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ В УМОВАХ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ (ВІДДАЛЕНИЙ ПІСЛЯВАРІЙНИЙ ПЕРІОД)

**В. О. Сущко, О. О. Колосинська, О. М. Татаренко,
Г. А. Незговорова, Ж. М. Берестяна**

*Державна Установа «Національний науковий центр
радіаційної медицини НАМН України», Київ, Україна*

Передумови. Чорнобильська катастрофа (ЧК) призвела до радіаційного опромінення великої кількості людей. Серед них – персонал Чорнобильської АЕС (ЧАЕС) та працівники супровідних організацій, спеціалісти з питань ядерної безпеки, учасники робіт з ліквідації наслідків аварії різних спеціальностей, у тому числі військовослужбовці, мешканці міста Прип'ять та 30-км зона відчуження ЧАЕС (включаючи дітей), які були евакуйовані в перші дні після аварії та населення радіоактивних забруднених територій. Втрата здоров'я та працездатності, а також випадки смерті внаслідок впливу радіаційного опромінення в умовах ЧКТ при виконанні професійних, військових або службових обов'язків та / або проживанні на радіоактивно забруднених територіях, отримуючи додаткову дозу опромінення не з власної провини, вимагають розробки спеціальної форми медичної експертизи як частини системи медичного соціального захисту для цих контингентів.

Метою дослідження було проаналізувати стан медичної та соціальної експертизи для встановлення зв'язку захворювань, що призводять до інвалідності та смерті з впливом наслідків аварії на ЧАЕС для дорослого населення, та визначити основні напрямки удосконалення цієї системи.

Матеріал і методи. Проведений аналіз стану медичної експертизи зв'язку захворювань, інвалідності та причин смерті постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС у віддаленому післяаварійному періоді впродовж 2013 – 2017 рр. (26142 медичні експертні справи).

Результати та висновки. Визначено, що загальна кількість постраждалого населення за період 2007 - 2018 рр. скоротилася на 26,05 % або на 657 988 осіб. Має місце стрімке зростання кількості постраждалих категорії 1 – з 40106 у 1995 р. до 107115 у 2018 р. Впродовж 2013 - 2017 рр. встановлена висока частота розгляду медичних експертних справ щодо випадків раку (51,49 %) та смертей (34,99 %). Первинна медична експертиза у 35,12 % випадків була проведена для учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС (категорії 2А, 3А) та у 41,99 % випадків для потерпілих, які проживають у зоні підвищеного радіологічного контролю (категорія 4 В). При первинній медичній експертизі частота розгляду випадків смерті для учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС категорії 2А становила 30,65 %, категорія 3А – 15,97 %, категорія 4В – 23,75 % випадків. Частка медичної експертизи випадків смерті була найвищою для

1 категорії – 79,14 % випадків. Визначені невирішені питання проведення експертизи зв'язку захворювань деяких категорій постраждалих (рак щитовидної залози у осіб, які втратили статус потерпілих після досягнення повноліття, визначення чинності статусу постраждалого категорії 4В), що вимагає змін та доповнень до законодавчої бази.

1. Тридцять років Чорнобильської катастрофи: радіологічні та медичні наслідки: Національна доповідь України (К., 2016) 177 с.
2. Наказ МОЗ СРСР № 731 від 28 вересня 1988 року «Про організацію Центральної Міжвідомчої експертної Ради по встановленню причинного зв'язку захворювань і інвалідності з роботами по ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС та їх професійного характеру».
3. Закон України «Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи» від 01 квітня 1991 року зі змінами і доповненнями.
4. Постанова Кабінету Міністрів України від 23 листопада 2011 № 1210 «Про підвищення рівня соціального захисту громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи».
5. Наказ МОЗ та МНС України № N 789,1248 від 10.10.2012 «Про внесення змін до наказу МОЗ України та МНС України від 30 травня 1997 року № 166/129».
6. Наказ МОЗ України № 441 від 14.06.2012 «Про внесення змін до наказу МОЗ України від 17 травня 1997 року № 150».
7. Health effects of the Chornobyl accident – thirty years aftermath. Eds. D. Bazyka et al. (Kyiv: DIA, 2016) 524 p.

“SITE MASTER FILE” ВИРОБНИЦТВА РАДІОФАРМПРЕПАРАТІВ ¹³¹I ТА ^{99m}Tc

В. В. Тришин¹, О. О. Одінцов^{1,2}

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Київ, Україна

Одна з вимог Good Manufacturing Practice (GMP) у виробництві радіофармпрепаратів, це розроблення Site Master File (SMF). SMF – окремий документ, який включає такі розділи: загальна інформація; система якості; дані про персонал; технологічні приміщення та устаткування; документація; виробництво; контроль якості; реалізація і повернення продукції; внутрішня інспекція. Організація виробництва радіофармпрепаратів натрію йодиду (¹³¹I) та натрію пертехнетату (^{99m}Tc) в Інституті ядерних досліджень НАН України представлена в першій редакції Site Master File. В лабораторії радіонуклідів та радіофармпрепаратів (ЛРП) Центру екологічних проблем атомної енергетики ІЯД НАН України розроблені технології виділення ¹³¹I та ^{99m}Tc з телуру і молібдену, опромінених нейтронами на реакторі ВВР-М. Виробничі примі-

шення ЛРР мають загальну площу 675 м² і включають: радіохімічну лабораторію, гамма-спектрометричну та хіміко-аналітичні лабораторії, мікробіологічну лабораторію, сховище радіоактивних матеріалів, приміщення для пакування готової продукції. Лінія «гарячих» камер виробництва радіофармпрепаратів натрію йодиду (¹³¹I) і натрію пертехнетату (^{99m}Tc) знаходиться в окремій зоні на першому поверсі будівлі. Все обладнання розроблено та виготовлено згідно з вимогами GMP. Ті вузли, де можливий контакт з продуктом, виготовлені з нержавіючої сталі. Основне устаткування включає спектрометричні установки, аналітичні прилади та апарати для підготовки реагентів і очищення води, всього більше 25 найменувань.

У рамках організаційної структури лабораторії є дві функціональні групи співробітників (група з виробництва РФП та група з контролю якості) не підпорядковані одна одній. Керівникам груп надані повноваження на прийняття рішень, що відповідають їх правам і обов'язкам, за які вони несуть відповідальність. Керівник виробництва додатково виконує функції та обов'язки Уповноваженої особи, яка несе відповідальність за випуск серії РФП.

Перевірка якості радіофармпрепаратів натрію йодиду (¹³¹I) і натрію пертехнетату (^{99m}Tc): визначення радіонуклідної ідентичності; радіохімічної чистоти; хімічної чистоти; стерильність, перевірка якості продукції – буде проводитися відповідно до “Quality Control in the Production of Radiopharmaceuticals” IAEA TECDOC-1856.

Внутрішня інспекція контролю якості охоплює всі операції в лабораторії та за її межами, які можуть мати вплив на якість продукту, виконання вимог та умов виробництва, юридичних норм та правил. Інспекційні заходи передбачаються у Настанові з якості та стосуються персоналу, устаткування, документації, виробництва, перевірки якості, розподілу продукції, вимог та відстежування відкликаних, постачальників матеріалів та обладнання.

INVESTIGATION OF THE INTERACTION OF MICROMITISTS WITH FUEL PARTICLES

**T. I. Tugay^{1,2}, V. O. Zheltonozhsky³, M. V. Zheltonozhskaya³,
A. V. Tugay^{1,2}, L. V. Sadovnikov³**

¹ Open International University of Human Development "Ukraine", Kyiv, Ukraine

² D. K. Zabolotniy Institute of Microbiology and Virology,
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

³ Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

Experiments were carried out with *Cladosporium cladosporium* 4061, *Penicillium hirsutum*, *Hormoconis resinae* 61 and *Cladosporium cladosporioides* 4 micromycetes strains and two fuel particles in which a significant activity of ²⁴¹Am and plutonium isotopes was present. For the first time it was discovered that the aforementioned strains of micromycetes transfer ²⁴¹Am and isotopes of Pu from

bound solid-fuel particles into biologically accessible forms.

The accumulation of ^{241}Am in all strains is essential higher than the accumulation of ^{137}Cs and in the *C. cladosporium* strains, the accumulation of Am and Pu is an order of magnitude higher than the accumulation of ^{137}Cs . The activity of ^{241}Am and Pu isotopes in *C. cladosporioides* micronutrients is two orders of magnitude higher than their activity in the culture medium, and remains comparable to other strains. In the analysis of β -spectra, no significant accumulation of ^{90}Sr was detected in the mycelium of the studied micromycetes strains nor in their cultural medium.

The accumulated activity of ^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{241}Am and Pu isotopes per g biomass and the coefficients of transition of radionuclides in the "hot" particle – micromycetes system were calculated.

The obtained results indicate the presence of radiotropism for all studied micromycetes strains. However, for strains of micromycetes *C. cladosporioides* processes occur on an orderly basis more effectively. Mycelium, in which the bulk of digested ^{241}Am is found and the Pu isotopes become biologically available for the further inclusion of ^{241}Am and the isotopes of Pu in a chain of soil, a plant.

ЗМІНИ У ПРООКСИДАНТНІЙ ТА АНТИОКСИДАНТНІЙ СИСТЕМАХ ПОСТРАДІАЦІЙНИХ ГЕНЕРАЦІЙ *CLADOSPORIUM CLADOSPORIOIDES* ЗА РОСТУ НА РІЗНИХ ЗА ВМІСТОМ ДЖЕРЕЛ ВУГЛЕЦЮ СЕРЕДОВИЩАХ

**А. В. Тугай^{1,2}, Т. І. Тугай^{1,2}, В. О. Желтоножський³, М. В. Желтоножська³,
Л. В. Садовніков³, Л. Б. Зелена^{1,2}, Н. М.Сергійчук², О. Б. Поліщук⁴**

¹ Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України,
Київ, Україна

² Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»,
Київ, Україна

³ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

⁴ Національний технічний університет «КПІ», Київ, Україна

Мікобіота є постійною і активною компонентою біогеоценозу та виконує функції регулятора переміщення радіонуклідів, зокрема, у лісових біогеоценозах. Для мікроміцетів притаманна швидка зміна генерацій, що робить їх зручною моделлю для вивчення дії хронічного опромінення у низці генерацій, встановлення прямих та віддалених ефектів хронічного іонізуючого опромінення у часі.

Метою роботи було охарактеризувати дію хронічного опромінення на окисно-відновний гомеостаз пострадіаційних генерацій ґрунтових мікроміцетів *Cladosporium cladosporioides* у модельних умовах.

Для проведення досліджень максимально наближених до природних умов було розроблено комбінований лабораторно–польовий підхід.

Було проведено вивчення функціонування про- та антиоксидантної систем

у пострадіаційних генерацій штаму *Cladosporium cladosporioides*, виділеного з фонових територій та не проявляючого радіоадаптивних властивостей та штаму, виділеного з території Зони відчуження, що проявляв радіоадаптивні властивості за умов росту на різних, за вмістом джерела вуглецю, середовищах.

За умов росту на середовищі з лімітованим вмістом джерела вуглецю встановлено, що у пострадіаційних генерацій контрольного штаму *C. cladosporioides* суттєво (у кілька разів) підвищувався рівень малонового діальдегіду, а рівень дієнових кон'югатів у першій та третій генераціях був нижче, ніж у неопромінених генерацій. При цьому виявлено зменшення активності СОД у всіх досліджених генераціях, і каталазної активності у першій генерації. У пострадіаційних генерацій штаму з радіоадаптивними властивостями виявлено збільшення вмісту дієнових кон'югатів у другій генерації та малонового діальдегіду у трьох пострадіаційних генераціях. Таке збільшення супроводжувалось і суттєвим підвищенням СОД активності у всіх трьох досліджених генераціях, і збільшенням каталізної активності у першій та другій генераціях.

За умов росту на «багатому» (20 г/л) за джерелом вуглецю середовищі було виявлено, що вміст дієнових кон'югатів у трьох генераціях контрольного штаму змінюється більш виражено, тоді як у пострадіаційних генерацій *C. cladosporioides* 4 показано відносно стабільні значення вмісту дієнових кон'югатів.

У кожній наступній генерації штаму *C. cladosporioides* 4061 вміст МДА зменшувався майже в 3 рази, тоді як пострадіаційних генераціях штаму *C. cladosporioides* 4 з радіо адаптивними властивостями виявлені різноспрямовані коливання вмісту МДА – суттєве збільшення у другій і зменшення у третій генераціях.

Зазначимо, що у пострадіаційних генерацій штаму *C. cladosporioides* 4 з радіоадаптивними властивостями виявлена кореляція активності про- і антиоксидантної системи, тоді як у контрольного штаму такої залежності не виявлено, спостерігали суттєве зменшення активності СОД і каталази у другій генерації і підвищення у третій.

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНОМНОЇ МІНЛИВОСТІ ШТАМІВ *CLADOSPORIUM CLADOSPORIODES* ЗА ВПЛИВУ НИЗЬКОДОЗОВОГО ХРОНІЧНОГО ОПРОМІНЕННЯ

**Т. І. Тугай^{1,2}, А. В. Тугай^{1,2}, Л. Б. Зелена^{1,2}, В. О. Желтоножський³,
М. В. Желтоножська³, Л. В. Садовніков³, Н. М.Сергійчук², О. Б. Поліщук⁴**

¹ Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України,
Київ, Україна

² Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»,
Київ, Україна

³ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

⁴ Національний технічний університет «КПІ», Київ, Україна

Встановлено, що за дії хронічного опромінення у ряду штамів мікроміцетів, виділених з зони відчуження, сформувались нові радіоадаптивні властивості – радіотропізм та стимуляція ростових процесів за дії великих доз опромінення. У таких штамів виявлено зміни в функціонуванні як антиоксидантної так і прооксидантної систем, механізми яких мало досліджені.

Адаптація мікроорганізмів до функціонування в умовах постійної дії стресових чинників може відбуватись шляхом постійних або тимчасових змін у геномі, зростанням плинності мембран та подальшою зміною метаболічної активності клітини.

Формування поліморфних локусів і, як наслідок, репрограмування транскриптомної матриці організму, відбувається у результаті мінливості структури ДНК, зумовленої дією хронічного опромінення.

Відмічено, що *Cladosporium cladosporioides* є одним з превалюючих представників мікроскопічних грибів, що колонізували ядерний реактор на забрудненій території ЧАЕС. Він характеризується підвищеним вмістом меланінових пігментів, зміною активності ферментів антиоксидантної системи та проявляє ознаки направленого радіотропізму. Прояв таких властивостей може бути пов'язаний зі змінами генетичного матеріалу, а також зумовлений змінами в регуляції активності ряду генів.

З метою дослідження геномної мінливості контрольного штаму та штаму з радіоадаптивними властивостями мікроскопічного гриба *Cladosporium cladosporioides* у представленій роботі проведено генетичний аналіз з використанням ПЛР та праймеру до мікросателітного повтору 5'-GAGGGTGGCGGTTCT-3'. Результати проведеного аналізу виявили ампліфікацію п'яти низькомолекулярних ділянок ДНК варіабельної довжини. Однак відмінностей між спектрами ампліконів контрольного штаму та штаму з радіоадаптивними властивостями не спостерігали. Отримані дані можуть свідчити на користь епігенетичного механізму адаптації до опромінення.

ПАТОЛОГІЯ СІТЧАСТОЇ ОБОЛОНКИ ОКА У ВІДДАЛЕНОМУ ПЕРІОДІ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ – ПИТАННЯ ЕКСПЕРТИЗИ І ЛІКУВАННЯ

**П. А. Федірко¹, Т. Ф. Бабенко¹, О. О. Колосинська,
Р. Ю. Дорічевська¹, Н. А. Гарькава²**

¹ Інститут радіаційної гігієни і епідеміології
ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України»,
Київ, Україна

² Державний заклад «Дніпропетровська медична академія МОЗ України»,
Дніпро, Україна

Реалізація віддалених ефектів впливу іонізуючого випромінювання на тлі збільшення віку потерпілих внаслідок Чорнобильської катастрофи значно

ускладнює експертизу зв'язку захворюваності і інвалідності з дією радіаційних факторів Чорнобильської катастрофи. Поява патологічних зміни судин ока, надзвичайно поширених серед учасників аварійних робіт і мешканців радіаційно забруднених територій, в значній мірі передусь розитковій системної патології кровообігу, тому їх вивчення надзвичайно важливе для експертизи стану здоров'я у потерпілих внаслідок радіаційних катастроф. Водночас порушення гемомікроциркуляції в тканинах ока – важливий чинник розвитку вікової макулярної дегенерації і інших дистрофічних станів сітківки.

Матеріали і методи. Проведено обстеження 287 осіб, опромінених внаслідок Чорнобильської катастрофи. Обстеження включало всі основні сучасні методи дослідження (візометрію, тонометрію, периметрію, рефрактометрію, фотографування на фундус-камері в стандартних умовах). Стан мікроциркуляції вивчався шляхом біомікроскопії судин бульбарної кон'юнктиви. Оцінювали калібр мікросудин, їх хід, звивистість, артеріально-енозне співвідношення, кількість функціонуючих капілярів, розміри безсудинних ділянок, швидкість і характер кровоплину, ступінь прозорості фону, наявність венозних сакуляцій, мікроаневризм, периваскулярного набряку, геморагій, складж-феномену.

Результати дослідження. В обстеженій групі діагноз ангіопатії сітківки був найбільш поширеною патологією – його встановлено в 100 % випадків, а подальші патологічні зміни судинного річища, характерні для ангісклерозу сітківки, виявлені у 13,24 % з цих пацієнтів. Значним був ступінь мікроциркуляторних порушень в кон'юнктиві. Паралельно зі змінами судин сітківки, судинні мікроциркуляторні зміни спостерігались в усіх пацієнтів, вони проявлялися підвищеною звивистістю венул, судинними петлями, нерівномірністю калібру. У більшості хворих спостерігались зміни артеріол. Виявлялися також уповільнення кровоплину по венулах і капілярах, агрегації еритроцитів, складж-феномен у венулах, а в багатьох випадках і в капілярах. Кореляційний аналіз засвідчив наявність зв'язку між змінами судин сітківки, порушеннями мікроциркуляції і розвитком системної патології кровообігу, тому оцінка стану судин сітчастої оболонки, стану мікроциркуляції важлива для експертизи стану здоров'я у осіб, що зазнали впливу іонізуючого випромінювання.

На тлі значного порушення гемомікроциркуляції також часто зустрічалась дистрофічна патологія сітчастої оболонки. Поширеність вікової макулярної дегенерації становила 42,51 %, дегенеративні зміни сітківки за межами макулярної зони виявлено у 6,9 % оглянутих. Значна поширеність вікової макулярної дегенерації на тлі гемомікроциркуляторних порушень обумовила необхідність корекції раніше розроблених схем лікування; пацієнтам (при відсутності макулярного набряку) призначали курс лікування: лютеїн, зеаксантин, і вітаміну D, антиоксидант ресвератрол, про потреби – ноотропні препарати.

Таким чином, патологія судин сітківки у віддаленому періоді після радіаційного впливу виявилась найбільш поширеною патологією ока. Вивчення стану судин сітківки, мікроциркуляції важлива для експертизи стану здоров'я у осіб, що зазнали впливу іонізуючого випромінювання.

ПІДВИЩЕНІ РІВНІ АНТИФОСФАТИДИЛСЕРИНОВИХ АНТИТІЛ ЯК НАСЛІДОК ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ

А. В. Чернишов

*Державна установа «Національний науковий центр
радіаційної медицини Національної академії медичних наук України»,
Київ, Україна*

Нещодавно були відкриті антифосфоліпідні антитіла (АФЛА)– антитіла проти фосфоліпідів власного організму, які, якщо перебувають у організмі у високих титрах, призводять до патологічних станів, зокрема – в акушерській практиці – до викиднів, а у клініці внутрішніх хвороб – до стану, що його названо антифосфоліпідний синдром – АФС, який проявляється підвищеною згортасністю крові і, внаслідок цього, артеріальними та венозними тромбозами з відповідними наслідками (інсульты, інфаркти, флебіти). Ми у попередніх дослідженнях виявили АФЛА в учасників ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській атомній електростанції у віддалений після опромінення період, і у ряді випадків клініко-лабораторні дані могли свідчити про наявність у даних пацієнтів АФС. При вивченні дозозалежності рівнів антифосфатидилсеринових антитіл (АФСА) у сироватці крові опромінених щурів було відмічене підвищення рівня АФСА з ростом дози іонізуючого опромінення. При аналізі рівнів АФСА у опромінених щурів було виявлено вірогідне підвищення рівнів АФСА у щурів, які були опромінені у дозах 0,5; 1; 2 Гр. Таким чином опромінення підвищує рівень АФСА. У учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС, у яких спостерігалася гостра променева хвороба, підвищеними були титри як антикардіоліпінових антитіл, так і АФСА в 32 % випадків. У опромінених щурів – тільки АФСА. Тому перспективним може бути аналіз, чи справді у тих учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС, що мали гостру променеву хворобу в анамнезі підвищеними були як антикардіоліпінові антитіла, так і АФСА антитіла, а у тих, у котрих опромінення не сягало порогу виникнення гострої променевої хвороби – тільки АФСА.

РЕКОНСТРУКЦІЯ ПОГЛИНЕНОЇ ДОЗИ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЗАНУРЕНИХ ВОДНИХ РОСЛИН У ВОДОЙМАХ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

В. В. Беляєв, О. М. Волкова, Д. І. Гудков

Інститут гідробіології НАН України, Київ, Україна

Дослідження залежності прояву радіаційно-індукованих ефектів від величини поглиненої дози іонізуючого опромінення є одним з фундаментальних завдань радіобіології. При цьому, за браком даних впливу опромінення на біоту в природних умовах, основні положення радіаційного захисту довкілля продовжують базуватись на результатах гострих або нетривалих лаборатор-

них досліджень. У той же час упродовж останнього десятиліття, накопичилась значна кількість робіт, які свідчать про високу ефективність хронічного опромінення для живих організмів. Зокрема у вищих водних рослин (ВВР) водойм Чорнобильської зони відчуження спостерігаються значні цитогенетичні та соматичні порушення при відносно незначних сучасних рівнях потужності поглиненої дози. Занурені ВВР відтворюються переважно вегетативним способом і в меншій мірі – за допомогою насіння, і отримані з 1986 р. певні генетичні пошкодження можуть мати латентний характер, накопичуючись в рослинних популяціях. Таким чином ефекти, що спостерігаються в даний час, скоріш за все, обумовлені опроміненням упродовж всього післяаварійного періоду. Тому метою роботи було реконструювати величини потужності поглиненої дози для занурених рослин полігонних водойм ближньої зони аварії на ЧАЕС у вегетаційний сезон 1986 р.

В якості полігонних водойм були обрані озера Глибоке та Далеке, розташовані на лівобережній заплаві р. Прип'ять у кількох кілометрах від ЧАЕС на аномально забруднених територіях. За щільністю забруднення донних відкладів ^{137}Cs була розрахована щільність первинних випадінь на дзеркало водойм інших радіонуклідів. Було прийнято, що спектр випадінь відповідає складу опроміненого ядерного пального 4-го блока. Вважали, що вміст окремого радіонукліда у занурених ВВР набагато менший, ніж в абіотичних компонентах водойм, тому динаміку радіонуклідів моделювали 2-ма підмоделями: «водні маси – донні відклади» та «водні маси – занурені ВВР». Було прийнято, що радіонукліди з водних мас мігрують до донних відкладів. Параметри перерозподілу ^{90}Sr і ^{137}Cs між водними масами та донними відкладами були визначені в натурних дослідженнях, інших радіонуклідів – обрані за особливостями поведінки у водних екосистемах. Водні маси уявляли, як 2 камери, пов'язані рівнянням балансу, а занурені ВВР – як одну камеру, що обмінюється радіонуклідом з водними масами. Добове надходження радіонукліда до рослини розраховували за рівноважними коефіцієнтами накопичення, швидкість виведення – за літературними даними щодо накопичення та виведення радіонуклідів. Протягом вегетаційного сезону враховували зміну фітомаси у водоймі. Перехідні коефіцієнти від питомої активності рослин або водних мас до потужності поглиненої дози розраховували з урахуванням лінійних розмірів рослин та пробігу бета-частинок у водному середовищі для кожного радіонукліда. Розрахунки проводили для радіонуклідів Чорнобильського викиду (крім радіоактивних благородних газів) з періодом напіврозпаду більшим за 2 доби. Вважали, що до водних мас надійшла третина ^{131}I відносно спектра викиду. Прийнято, що для кожного радіонукліда 90% випадінь відбулося 28 травня, 10 % – 1 травня (за 100 % прийнята активність на 26 травня 1986 р., для короткоіснуючих радіонуклідів проводили перерахунок).

Встановлено, що у занурених ВВР максимальну потужність поглиненої дози – до 0,17 Гр/доба, спостерігали приблизно через місяць після аварії. За вегетаційний сезон 1986 р. поглинена доза випромінювання занурених ВВР з

оз. Глибоке досягала 10 Гр, оз. Далеке – 5,5 Гр. Приблизно на 75 % дозове навантаження занурених рослин було сформоване випромінюванням ^{144}Ce та $^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$. У 1986 р. внесок ^{90}Sr у формування дози занурених рослин становив 0,84 %, ^{137}Cs – 0,45 %.

ФОТОАКТИВАЦИОННЫЙ МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ ^{10}Be

**Д. М. Бондарьков, В. А. Желтоножский,
Н. В. Кулич, Д. Е. Мызников, В. И. Слисенко**

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

^{10}Be один из радиологически опасных радионуклидов в конструкционных материалах АЭС. ^{10}Be распадается бета-распадом без γ -квантов с $T_{1/2} = 1,6 \cdot 10^6$ лет. Существующие методы регистрации ^{10}Be и дорогостоящи, и требуют специального оборудования. Решения этой задачи может быть найдено, используя фотоядерные реакции на ядрах бериллия и бора. Основные каналы образования ^{10}Be это (п, γ)-реакция на бериллии с $\sigma(\text{п}, \gamma) = 7,6 \pm 0,8$ мбн и (п, р)-реакции на ^{10}Be с $\sigma(\text{п}, \text{р}) = 6,4 \pm 0,5$ мбн. Используя эти сечения и зная число атомов бора и бериллия, можно определить активность ^{10}Be .

Для определения количества ядер бериллия и бора предлагается использовать фотоядерные реакции, приводящие к образованию ^7Be , который распадается с испусканием γ 477 кэВ с $T_{1/2} = 53$ сут. Нами проведено облучение образцов бериллия, бора и конструкционных материалов. Показано, что при граничной энергии 55 МэВ выход ^7Be один и тот же для обоих элементов с погрешностью 5 %, а при граничной энергии 36 МэВ, выход ^7Be одинаков при облучении Be и ^{10}Be . Используя эти результаты, нами определены активности ^{10}Be для образцов из 2-го блока ЧАЭС.

Проводится обсуждения полученных результатов.

НАСЛІДКИ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ У ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС

О. А. Борсук, С. М. Обрізан

*Чернобыльский радиационно-экологический биосферный заповедник,
Чернобыль, Украина*

Пожегі на території зони відчуження, як і будь які інші надзвичайні ситуації природного походження, мають дві особливості. Перша – вони відбуваються в екосистемах які не знаходиться під жорстким управлінням людини. Друга особливість – їх наслідки можуть впливати на радіаційну ситуацію як в межах ЗВіЗБ(О)В так і на прилеглих територіях.

Передумовами виникнення пожеж на цій території є наявність критичних екосистем (соснові лісові масиви, перелоги, торфовища), велика кількість покинутих дерев'яних будівель, низька транспортна доступність.

Природна пожежна небезпека лісів визначається в першу чергу породним

складом, їх віком і типами лісорослинних умов. У лісах зони відчуження переважають хвойні насадження, які займають площу 89,9 тис. га (59,5 % від вкритих лісовою рослинністю земель). Висока частка хвойних порід зумовлює високу пожежну небезпеку території зони відчуження. Найбільш пожежонебезпечні молодняки становлять 17,3 %. Тип лісорослинних умов лежить в основі віднесення лісової ділянки до певного класу природної пожежної небезпеки. Переважаючими ТЛУ є свіжий бір, суббір та вологий субори, які сумарно займають 69,8 % площ лісів та відносяться до першого та другого класів природної пожежної небезпеки. Крім того, обмеженість лісгосподарських заходів та періодичні спалахи осередків шкідників і хвороб сприяють погіршенню санітарного стану лісів, накопиченню сухоостою і захаращеності, що підвищує ризик виникнення катастрофічних лісових пожеж.

Не зважаючи на заборону доступу населення у зону відчуження, постійну профілактику пожеж, вони регулярно виникають на перелогах, в лісах. За період з 1993 по 2018 рр. у зоні відчуження зафіксовано понад 1500 пожеж на площі близько 20,7 тис. га. За формування сприятливих погодних умов існує висока ймовірність виникнення великих пожеж. Більшість пожеж (58 % по кількості або 56 % по площі) відбуваються на перелогах. Кількість пожеж у лісових масивах становить 33 %, а їх площа 41 %, 8 % становлять пожежі у покинутих населених пунктах. Простежується поступове збільшення частки лісових пожеж і зменшення частки пожеж на перелогах в останні роки. Причинами цього можуть бути природне заліснення перелогів та утворення густих смуг із чагарників і листяних дерев вздовж доріг, створюючи бар'єр між джерелами вогню (автотранспорт і люди на дорогах) і сухим горючим матеріалом.

Пожежі в природних комплексах зони відчуження несуть в собі значну небезпеку, в першу чергу радіаційну. Під час пожеж частково або повністю вигоряє підстилка, яка є основним депо радіонуклідів. Під час верхових пожеж окрім лісової підстилки згоряє хвоя, листя, тонкі гілки та частково кора.

Як показують дослідження (Кашпаров та ін. 2015) та результати моніторингу ДСП «Екоцентр», на сьогодні у лісовій підстилці, деревній та чагарниковій рослинності знаходиться до половини активності ^{90}Sr та ^{137}Cs від загальних запасів на ландшафті. Що стосується ізотопів плутонію та америцію-241, їх частка не перевищує 1%. Під час пожеж радіонукліди надходять до атмосфери з продуктами горіння у вигляді парогазової фази, золи та сажі, часток та конгломератів згорілого матеріалу. Це приводить до підвищення об'ємної активності радіонуклідів у повітрі в осередку пожежі на кілька порядків. Надходження радіоактивних аерозолів зі стронцієм та трансурановими елементами мікронних і субмікронних розмірів створює ризики внутрішнього опромінення пожежників та іншого персоналу, задіяного у гасінні пожеж. Крім того, пожежі у зоні відчуження викликають резонанс серед населення прилеглих територій.

Внаслідок пожеж різко знижується бар'єрна функція лісів як депо радіонуклідів та втрачається екологічна функція лісу.

Наразі головним завданням у боротьбі з лісовими пожежами залишається їхнє вчасне виявлення і оперативна доставка сил і засобів пожежогасіння з метою мінімізації їхніх наслідків.

RADIOECOLOGY CHARACTERISTICS OF SMALL RODENTS LOCAL POPULATION FROM THE CHORNOBYL NUCLEAR POWER PLANT COOLING POND UNDER DECOMMISSION

**O. O. Burdo¹, A. I. Lypska¹, H. Ishiniwa², K. Nanba²,
D. O. Vishnevskiy³, V. A. Shityuk¹, V. I. Nikolaev¹**

¹ *Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

² *Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University,
Fukushima, Japan*

³ *Chornobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve, Kyiv, Ukraine*

In 2014 the decommission of Chornobyl Nuclear Power Plant Cooling Pond was started. As a result of the Cooling Pond water level has been declined the process of gradual transformation of the water ecosystem into the wetland is carried out. There is no analogy of the planned decommission of Cooling Pond with high-level of radionuclide contamination, so the radioecology and radiobiological support are primarily important. The areas of the Cooling pond's drained bed contain various physical-chemical forms of radionuclides in the bottom sediments including different sizes of fuel particles. In the process of the aquatic ecosystem transformation, these gradual destruction and leakage of radionuclides from the fuel matrix under the influence of natural and climatic conditions will occur, which can lead to the growth of mobile forms of radionuclides in drained areas and change their biological availability of "soil-plant-animal". The dewatering of the Chornobyl Nuclear Power Plant Cooling Pond leads to the formation of new phytocoenosis and habitat for many species of animals living in surrounding areas. That is why the important and hot topic of research in the Chornobyl Exclusion Zone territory is the implementation of biological monitoring of the influence of radio-ecological conditions on the sections of the Cooling pond bottom.

The aim of this research is to investigate the combined effect of Cooling Pond water descents with ionizing radiation on the species diversity of newly-formed natural populations of small mammals.

The species diversity of newly-formed local populations of mouse-like rodents inhabiting in the bottom of the Chornobyl Nuclear Power Cooling Pond was investigated. Small rodents were captured using Sherman live-traps in October 2018 on bank and bottom of the Cooling Pond. For each animal, the species, body weight, sex, reproductive status (testis size and mass, placental spots, embryos), age and morpho-physiological parameters were estimated. The abundance of every species and the content of the ¹³⁷Cs in the animal's body and ⁹⁰Sr in bones were measured.

The animals' age was 2 - 3 months.

Animals have been captured in three points. Point number 1 - Cooling Pond bank (51°21'38.58"N 30° 8'23.50"E, WGS84) has no changes from the Cooling Pond decommission. The ecosystem and floristic community were stable. Gamma exposure rate was 300-400 μ R/h. Rodents' abundance was 20 per 100 trap/days and 95% of animals belonged to the bank vole (*Myodes glareolus*) and 5 % to the Yellow-necked mouse (*Apodemus flavicollis*). Concentrations of ^{137}Cs in the whole body and of ^{90}Sr in the skeleton of the bank voles were 1,5 - 10,3 kBq/kg for ^{137}Cs and 17,3 - 64,5 kBq/kg for ^{90}Sr .

Point number 2 - (51°22'20.60"N 30° 8'26.94"E, WGS84) is located on the drying hot part of Cooling Pond's bottom. Gamma exposure rate was 100 - 200 μ R/h. Secondary ecological succession eventually began on the Cooling pond bottom - it means that the bottom has become overgrown with grass and bushes and Rodents began to migrate to a new ecotope. High abundance (about 42 animals per 100 trap/days) and biodiversity increasing (*Microtus spp*, *Apodemus agrarius*, *Sorex spp.*, *Microtus minitus*) are proved on these areas. Animals' migration to the Cooling pond's bottom from the surrounding areas are evidenced by adaptation of local population to the new living environment. Concentrations of ^{137}Cs in the whole body and of ^{90}Sr in the skeleton of the *Microtus spp.* were 2,7 - 12,1 kBq/kg for ^{137}Cs and 0,68 - 2,24 kBq/kg for ^{90}Sr , and *A. agrarius* showed 3,6 - 16,2 kBq/kg for ^{137}Cs and 0,11 - 0,63 kBq/kg for ^{90}Sr .

ЗАПОВІДАННЯ ЯК СПОСІБ УПРАВЛІННЯ РАДІАЦІЙНО ЗАБРУДНЕНИМИ ТЕРИТОРІЯМИ

Д. О. Вишневський

*Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник,
Чорнобиль, Україна*

Великі аварії на радіаційних об'єктах, за своїми масштабами, можна віднести до національного лиха. Вони призводять до економічних втрат, погіршенню здоров'я у великих груп населення, росту соціальної напруги. Найбільш важлива характеристика наслідків радіаційної аварії – їхня порівняно висока тривалість впливу. Перехід до нормального стану може займає роки та десятиріччя. Виникає необхідність проведення багаторічної політики управління особливим типом території – радіоактивно забрудненими землями. Цей процес управління має більш складний характер, ніж ліквідація аварії в межах промислової площадки АЕС. Він включає в себе велику кількість об'єктів та процесів навколишнього середовища: ландшафти, екосистеми, підземні та поверхневі води, приземний шар атмосфери, процеси переноси речовини в різних середовищах.

Однак головна проблема полягає не в виборі засобів та ресурсів, а виборі головних цілей управління. Радіаційно небезпечні землі, з точки зору управління, являють собою аномалію. На них діє ряд обмежень, котрі не дають

змогу використовувати ресурси території в повному обсязі. Більш того сама територія є джерелом забруднення. Зрозуміло бажання осіб, які приймають рішення, виправити цю ситуацію та повернути територію до більш-менш прийнятним форматам управління та землекористування. Однак такі рішення призводять тільки до неефективного витрачання ресурсів. Як показав досвід подолання наслідків аварії на ЧАЕС, великі площі природних та антропогенних ландшафтів неможливо очистити від радіоактивного забруднення та зняти обмеження з ним пов'язані. В перші роки після аварії пріоритетом були масштабні роботи по дезактивації об'єктів за допомогою інженерних методів. Дезактивація показала свою ефективність на локальному рівні в умовах техногенного середовища (промислова площадка ЧАЕС, м. Прип'ять, дороги та окремі споруди). Застосування цих методів на великих площах було економічно затратним та призводило до деградації ландшафту. Інший підхід - пошук технології отримання «чистої» продукції з території зони відчуження - виявився економічно збитковим.

Описаний вище процес за всіма ознаками є інституціональною пасткою – усталена норма (неефективний інститут), який має самопідтримується. Неефективним інститутом тут є формат використання території, котрий передбачає природокористування без обмежень. Пошук шляхів для подолання обмежень, які пов'язані з радіаційним фактором призведе до втрати ресурсів та часу.

Найбільш оптимальним варіантом землекористування, який не порушує режиму території та радіаційної безпеки є її використання для збереження та відновлення природних комплексів. Жорсткий режим охорони, відсутність населення та низька інтенсивність господарської діяльності фактично створюють заповідний режим.

Юридичний статус заповідників отримали території, які зазнали забруднення внаслідок радіаційних аварій – Східно-Уральський заповідник (1968 р., Росія) та Поліський державний радіаційно-екологічний заповідник (1988 р., Республіка Білорусь). На українській частині зони відчуження довгий час пріоритет в діяльності надавався заходам по виведенню з експлуатації ЧАЕС, поводженню з РАВ, спорудженню НБК. З початку 90-х років було запропоновано декілька варіантів розвитку мережі територій природно-заповідного фонду, однак ні один з них не був реалізований.

Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник створено Указом Президента України від 26 квітня 2016 р. № 174 «Про створення Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника». Загальна площа Заповідника становить 226964,7 га, на його території відповідно до природоохоронного законодавства будуть виділені такі функціональні зони: заповідна, буферна, регульованого заповідного режиму, антропогенних ландшафтів.

Флора заповідника складається з 1256 видів судинних рослин, 120 видів лишайників та 20 видів мохів. Із Європейського червоного списку зазначено три види рослин: глід український, смілка литовська, козельці українські. В Додаток 1 Конвенції про охорону дикої флори і фауни та природних середо-

вищ існування в Європі входять 5 видів; до Червоної книги України – 43 види; в Зелену книгу України входять 13 рослинних угруповань.

Дані про кількість видів, що мешкають у зоні відчуження, різні у різних авторів і становлять: ссавці – 58 - 70 видів; птахи – 200-300 видів; рептилії – 6 - 7 видів, амфібії – 11 - 12 видів; рибоподібні – до 60 видів. Інвентаризація безхребетних тварин не проводилась. До Червоного списку Міжнародного союзу охорони природи включено 14 видів. Із Європейського червоного списку зазначено 13 видів. 75 видів фауни, занесених до Червоної книги України.

Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник є унікальним природоохоронним і науковим об'єктом в Україні. Умови на території заповідника, що утворились після аварії на ЧАЕС внаслідок радіоактивного забруднення, різкого зниження антропогенної діяльності, призвели до відновлення природних процесів у екосистемах, тваринного і рослинного світу. Велика територія та ландшафтне різноманіття дає змогу підтримувати існування популяцій навіть великих хижаків (наприклад, ведмеда).

Слабкий регулюючий вплив людини на водні та наземні екосистеми призводить до активації природних механізмів і відновлення природної динаміки екосистем. У природних біоценозах гетерогенність середовища підтримується діяльністю видів середоперетворювачів та впливом екстремальних абіотичних факторів (пожежі, вітровали, повені тощо). Види середоперетворювачі (еdifікатори, ключові види або екосистемні інженери) характеризуються тим, що викликають найбільші перетворення в екотопі внаслідок своєї життєдіяльності. Основними видами середоперетворювачами на території Заповідника є бобер, лісові копитні, кабан, фітопатогени (комахи та гриби), дерева та мурахи.

Територія заповідника має великий природоохоронний потенціал, який буде розкриватися в процесі діяльності заповідника. Буде продовжуватися інвентаризація біологічного різноманіття, умов навколишнього середовища, створюватися плани управління окремими об'єктами та територіями.

Робота наукової частини Заповідника посилить концепцію зони відчуження як «лабораторії просто неба». Крім того, дасть змогу розширити спектр наукових досліджень з радіобіологічних та радіоекологічних до загальноекологічних.

ВИКОРИСТАННЯ ЯДЕРНО-КРИМІНАЛІСТИЧНИХ БАЗ ДАНИХ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОХОДЖЕННЯ ВИЛУЧЕНИХ ЗРАЗКІВ УРАНОВОГО КОНЦЕНТРАТУ (GALAXY SERPENT 3)

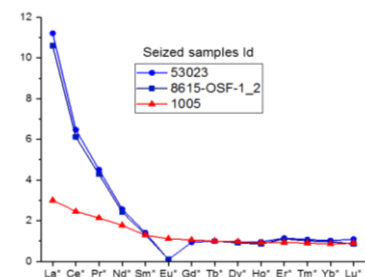
О. В. Гайдар, В. В. Тришин, В. К. Вітюк, Я. А. Деюн, Г. А. Прокопюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

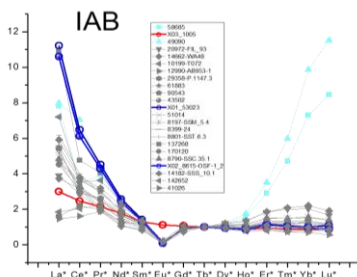
Протягом 2018 р. команда українських експертів, яка складалась з фахівців ЦЕП АЕ ІЯД НАН України, брала участь у міжнародному тренінгу “Galaxy Serpent 3”, який проводився при підтримці Міжнародної технічної

групи експертів з ядерної криміналістики (ITWG) і був спрямований на підтримку створення бібліотек ядерних та інших радіоактивних матеріалів (ЯРМ) та розвиток аналітичних методів визначення походження ЯРМ, вилучених з незаконного обігу.

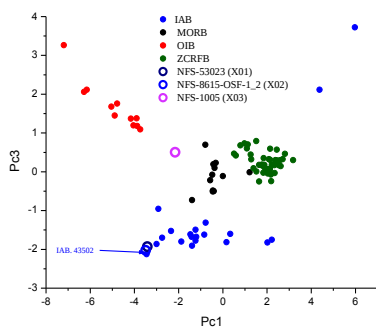
На першому етапі всім учасникам надавався модельний масив даних щодо елементного складу концентратів уранової руди з різних родовищ. Масив містив дані як щодо загально розповсюджених елементів, так і рідкісноземельних елементів. При цьому повнота даних (набір елементів) суттєво змінювалася від зразка до зразка. На цьому етапі було необхідно створити базу даних атрибутивних характеристик та визначитися з основними методами їхнього аналізу для знаходження атрибутивних характеристик, що характеризують їхнє походження. Для створення бази даних нами була використана СУБД MS ACCESS, а для аналізу даних використовувалось як ліцензійне програмне забезпечення так і відкриті програмні продукти.



a



б



в

Нормовані концентрації рідкісноземельних елементів для трьох вилучених зразків (*a*) та родовища IAB (*б*) та групування зразків з використанням методу принципів компонент (*в*).

На другому етапі була надавана інформація щодо елементного складу трьох вилучених з незаконного обігу зразків. На основі використання створеної бази даних та обраних методів аналізу даних потрібно було дати відповідь на ряд запитань, зокрема: чи відповідає урановий концентрат в кожному з контейнерів речовинам, виявленим в двох інших контейнерах та чи відповідає виявлений урановий концентрат матеріалу, характеристики якого наявні

у створеній базі даних.

При ідентифікації вилучених зразків нами було використано аналіз нормованих значень вмісту рідкісноземельних елементів, аналіз співвідношень між концентраціями окремих елементів, метод принципів компонент та ряд інших методів аналізу даних. На підставі отриманих результатів було зроблено висновок щодо спільного походження двох вилучених зразків з родовища ІАВ (рисунок). Щодо третього зразка, надані дані дають змогу припустити, що цей зразок є відмінним від двох інших і він не має аналогів у модельній базі даних.

Результати аналізу, проведеного українськими експертами, отримали позитивну оцінку організаторів, і були включені до підсумкового звіту, а членам команди була висловлена подяка від ITWG та Державного Департаменту США.

ОБ'ЄКТ «КЛІВАЖ» – РАДІОЕКОЛОГІЧНА ПРОБЛЕМА ДОНБАСУ

І. П. Дрозд¹, Є. О. Яковлєв²

¹Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

*²Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
НАН України, Київ, Україна*

У 1979 році на шахті «Юнком» (Донецька область, м. Юнокоммунарівськ, був вперше у світі в умовах густонаселеного й інтенсивно експлуатованого вуглевидобувного району здійснений промисловий підземний ядерний вибух (ПЯВ). Мета ПЯВ – оцінка його ефективності для зниження частоти раптових викидів вугілля і газу при відпрацьовуванні вугільних шарів. Умовне найменування ділянки геологічного середовища, що містить камеру ПЯВ і прилягаючу зону тріщинуватості – об'єкт «Кліваж». Вибух уранового заряду потужністю 300 т (0,3 кт) було здійснено на глибині 903 м між вугільними шарами «Дев'ятка» і «Кирпичівка», на відстані 45 і 31 м відповідно. Камера для розміщення ядерно-вибухового заряду була споруджена в похилій виробці, що була пройдена з горизонту 826 м по пісковиках. Місце вибухової камери в пісковиках було обрано з розрахунку утворення склоподібного водонерозчинного розплаву, який за оцінками здатний утримати до 95 % продуктів вибуху. Наразі шахта знаходиться на тимчасово окупованій території.

Радіоекологічне обстеження вибухової камери об'єкту «Кліваж» від 17.10.2001 р. дали змогу виявити такі особливості:

- наявність руйнівних деформацій вибухової камери і її заповнення водою (за даними зондуючої свердловини, яка розкрила камеру у вересні 1991 р.);
- радіус вибухової камери становить до 5,0 м; у ній міститься близько 100 т склоподібної розплавленої маси, де зосереджено до 95 % радіоактивних речовин;
- формування зони перем'ятих (повністю зруйнованих) порід, у межах

якої вони перетворені в піщані і щебеністі фракції, у радіусі до 8,0 м від центра вибуху;

- розвиток зони радіальних тріщин на відстані до 15 м від центра вибуху;
- залишків радіоактивного розплаву в зоні радіальної тріщинуватості не встановлено.

Оцінка залишкової радіоактивності станом на 2019 рік за наявними літературними даними про утворення продуктів ядерного вибуху [1], свідчить, що в камері, утвореній вибухом міститься $23,31 \pm 3,85 \text{ Кі } ^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ та $34,32 \pm 6,26 \text{ Кі } ^{137}\text{Cs} + ^{137\text{m}}\text{Ba}$.

Що стосується непрореагованого при вибуху збройного урану, то нам, на жаль, не вдалось знайти достовірних даних про початкову масу заряду та розрахункову ефективність вибуху, оскільки ці дані засекречені організацією-розробником (Арзамас-16). За нашою оцінкою (за непрямыми даними) мінімальна маса уранового заряду може бути близька до 1 кг, а прореагувало при вибуху близько 20 % від маси заряду. Решта збройного урану, очевидно, розсіяна в камері вибуху.

Найбільш рухливим з наявних у продуктах вибуху радіонуклідів за даних умов виявився ізоотоп ^{90}Sr . Рівень забруднення шахтних вод радіостронцієм за 1989 - 2001 рр. зріс з $4,0 \cdot 10^{-13} \text{ Кі/л}$ до $5,1 - 9,4 \cdot 10^{-13} \text{ Кі/л}$. Забруднення радостронцієм мулу шахтного ставка (кінцевого «депо» шахтних вод, що відкачуються з «Юнкому») станом на 2001 р. становить $0,58 - 3,3 \cdot 10^{-10} \text{ Кі/л}$, що майже вдвічі перевищує його рівень середнього глобального поширення у верхньому шарі ґрунту. Натомість, рівень забруднення шахтних вод ^{137}Cs за цей період був практично незмінним.

З осені 2018 р. шахта неконтрольовано затоплюється. Необхідний постійний радіометричний контроль шахтних вод у місцях можливого їхнього виходу на поверхню.

1. И.Я. Василенко, О.И. Василенко. Продукты ядерного деления урана и плутония. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/Uranium&PlutoniumFissionProducts.pdf>

AN INCREASE OF EFFICIENCY OF THERAPEUTIC PREPARATIONS IN ONCOLOGY WITH HELP OF HIGH ENERGY IRRADIATION

M. A. Zabolotnyy¹, L. I. Aslamova¹, G. I. Solyanik², L. N. Kirkilevskaya³

¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

² R. E. Kavetsky Institute of Experimental Pathology, Oncology and Radiobiology,
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

³ Kyiv Medical Institute of the Ukrainian Association of Folk Medicine,
Kyiv, Ukraine

Actuality of researches is conditioned by the necessity of creation of non-destructive physical methods of modification of antitumoral preparations for the increase of their therapeutic efficiency [1]

The research objective – is the study and analysis of influence of previous irradiation of solvent on optical and therapeutic properties of solution of medicinal preparations of anthracycline and alkaloid rows for the increase of their efficiency.

The measurements used drugs doxorubicin (“Pharmacia Italia SpA”, Italy) and Conium (Weleda, Germany). The solvent used was a solution of sodium chloride in concentration 9 mg/ml, produced by LLC “Novofarm – Biosynthesis”, Ukraine.

During optical studies, the spectral dependences of absorption (A) of solutions of dasgs in non-irradiated and previously irradiated by electrons of a solvent in the infrared light range were measured. The measurements were carried out on an IR-Fourier spectrometer Bruker IFS 66. The spectra were determined in the energy range (ϵ) [103 - 2·103] cm⁻¹. The energy of the irradiating electrons was 1.0 MeV. The values of the dose of absorbed (I) irradiation were 5, 15, 25, 40, 80, 100 kGy. Correlation analysis of Pearson was used in the comparative analysis of absorption (A(ϵ , I)) of solutions of antitumor drugs. The interval ϵ is evenly divided by 400 points.

The study of the ability of high-energy electron irradiation of a physiological solution, as a solvent of a drug, to modify the pharmacological activity of the antitumor drug doxorubicin was investigated in vitro using the line of cancer cells of the lung carcinoma of Lewis (LLC). It was recorded that LLC incubation for 24 h in the presence of doxorubicin, dissolved in a non-irradiated saline solution, resulted in a concentration-dependent decrease in the number of living cells. This behavior is due to inhibition of proliferation of tumor cells (cytostatic action) and / or their death (cytotoxic action) caused by the antitumor drug. At the same time, doxorubicin, dissolved in an irradiated saline solution, leads to an increase in cytotoxic / cytostatic effects, which is most pronounced at low concentrations: so, the number of LLC live cells at concentrations below 3 μ M decreased by an average of 20 % ($p < 0.05$) compared with the action of doxorubicin, dissolved in a non-irradiated physiological solution.

Conclusions 1). Thus, preliminary radiation irradiation of the solvent, without substantially changing the medications (in all cases, the correlation coefficient exceeds the critical value), changes some of its properties in the oscillation range, which significantly depends on the conformational state of the molecules. 2)The ability of high-energy electron irradiation of a solvent to increase the pharmacological activity of antitumor drugs konium and doxorubicin (especially in the range of low concentrations of drugs) is established. The low variability of cell survival rates after incubation with doxorubicin in irradiated physiological saline as compared to the corresponding indices with non-irradiated solvent was registered.

1. V.B. Orel, M.A. Zabolotny, V.E. Orel. Med Hypotheses 102 (2017) 82.

СОДЕРЖАНИЕ ^{137}Cs В РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТАХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ТЕРРИТОРИИ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

Н. Е. Зарубина

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

Общий запас ^{137}Cs был подсчитан для различных объектов лесных экосистем на территории Чернобыльской зоны отчуждения на современном этапе развития аварийной ситуации. Использовались данные по двум полигонам: «Лелев» - территория 10-км зоны (30°09'36.63"E, 51°19'19.74"N), «Парышев» - территория 30-км зоны (51°17'57.54"E, 30°18'17.43"N). Тип лесорастительных условий – А1 (бор сухой) [1]. Тип почвы полигонов: дерново-скрытоподзолистая песчаная на древнеаллювиальных отложениях – «Лелев»; дерново-слабоподзолистая глинисто-песчаная глееватая почва на древнеаллювиальных отложениях – «Парышев». На обоих полигонах толщина слоя лесной подстилки равна в среднем 5 см. Среди древесной растительности на территории исследуемых полигонов преобладает сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.). Деревья приблизительно одного возраста: 40 - 50 лет. Вид грибов (*Cantharellus cibarius* Fr.), который использовался в данном исследовании, принадлежит к экологической группе симбиотрофов. Для расчетов содержания ^{137}Cs в древостое были использованы данные по массе различных компонентов, приведенные в работе [2], в мицелии грибов [3]. Результаты приведены в таблице (Бк/га сухой массы).

Полигон	Дата	Древостой		Наземный покров	Подстилка	Мицелий
		Наземная часть	Подземная часть			
Лелев	2015 г.	54,200,000	27,000,000	48,000,000	1,024,000,000	615,600,000
	% от общего запаса	3,06	1,53	2,71	57,89	34,80
Парышев	2015 г.	12,300,000	6,000,000	800,000	60,700,000	44,000,000
	% от общего запаса	9,94	4,85	0,65	49,03	35,54

Наземная часть фитомассы (древесина, кора, ветви, хвоя) на полигонах содержит сравнительно небольшое количество от общего запаса ^{137}Cs (3,06 и 9,94 %). Максимальное количество ^{137}Cs сосредоточено в слое лесной подстилки – 57,89 и 49,03 %. В мицелии грибов содержание этого радионуклида практически одинаково и составляет 34,8 и 35,5 % от общего запаса и более 50 % от его запаса в слое лесной подстилки.

Анализируя полученные данные, можно утверждать, что грибной мицелий является долговременным депо ^{137}Cs в лесных экосистемах, загрязненных этим радионуклидом, на отдаленном этапе развития послеаварийной ситуации.

1. П.С. Погребняк. *Основы лесной типологии* (К.: Изд-во АН УССР, 1955) 456 с.
2. В.С. Давыдчук и др. *Ландшафты Чернобыльской зоны отчуждения и их оценка по условиям миграции радионуклидов* (К.: Наук. думка, 1994) 112 с.
3. J. Dighton, G.M. Terry. Uptake and immobilization of caesium in UK grassland and forest soils by fungi, following the Chernobyl accident. In: *Fungi and Environmental Change*. Eds. J.C. Frankland, N. Magan, G.M. Gadd (Cambridge: Cambridge University Press, 1996) p. 184.

РАДИАЦИОННАЯ СИТУАЦИЯ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА ВБЛИЗИ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» ПРИ СООРУЖЕНИИ НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙНМЕНТА «АРКА»

**А. К. Калиновский, В. А. Краснов, Е. А. Маковский,
А. А. Сизов, А. В. Филиппов**

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины,
Чернобыль, Украина*

Важной составляющей оценки радиационной безопасности персонала при выполнении работ вблизи объекта «Укрытие» (ОУ) и загрязнения окружающей среды являются результаты долгосрочного (1998 - 2018 гг.) мониторинга радиоактивных аэрозолей (РА) приземного слоя воздуха. Состав контролируемых РА локальной зоны с начала 2000-х годов практически постоянен и включает долгоживущие нуклиды (ДЖН) чернобыльского генеза $\Sigma\alpha$ -ДЖН ($^{238}, ^{239}, ^{240}\text{Pu}$, ^{241}Am) и $\Sigma\beta$ -ДЖН (^{137}Cs , ^{90}Sr + ^{90}Y , ^{241}Pu).

Средняя активность Σ ДЖН в воздухе вблизи ОУ в конце 90-х годов составляла примерно 17 мБк/м³, затем остановка 3-го энергоблока Чернобыльской АЭС (2000 г.) и внедрение стабилизационных мер (2003 - 2007 гг.) способствовали двукратному уменьшению объемной активности РА в локальной зоне (7,4 мБк/м³).

Последующее ухудшение аэрозольной ситуации в воздухе локальной зоны ОУ происходило за счет вторичного подъема радиоактивной пыли. Во-первых, с поверхности земли во время земляных работ при строительстве

фундаментных полос Нового безопасного конфайнмента «Арки» (НБК) в 2010 г. В этот период среднегодовая объемная активность Σ ДЖН увеличилась до 80 мБк/м³, еженедельная максимальная активность $\Sigma\alpha$ -ДЖН достигала 6 мБк/м³, а $\Sigma\beta$ -ДЖН - 520 мБк/м³. Во-вторых, при демонтаже бетонных и металлических конструкций Укрытие в 2016 г., когда среднегодовая объемная активность Σ ДЖН составляла 62 мБк/м³, а еженедельная максимальная активность достигала $\Sigma\alpha$ -ДЖН - 18 мБк/м³ и $\Sigma\beta$ -ДЖН - 1400 мБк/м³.

Оценка годовой ингаляционной дозы при наблюдениях максимальных концентраций РА не превысила 0,063 мЗв/год, что существенно ниже установленного контрольного уровня ингаляционной дозы 1 мЗв. Основным нуклидом, определяющим ингаляционную дозу, является ²⁴¹Am, вклад которого в $\Sigma\alpha$ -ДЖН будет расти.

После завершения работ по сооружению НБК «Арка» в 2018 г. объемная активности Σ ДЖН снизилась на порядок, по сравнению с концом 90-х годов, до 1,8 мБк/м³. Следует отметить, что объемная активность Σ ДЖН в приземном слое воздуха будет продолжать снижаться по мере упорядочения прилегающей территории, аккумуляции радиоактивных частиц объектами окружающей среды, радиоактивного распада и, главное, отсутствия неорганизованных радиоактивных выбросов из системы ОУ-НБК.

ОСОБЛИВОСТІ АДСОРБЦІЇ ТРИТІО ГЛИНИСТИМИ МІНЕРАЛАМИ

О. В. Коваленко¹, О. О. Кряжич²

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

² *Інститут технологій і бізнесу в Чеських Будійовицях,
Чеські Будійовиці, Чеська Республіка*

Підвищення вмісту техногенного ³H в об'єктах навколишнього середовища, як наслідок розвитку світової атомної енергетики та підприємств з переробки ядерного палива викликає занепокоєння всього світу та спонукають до пошуку ефективних сорбційно-бар'єрних методів захисту.

Як показали попередні дослідження, фільтрування води, що містить тритій крізь глинисті породи або композити, утворені на основі глинистих мінералів, істотно зменшує питому активність тритію [1], проте вказують на необхідність подальшого вивчення властивостей таких сорбентів [2], підвищення контролю за витоками та пошуку методів акумуляції їх у навколишньому середовищі [3]. Для вирішення такої задачі розглядають ізотопно-іонний обмін між забрудненою тритієм водою і глинистими мінералами [4] та методи обробки, які покращують адсорбційні властивості [5].

В представлений роботі використані ряд глинистих мінералів з різних регіонів України та каолінова глина з Китаю. Зразки глинистих мінералів відпалювалися при температурі 105°C і 500°C та поміщалися в воду об'ємом 1 л

різної питомої активності тритію. Спостереження проводилися протягом 90 діб. Задачею досліджу було відслідкувати найбільш оптимальні параметри адсорбування тритію мінералом за час перебування його у тритійованій воді в умовах закритої експериментальної системи при ряді заданих обмежень.

За результатами дослідження було виявлено, що сорбція тритію мінералами наростає стабільно в часі за усіма зразками, хоча у випалених зразків при температурі 105°C проявляється більш активно.

Показано, що сорбційні властивості глинистих мінералів значно зростають у зразків випалених при температурі 500°C. Імовірно, що часткове видаленням структурно-зв'язаної води при термічній обробці мінералів сприяє підвищенню гідравлічної проникності сорбенту [5].

1. M. Masson et al. Tritium along the French coast of the English Channel. Radioprotection. Suppl. 1. 40 (2005) 621.
2. M.P. Little, B.E. Lambert. Systematic review of experimental studies on the relative biological effectiveness of tritium. Radiat. Environ. Biophys. 47 (2008) 71.
3. S. Dingwall et al. Human Health and the Biological Effects of Tritium in Drinking Water: Prudent Policy Through Science – Addressing the ODWAC New Recommendation. Dose Response 9(1) (2011) 6.
4. А. Пушкарев, И. Руденко, В. Скрипкин. Адсорбция трития из водных растворов термически обработанными глинистыми минералами. Вісн. київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка 4(71) (2015) 43.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА (VI) АНИОНИТОМ АМ-п-2 ИЗ ГРУНТОВЫХ ВОД ХВОСТОХРАНИЛИЩА «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ЯР»

В. Ю. Коровин¹, А. М. Валяев¹, А. В. Зонтов², Л. В. Зонтова²

¹ *Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины,
Днепр, Украина*

² *Государственное предприятие «Смолы», Каменское, Украина*

Хвостохранилище урановых отходов «Центральный Яр» бывшего ПО «Приднепровский химический завод» (ПО «ПХЗ») было одним из первых хвостохранилищ, функционировавшее в 1951 - 1954 гг., имеет общую площадь около 2,4 га и содержит 0,22 млн. т. радиоактивных отходов. Его отличительной чертой является то, что пульпа после переработки практически не подвергалась нейтрализации и имеет кислую реакцию. Согласно данным мониторинга, проведенного в 2005 - 2017 гг. [1], сделан вывод о протекании активных процессов выщелачивания урана из тела хвостохранилища и его способности мигрировать в грунтовые воды. Анионный состав поровой и подземной воды внутри хвостохранилища представлен сульфат-ионом (до 2,6 г/л SO_4^{2-}) и гидрокарбонат-ионом (до 0,9 г/л HCO_3^-), а ее pH находится в пределах 2,5 - 4,0, что способствует нахождению урана в виде анионных комплексов уранил-иона.

В данных условиях применение сорбционных методов наиболее целесообразно для извлечения урана. Так, ранее нами была показана принципиальная возможность извлечения урана из отходов хвостохранилища «Западное» анионитом АМП [2]. Фосфорнокислый катионит на основе растительного сырья испытан [3] для извлечения урана из радиоактивно-загрязнённой воды подвала корпуса № 103 бывшего ПО «ПХЗ».

В работе проведена оценка возможности извлечения урана из грунтовых вод хвостохранилища «Центральный Яр» с применением сильноосновного макропористого анионита АМ-п-2 на основе стирол-дивинилбензолного сополимера с 2-гидроксиэтил-диметиламмониевыми функциональными группами. Оценку проводили на основании равновесного распределения урана между анионитом АМ-п-2 и модельным раствором уранилсульфата с содержанием сульфата натрия 25 г/дм³, pH = 1,45 при температуре 20 ± 2 °С и времени контакта 24 ч. Равновесие с высоким коэффициентом корреляции (R² = 0,9980) описывается обобщенным уравнением Ленгмюра - Фрейндлиха:

$$q = \frac{q_m K_{LF} C_e^{n_{LF}}}{1 + K_{LF} C_e^{n_{LF}}}$$

и имеет следующие характеристики: максимальная емкость $q_m = 373,8$ мг/г, константа $K_{LF} = 8,570 \times 10^{-3}$ дм³/мг, эмпирический коэффициент $n_{LF} = 0,7612$, C_e – равновесная концентрация урана, мг/дм³.

Эффективность извлечения урана можно оценить по коэффициенту распределения, который при его концентрации в поровой воде 7 мг/дм³ и подземных водах 4 мг/дм³ [1] составляет ~2000, что позволяет рассматривать анионит АМ-п-2 как перспективный материал для извлечения урана из верхних грунтовых и подземных вод хвостохранилища.

1. К.О. Korychenskyi et al. Speciation and mobility of uranium in tailings materials at the U-production legacy site in Ukraine. Nucl. Phys. At. Energy 19(3) (2018) 270.
2. Ю.Н. Сорока и др. Оценка возможности доизвлечения урана из радиоактивных отходов хвостохранилища «Западное». 8 Межд. конф. «Сотрудничество для решения проблем отходов»: материалы, 23 - 24 февраля 2011 г. <https://waste.ua/cooperation/2011/theses/soroka.html>.
3. А.М. Валяев, В.Ю. Коровин, Т.В. Лаврова. Очистка радиоактивно загрязненной воды фосфорнокислым катионитом на основе модифицированного растительного сырья. В кн.: XXV щорічна наук. конф. ІЯД НАН України. Київ, 16 - 20 квітня 2018 р.: Тези доп. (К., 2018). 207.

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИРОДНИХ ТА АНТРОПОГЕННИХ СКЛАДОВИХ ФОРМУВАННЯ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД У РАЙОНІ ВПЛИВУ СПАДЩИНИ УРАНОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Т. В. Лаврова, Л. А. Ковальчук, О. В. Войцехович

*Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України
та НАН України, Київ, Україна*

Робота розглядає результати статистичного аналізу даних моніторингу забруднення поверхневих вод (р. Коноплянка і р. Дніпро) зони впливу колишнього підприємства з переробки уранової сировини ВО «Придніпровський хімічний завод» («ПХЗ») за період 2005 - 2017 рр. Проаналізовано дані спостережень за показниками сумарної альфа-активності води, питомої активності урану (ізотопи 238 + 234) і радію-226, що формуються на майданчику колишнього уранового виробництва на п'яти пунктах регулярного відбору проб води. Два з них розташовані на р. Дніпро (вище і нижче зони впливу промислового майданчика переробки уранових руд), а три інших були розташовані на р. Коноплянці, що фактично є дренажною системою водозбору уранового підприємства, куди надходять води поверхневого і підземного стоку, а також стік колекторів промислової зливової каналізації із забруднених територій колишнього «ПХЗ».

В роботі надано спробу розділити впливи природного і антропогенного навантаження розділяючи також фактори хронічного впливу і аварійного навантаження.

Показано, що хронічне забруднення вод за показниками радіаційного забруднення формуються під впливом багатьох факторів на водозборах промислового майданчика ПХЗ, а також всього басейну р. Дніпро. У багатьох випадках такі впливи як природних, так і антропогенних факторів є незалежними один від одного і відбуваються у межах амплітудних коливань величин протягом тривалого часу. Тому коливання характеристик забруднення вод можуть бути апроксимовані нормальним законом розподілу даних і охарактеризовані прийнятним діапазоном коливань: $\bar{X}_n - 3\delta_n - \bar{X}_n + 3\delta_n$. Істотні відхилення показників забруднення в рядах даних спостережень, що перевищують виділений діапазон, який відповідає нормальному розподілу, і можуть бути пов'язані із дією факторів нерегулярної природи як природних (дощових злив, повеней рідкої повторюваності, тощо), так і під впливом антропогенних факторів (аварійних скидів, розмиву дамб хвостосховищ залишків уранового виробництва та інших). Саме фактори нерегулярної природи у більшості випадків призводять до суттєво вищих тимчасових показників вмісту радіонуклідів уранового ряду, що пов'язані із колишнім урановим виробництвом зі стоком р. Коноплянка в р. Дніпро. Методами варіаційної статистики не можливо відокремити антропогену складову від природних факторів впливу забруднення р. Дніпро радіонуклідами природного походження. Тому для

оцінки ймовірного співвідношення концентрацій забруднювачів, що формуються під впливом природного і антропогенного походження було застосовано розроблений в УкрГМІ методичний підхід на основі методів статистичного аналізу випадкових процесів.

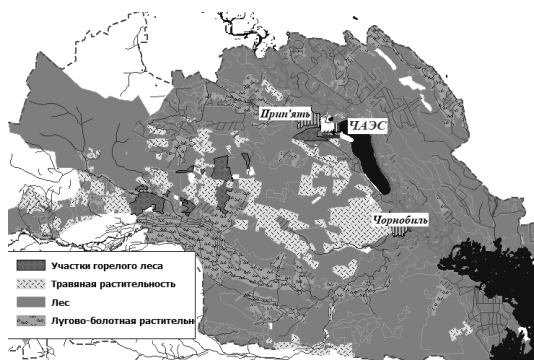
Аналіз, що виконано, підтвердив висновок про наявність впливу двох вище означених процесів – хронічного забруднення, що формуються під впливом переважно природних чинників і підземного стоку (до 10 % сумарної альфа-активності вод і рівня активності ізотопів урану 238, 234) і, тих випадків, коли у формуванні забруднення вод важливу роль починають відігравати саме фактори антропогенного впливу нерегулярної природи, під впливом процесів відносно рідкої повторюваності. Під впливом таких факторів рівні техногенного фонового забруднення, що формуються під впливом хронічних процесів можуть на короткий час зростати у нижній течії р. Коноплянка на 20 - 50 % і навіть до 80 %, а для р. Дніпро фактори техногенного впливу з малого водозбору промислового майданчика ПХЗ можуть вдвоє (до 90 - 110 %) перевищувати впливи природного походження у формуванні сумарної альфа активності забруднення вод.

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

Т. Д. Лев, Н. Н. Талерко, О. Г. Тищенко, В. Н. Пискун, Ю. В. Яценко

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев, Украина

После аварии на ЧАЭС в 1986 вся радиоактивно загрязненная территория Украины была проанализирована и в соответствии с Законом Украины [1] разделена на несколько зон радиоактивного загрязнения, включая Зону отчуждения, Зону безусловного отселения и Зону гарантированного добровольного отселения. Целью нашего исследования является разработка методологии оценки воздействия зоны отчуждения на близлежащую окружающую территорию вследствие природных и антропогенных экстремальных ситуаций с применением ГИС-технологий. На основе данных космического зондирования с разрешением 2,5 - 30 м и ГИС были получены векторные карты типов подстилающей поверхности, рельефа, типов почв, ландшафтов, гидрографии и границ административного деления. Природные объекты были выделены и сгруппированы в 4 класса (рисунок) по типу подстилающей поверхности, которые характеризуют пространственное перераспределение радиоактивности при: 1) пожарах лесной, травяной растительности и старых построек, 2) при вторичном ветровом подъеме радиоактивной пыли на оголенных территориях в весенне-осенний период в случае экстремальных синоптических ситуаций: сильного ветра, пыльных бурь, длительного засушливого периода и т.д. [2]. Класс лесных насаждений разбит на подклассы и про-



Классы подстилающей поверхности.

кодирован в соответствии с требованиями математических топливных моделей лесных пожаров и модели атмосферного переноса и осаждения радиоактивных веществ (LEDI) на близлежащую территорию [3, 4]. Карта почв приведена в соответствии с требованиями расчетных моделей: по типу почвы были выделены механический и гранулометрический состав с характерным соотношением механических фракций. Построена цифровая модель территории Зоны отчуждения на основе регулярной сетки с шагом 250×250 м, включающей всю собранную информацию о радиоактивном загрязнении территории (почва, воздух, растения) с локализацией пунктов контроля и захоронения радиоактивных отходов (открытый доступ), о природно-географических особенностях территории, включая актуальное состояние подстилающей поверхности и растительности. В качестве программного инструментария использованы ГИС Mapinfo 7.2 и ArcGIS 10.2, как интегрирующий и связывающий инструмент при комплексной обработке радиоэкологической информации, а также как средство наиболее наглядного и выразительного отображения результатов анализа динамики изменений радиоэкологической обстановки в Зоне.

1. Закон Украины «О правовом режиме территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению вследствие Чернобыльской катастрофы» от 27.02.1991 г. № 79.1а-ХІІ.
2. *Стихийні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя* [1986 - 2005 pp.]. За ред. В. М. Ліпінського, В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко (К.: Вид-во «Ніка-Центр», 2006) 312 с.
3. J.H. Scott, R.E. Burgan. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research. Station (2005) 72 p.
4. N. Talerko. Mesoscale modelling of radioactive contamination formation in Ukraine caused by the Chernobyl accident. J. Environ. Radioact. 78 (2005) 311.

ЧУТЛИВІСТЬ МУТАНТА *Atmsh2* ЛІНІЇ *SALK_002708* ДО ДІЇ СУБЛЕТАЛЬНИХ ДОЗ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ

С. В. Літвінов, Н. М. Рашидов

*Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України,
Київ, Україна*

Вивчали рослини гомозиготного інсерційно-делеційного мутанта за геном місметч-репарації *Atmsh2* лінії *SALK_002708*. Рослини з генотипом *Atmsh2*-/- у інтервалі сублетальних доз рентгенівського опромінення до 21 Гр включно накопичували меншу суху біомасу надземної частини у порівнянні з рослинами генотипу *Atmsh2*+/+ [1]. Отже, абсолютна радіочутливість мутантних рослин за даним показником є вищою по відношенню до рослин дикого типу. У інтервалі сублетальних доз рентгенівського опромінення відносна радіочутливість рослин, дефектних за білком місметч-репарації MSH2, не однакова, а залежить як від дози, так і від режиму опромінення. Фракціонування доз 6 - 15 Гр знижувала відносну радіочутливість мутанта, а доз 3 і 21 Гр, навпаки, її підвищувала. Саме при вказаних дозах іонізуючого опромінення досягався максимальний відносний рівень транскрипційної активації гену-маркеру гомологічної рекомбінації *AtRAD51*. Результати проведених дослідів свідчать про самостійну роль білка MSH2 у репарації індукованих радіацією пошкоджень ДНК рослин, як і про можливу епістатичну взаємодію з продуктами генів *AtRad1* і *AtRAD51*.

На відміну від стимулюючої дії хронічної рідкоіонізуючої радіації у дозі 20 сГр на розвиток рослин дикого типу до 35-го дня вегетації, коли не менше половини рослин вступили у генеративну фазу розвитку, мутантні рослини першого покоління такої стимуляції не зазнавали. Однак наприкінці вегетації як рослини дикого типу, так і мутанти, що були хронічно опромінені протягом перших 35 діб розвитку, накопичували в середньому більшу біомасу, ніж неопромінені рослини. Причому як опромінені, так і неопромінені мутанти *Atmsh2*-/- мали меншу повітряно-суху масу надземної частини, ніж рослини дикого типу. Таким чином, білок MSH2 з одного боку є необхідним для нормального онтогенезу рослин в умовах відсутності дії генотоксичних факторів, з іншого – бере участь у прискоренні темпів розвитку під дією стимулюючих доз опромінення.

Аналіз отриманих даних не виявив достовірних відмінностей мутанту *Atmsh2*-/- від рослин *Atmsh2*+/+ за рівнем транскрипційної активності генів-маркерів систем репарації ДНК *AtRAD51*, *AtKu70*, *AtRad1*. Це означає, що MSH2 не відіграє важливої ролі у мережі регулювання експресії ключових генів репарації ДНК як сенсор або трансдуктор сигналу, натомість є одним з ефекторів клітинної відповіді на пошкодження ДНК.

Неопромінені рослини мутанта *Arabidopsis thaliana Atmsh2 SALK_002708* демонстрували нестабільність хлоропластного геному, яка значно зростала

після опромінення у сублетальних дозах 3-21 Гр. Маркером цієї нестабільності були хлорофільні мутації листків проростків. Встановлена наявність залежної від білку MSH2 репарації ДНК у хлоропластах квіткових рослин, що до чого досі існували суперечливі дані. Показана нижча здатність опромінених рослин, дефіцитних за білком MSH2, та їхніх нащадків до репарації сублетальних генетичних пошкоджень ДНК хлоропластів.

1. С.В. Літвінов, Н.М. Рашидов. Відносна радіочутливість мутанта *Arabidopsis thaliana Atmsh2 SALK_002708* у діапазоні сублетальних доз опромінення радіацією. Ядерна фізика та енергетика 19(2) (2018) 145.

СТАН ПИЛОПРИГНІЧУЮЧОГО ПОЛІМЕРНОГО ПОКРИТТЯ ВСЕРЕДИНИ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»

Д. О. Муляр, М. І. Павлюченко, А. О. Дорошенко

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Чорнобиль, Україна

Радіоактивні аерозолі є одним з найбільш небезпечних факторів радіаційного забруднення, яке здатне до міграції в атмосфері на великі території. Ефективним заходом подолання їхнього впливу є пилопригнічення.

Оцінка стану захисного полімерного покриття в підпокрівельному просторі (ПП) об'єкта «Укриття» (ОУ) виконується такими методами: пошуком та встановленням залежності активності аерозолів від часу по результатам моніторингу («організованих» викидів, викидів через технологічні люки легкої покрівлі ОУ, об'ємної активності, поверхневого забруднення та випадінь в ПП ОУ); відбором зразків-свідків з подальшими лабораторними випробуваннями відповідно до Стандарту підприємства [1].

Нанесення пилопригнічувальних сумішей (кількість розпилених розчинів на сьогоднішній день становить більше 1100 тон) на поверхню «розвалу» 4-го блока ЧАЕС почалося у 1989 році системами пилопригнічення, які в подальшому були модернізовані (збільшені площі зрошення до 70 % ПП ОУ).

Стан захисної плівки поверхні зразків-свідків, який досліджений згідно з [1] характеризується мінімальними пошкодженнями без помітних слідів деструкції і відшарування, а виявлені дрібні дефекти не знижують його захисних властивостей, на досліджених зразках полімерна плівка покриває 100 % площі.

Ефективність застосування полімерного покриття підтверджуються дослідженнями викидів радіоактивного аерозолі, зокрема, за час промислової експлуатації (з 2006 р.) модернізованої системи пилопригнічення (МСПП) середня швидкість річних викидів через технологічні люки легкої покрівлі ОУ знизилась майже в 5 разів [2]. Дослідження «організованих» викидів, об'ємної активності, поверхневого забруднення та випадінь в ПП ОУ та їхні прогнози показники також підтверджують тенденцію до зниження викидів радіоактивних аерозолів.

Оцінка стану полімерного покриття в ПП ОУ необхідна для оптимізації графіків проведення пилопригнічуючих заходів, їхньої економічної обґрунтованості. Крім того необхідно враховувати, що збільшується товщина самої плівки, в також заходи пилопригнічення супроводжуються збільшенням кількості рідини на ОУ, а це в свою чергу може негативно впливати на радіаційну безпеку об'єкта.

При поточній експлуатації ОУ і без змін його стану заходи з пилопригнічення у 2019 р. проводити не рекомендовано, так як стан захисного полімерного покриття в ПП ОУ задовільний і воно виконує свої функції. В подальшому необхідно продовжувати моніторинг параметрів радіоактивних аерозолів ОУ, та здійснювати роботи по оцінці стану захисного покриття в ПП та міжконтрфорсному просторах Нового безпечного конфайнменту ОУ.

Важливе значення має технічне вдосконалення та переоснащення діючих систем пилопригнічення. Період до перетворення ОУ на екологічно безпечну систему буде супроводжуватися пилоутворюючими процесами, саме тому раціональні заходи з проведення пилопригнічення дають змогу мінімізувати вплив радіоактивних аерозолів на навколишнє середовище.

1. СТП 3.031-2015 «Оцінка стану захисного полімерного покриття в підпокрівельному просторі об'єкта «Укриття» (зі змінами). 11 с.
2. Оцінка захисного полімерного покриття в підпокрівельному просторі об'єкта «Укриття» станом на 2018 р. (договір № 381/18): Звіт. (Чорнобиль: ІПБ АЕС НАН України, 2018) 77 с.

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ ВИМІРЮВАНЬ ШВИДКОСТІ ОСАДЖЕННЯ ¹³⁷Cs ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АВАРІЇ

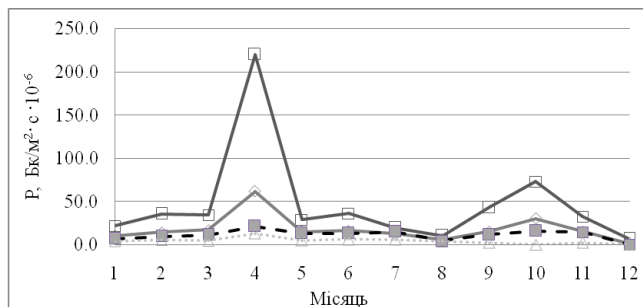
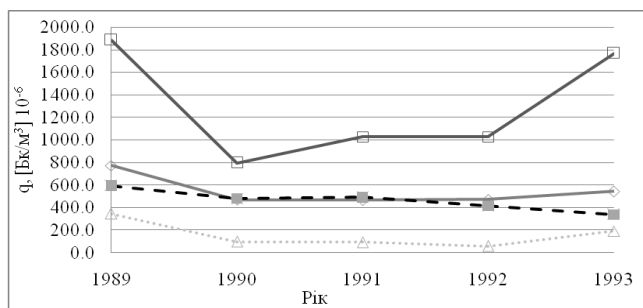
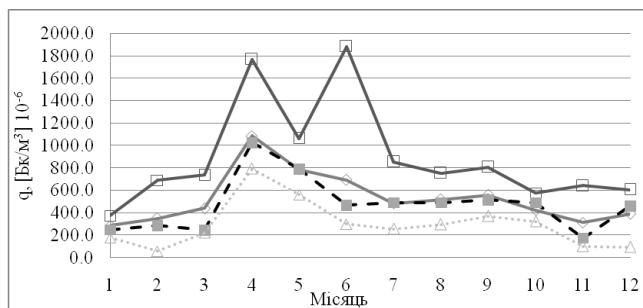
А. М. Новіков

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Чорнобиль, Україна

Реалізовано один із етапів створення цифрового архіву та аналізу накопичених після Чорнобильської аварії експериментальних даних вимірювань об'ємної активності та щільності випадінь на планшети ¹³⁷Cs, що були отримані в рамках спеціальної програми досліджень в м. Прип'ять за період 1989 - 1993 рр. Розраховані середньомісячні та середньорічні значення сумарної швидкості осадження (сухі + вологі випадіння) ¹³⁷Cs $v[см/с] = (p[Bк/м^2с]/q[Bк/м^3])10^{-3}$ за даними добових вимірювань активності в повітрі (за допомогою ФВУ Тайфун-4) q та декадних вимірювань випадінь p . Для пояснення часової динаміки об'ємної активності, щільності випадінь та швидкості випадінь радіоактивних аерозолів ¹³⁷Cs проведено попередній кореляційний аналіз вказаних величин з метеорологічними параметрами за розглянутий період, включаючи швидкість та напрямок приземного вітру, воло-

гості та температури повітря, а також типу атмосферних опадів (дощ, град, сніг) та наявності туману.

Нижче наведені максимальні (max) та мінімальні (min) значення добових даних об'ємної активності, декадних даних щільності випадінь та розрахованої сумарної швидкості осадження ^{137}Cs , а також обчислені за ними середні арифметичні (average) та медіанні (median) значення (за місяць та за рік). Медіана сумарної швидкості осадження для всього періоду становить 2,6 см/с. Виявлено позитивний лінійний тренд медіани річних значень сумарної швидкості осадження – від 1,7 см/с в 1989 р. до 3,5 см/с в 1993 р., що може бути пояснено процесом фіксації дрібних радіоактивних аерозолів на частках ґрунту.



РЕЗУЛЬТАТИ БАГАТОРІЧНОГО МОНІТОРИНГУ (1994 - 2018 РР.) ІНТЕНСИВНОСТІ АКУМУЛЯЦІЇ ^{137}Cs ВИДАМИ ТРАВ'ЯНО- ЧАГАРНИЧКОВОГО ЯРУСУ ДУБОВО-СОСНОВИХ ЛІСІВ У ВОЛОГИХ СУГУРДАХ (СЗ) УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

О. О. Орлов

*Поліський філіал Українського науково-дослідного інституту
лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького
Харків, Україна*

Метою дослідження був аналіз даних багаторічного моніторингу інтенсивності акумуляції ^{137}Cs надземною фітомасою видів трав'яно-чагарничкового ярусу на стаціонарі, закладеному у 1994 р. у Повчанському лісництві ДП «Лугинське ЛП» Житомирської області, у вологих грабово-дубово-соснових сугрудах (СЗГДС) при початковій щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs 560 кБк/м². Згадані ценози серед лісів Житомирського Полісся характеризуються найбільшою видовою насиченістю, яка сягає 50 - 60 видів/га. Деревостан мав склад 4ДЗ6Сз + Бп + Ос, вік 70 років. Трав'яно-чагарничковий ярус характеризувався проєктивним покриттям 50 - 70 %, співдомінували в ньому *Convallaria majalis* L. та *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. Постійними видами, з проєктивним покриттям 3-5%, були: *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Betonica officinalis* L., *Potentilla alba* L., *Rubus saxatilis* L., *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Vaccinium myrtillus* L., *Galium intermedium* Schult. тощо. Представлений фітоценоз *Querceto-Pinetum pteridoso-convallarioso-variaherbosum*.

На стаціонарі за однаковою методикою [1] у 1994 р. та 2018 рр. у 10-кратній повторності були відібрані зразки надземної фітомаси 60 видів трав'яно-чагарничкового ярусу. Після стандартної пробопідготовки [1] в них була визначена питома активність ^{137}Cs на спектроаналізаторах LP-900В (1994 р.) та СЕГ-001 «АКП-С» (2018 р.) з сцинтиляційним детектором БДЕГ-20Р2. За стандартною методикою [4] розраховані значення коефіцієнта переходу (КП) ^{137}Cs з ґрунту до фітомаси, які мали загальноприйняту розмірність м²·кг⁻¹·10⁻³. Статистична обробка даних проведена загальноприйнятими методами [2].

Порівняльний аналіз середніх значень КП ^{137}Cs до надземної фітомаси видів дав змогу виявити важливі закономірності. Зокрема, за період спостережень середні значення КП ^{137}Cs у всіх досліджених видів суттєво зменшилися. Діапазон середніх значень КП у 1994 р. коливався від 46,6 ± 6,11 у *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P.Fuchs до 0,9 ± 0,20 у *Geranium sanguineum* L.; а у 2018 р. – від 5,9 ± 0,87 у *Dryopteris filix mas* (L.) Schott до 0,2 ± 0,02 у *Vaccinium myrtillus*. Ця ж тенденція спостерігалася у інших досліджених видів, середні значення КП (м²·кг⁻¹·10⁻³) по етапах моніторингу [3] відповідно порівнювали: у *Dryopteris carthusiana* – 46,6 ± 6,11 – 5,5 ± 0,95; *Athyrium filix-femina* (L.) Roth –

13,1 ± 1,80 – 3,1 ± 0,58; *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt – 11,4 ± 2,00 – 3,6 ± 0,59; *Cruciata glabra* (L.) Ehrend. – 11,4 ± 2,15 – 3,7 ± 0,58; *Melampyrum nemorosum* L. – 10,2 ± 1,13 – 3,7 ± 0,41; *Rubus saxatilis* – 9,9 ± 1,12 – 0,6 ± 0,09; *Galium intermedium* – 6,9 ± 0,85 – 1,9 ± 0,27 та ін.

Особлива увага приділена динаміці середніх значень КП ^{137}Cs у господарсько цінних видах – ягідних та лікарських, зокрема, *Fragaria vesca* L. – 8,3 ± 0,90 – 0,6 ± 0,08; *Potentilla alba* – 12,7 ± 2,44 – 1,0 ± 0,14; *Convallaria majalis* – 8,6 ± 0,92 – 0,6 ± 0,13; *Betonica officinalis* L. – 5,2 ± 0,60 – 1,9 ± 0,25; *Digitalis grandiflora* Mill. – 3,5 ± 0,40 – 2,5 ± 0,50; *Melittis sarmatica* Klokov – 2,6 ± 0,40 – 1,1 ± 0,18. Розраховано суттєвість різниці середніх значень КП у видів рослин між етапами моніторингу. Обговорюються видові відмінності та інші причини виявленої динаміки КП ^{137}Cs .

1. М.М. Калетник та ін. *Інструкція з відбору та підготовки зразків* (Київ, 1998) 21 с.
2. Г.Ф. Лакин. *Биометрия* (Москва: Высш. школа, 1973) 348 с.
3. О.О. Орлов та ін. Лісівництво і агролісомеліорація 123 (2013) 178.
4. М. Belli, G. Desmet, F. Tikhomirov. ECP-5. Collection of papers (Rome, 1992) p. 7.

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ПОКАЗНИКІВ СУМАРНОЇ ПИТОМОЇ β-АКТИВНОСТІ ОСІДАЮЧОГО ПИЛУ ТА АТМОСФЕРНИХ ВИПАДІНЬ У САНІТАРНО-ЗАХИСНІЙ ЗОНІ РЕАКТОРА ВВР-М ІЯД НАН УКРАЇНИ ЗА 2014 - 2018 РР.

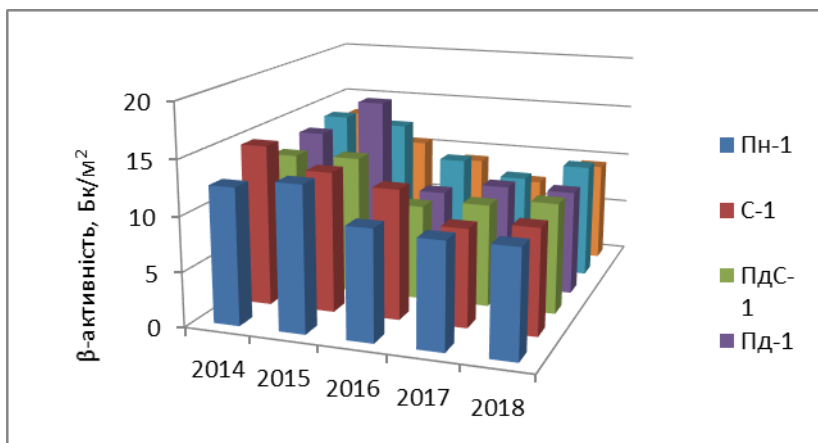
**І. О. Павленко, О. В. Сваричевська, О. В. Святун,
А. Д. Саженок, С. В. Телецька**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

У роботі представлено результати аналізу динаміки річних значень поверхневої щільності випадінь β-активних радіонуклідів з осідаючим пилом та атмосферними опадами (далі – щільність випадінь) в шести стаціонарних точках радіаційного контролю (а саме, Пн-1, С-1, ПдС-1, Пд-1, З-1, Пн-3), що знаходяться в санітарно-захисній зоні дослідницького ядерного реактора (ДЯР) ВВР-М на території ІЯД НАН України і обрані з урахуванням рози вітрів.

Для визначення щільності випадінь щомісячно проводиться відбір проб осідаючого пилу та атмосферних опадів, підготовка їх до вимірювань (випарювання, озолення, зважування, тощо), вимірювання β-активності їх за допомогою установки МФУ-1500.

Аналіз отриманих показників за період з 2014 до 2018 р. показав, що спостерігається тенденція до зменшення річних значень щільності випадінь β-активних радіонуклідів (рисунок).



Динаміка поверхневої щільності випадінь β -активних радіонуклідів з осідаючим пилом та атмосферними опадами (Бк/м²) у санітарно-захисній зоні ДЯР ВВР-М.

Підвищення річного рівня щільності випадінь в точці Пд-1 (південний напрямок, на відстані ~ 200 м від вентиляційного центру реактора), яке спостерігалось у 2015 р., може бути обумовлене зростанням значення даного показника в липні за рахунок посилення вітру в даному напрямку, що характерно для кліматичних умов Києва.

АНОМАЛІЇ ОСЬОВОГО СКЕЛЕТА РИБ У ВОДОЙМАХ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

**В. В. Павловський¹, Х. Д. Ганжа², І. І. Абрамюк²,
О. Є. Каглян², Д. І. Гудков²**

¹ ННЦ «Інститут біології та медицини»

Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

² Інститут гідробіології НАН України, Київ, Україна

Озерні екосистеми Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) характеризуються високим рівнем радіонуклідного забруднення всіх компонентів. Для виявлення хронічного впливу іонізуючого опромінення на біоту вкрай важливим є дослідження стану живих організмів на різних рівнях організації біологічних систем. При дослідженні водойм в якості біологічних об'єктів доречно використовувати риб як найбільш радіаційно-чутливих представників водних екосистем.

У роботі проведено дослідження аномалій скелета гірчака європейського (*Rhodeus amarus* Bloch) та вівсянки (*Leucaspis delineatus* Heckel) на стадіях

розвитку D₂ – F з оз. Глибоке. Озеро розташоване на території лівобережної заплави р. Прип'яті на відстані 6,5 км від ЧАЕС і є однією з найбільш забруднених радіонуклідами водойм ЧЗВ. Референтною водоймою слугувало оз. Підбірна (р-н Осокорки, м. Київ) з фоновими рівнями радіонуклідного забруднення. Зразки риб відбирали впродовж весняних та літніх періодів 2014 - 2016 рр. Потужність поглиненої дози опромінення для риб оз. Глибоке в період досліджень становила 40 - 120 мкГр/год, а для риб оз. Підбірна – 0,05 - 0,07 мкГр/год.

Кількість вибірок кожного виду риб з обох водойм становив 30, а загалом було проаналізовано 120 особин. Для виготовлення необхідних препаратів проводили знебарвлення риб у розчині пероксиду водню протягом двох діб. Освітлених особин переміщували у розчин КОН на 10 діб. Для забарвлення скелета риб переносили у свіжий розчин КОН з додаванням розчину алізарину S, де їх витримували протягом 2 - 3 діб. Отримані екземпляри зберігали зафіксованими у гліцерині.

Серед аномалій осцевого скелета досліджували такі типи: сколіоз, зрощення хребців, редукцію та розгалуження відростків хребців або появу додаткових. Також реєстрували аномалії хвостового плавця та щелеп, проводили вимірювання абсолютної довжини тіла та кількості променів у плавцях. Оцінку аномалій скелета проводили за показниками кількості аномалій, частки особин з аномаліями, загального спектра аномалій та частки окремих аномалій.

У результаті дослідження вибірки гірчака з контрольного оз. Підбірна було отримано такі показники: кількість аномалій – 5, частка особин з аномаліями – 16,7 %. Спостерігали випадки зрощень хребців, роздвоєнь/появ нових відростків та їхню редукцію. Відповідні показники для риб із оз. Глибоке становили: кількість аномалій – 9, частка особин з аномаліями – 30 %. Усі зафіксовані випадки були пов'язані з роздвоєнням/появою додаткових відростків.

У вибірці вівсянки з оз. Підбірна показники становили: кількість аномалій – 8, частка особин із аномаліями – 23,3 %. Спостерігалися випадки сколіозу, роздвоєння/появи нових відростків та їхню редукції. Показники у риб із оз. Глибоке становили: кількість аномалій – 9, частка особин з аномаліями – 30 %. Були зафіксовані випадки редукції, розгалужень або появи додаткових відростків гемальних та невральних дуг хребців.

При виявленні впливу фактора ризику (наявності радіонуклідного забруднення) на появу аномалій риб за критерієм хі-квадрат Пірсона встановлено статистичну незначущість зв'язку. У розрахунках використовували поправку Йейтса, зважаючи на значення відповідних показників появи аномалій (від 5 до 9).

РОЗПОДІЛ РАДІОНУКЛІДІВ У ҐРУНТАХ ГІРСЬКИХ ЛАНДШАФТІВ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Л. С. Пірнач¹, Г. В. Лаптев¹, Е. С. Тодосієнко²

¹ *Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України,
Київ, Україна*

² *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна*

Гірські екосистеми (ГЕ) займають значну частину суходолу та являють собою найважливіший фактор формування клімату, оскільки слугують природними перешкодами при переміщенні великих повітряних мас і хмар, що несуть опади.

Гірські екосистеми відрізняються багатством флори і фауни, що в кілька разів вище, ніж на навколишній рівнині. Всі ГЕ мають низьку стійкістю і вразливість до господарського впливу людини, тому вимагають самого обережного режиму використання. Зважаючи на зазначене, моніторинг стану ГЕ, у тому числі радіоекологічний, є особливо важливим.

Дослідження провідних фахових наукових інститутів Європи показали, що відмінною особливістю гірських ландшафтів, зокрема Альп, є дуже своєрідний характер поверхневого розподілу радіонуклідів у ґрунті [1]. Вивченню цього питання для гірських масивів Українських Карпат присвячена дана робота.

Польові роботи (дозиметричні вимірювання ПЕД, відбір проб) проводилися впродовж 2016-2018 рр. у різних елементах ландшафту Чорногорського масиву (зокрема, з 15 вершин), а також масивів: Рахівські гори (Мармароси), Горгани, Свидовець.

Більшість зразків: проби торф'яного ґрунту (разом з генеруючим його мохом). Відібрано також колонки ґрунту для отримання характеристик вертикального розподілу радіонуклідів.

Аналітичні роботи виконано в лабораторії УкрГМІ. Зокрема проведено визначення гамма-випромінюючих радіонуклідів (²¹⁰Pb, ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ⁷Be) із застосуванням гамма-спектрометричного комплексу на основі HPGе детектора GMX40 (ORTEC).

На теперішній час результати проведених досліджень показують таке:

- рекогностирувочні радіометричні оцінки гамма-фону на різних масивах Українських Карпат виявили наявність ділянок з підвищеним рівнем ПЕД, особливо в місцях де спостерігаються умови, сприятливі для накопичення снігу;

- виявлені ділянки невеликої площі (порядку 0,1 м²), де активність ¹³⁷Cs в торф'яному ґрунті досягає 17 кБк/м² і в рази перевищує активність на сусідніх прилеглих ділянках;

- найбільші концентрації ¹³⁷Cs в торф'яному ґрунті (1,3-1,4 кБк/кг) знайдені в межах водорозділів східної частини Чорногорського масиву. При цьо-

му високі значення зафіксовані не тільки в альпійській зоні, але й у зоні лісу (близько 1300 м н. р. м.);

– дослідження вмісту ^{137}Cs у зразках торф'яного ґрунту, відібраного в різних місцях, показали, що вплив поглинаючих властивостей сорбуючого субстрату може домінувати над впливом акумулятивних властивостей рельєфу: високі і подібні показники (понад 1 кБк/кг) знайдені і в котлованах, і на вершинах, і на вертикальних поверхах.

У роботі обговорюються можливі причини неоднорідності розподілу радіонуклідів в умовах гірського ландшафту й особливості поглинання ^{137}Cs торф'яним ґрунтом.

1. L. Pourcelot et al. Formation of radioactivity enriched soils in mountain areas. J. Environ. Radioactivity 68 (2003) 215.

ОЦІНКА РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ВНАСЛІДОК ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ В ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ 5 - 8 ЧЕРВНЯ 2018 Р.

М. М. Талерко, Т. Д. Лев, В. О. Кашпур, Г. Г. Кузьменко

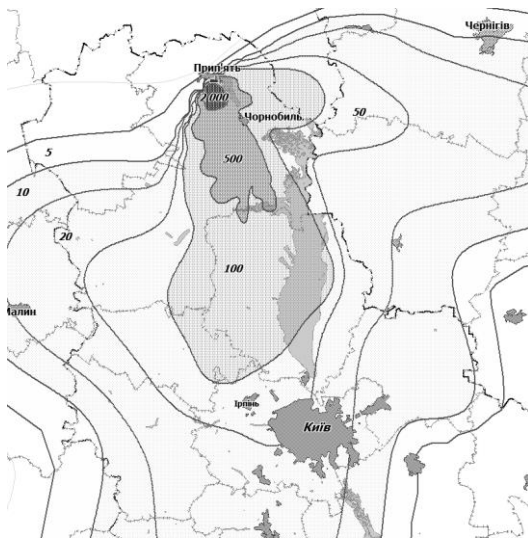
Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Київ, Україна

У період з 5 по 8 червня 2018 р. на території 10-кілометрової зони ЧАЕС сталося загоряння декількох ділянок трави та лісу. Найбільш інтенсивними були пожежі на двох лісових ділянках, розташованих в районі СВЯП-2. Для оцінки їхніх наслідків було використано комплекс моделей ІПБ АЕС, який включає: 1) мезомасштабну модель прогнозу погоди WRF для розрахунків полів метеорологічних величин, що визначають розповсюдження радіонуклідів в повітрі; 2) модель формування конвективного струменю над площею пожежі – для оцінок максимальної висоти підйому радіонуклідів в атмосфері на початковій стадії перенесення їх; 3) лагранжово-ейлерову дифузійну модель атмосферного перенесення радіонуклідів та осадження їх на підстильну поверхню LEDI – для розрахунків розповсюдження радіоактивних продуктів горіння над відстані до 100 км.

Для оцінки запасів активності на двох вигорівших ділянках лісу було проведено пробовідбір зразків лісової підстилки та верхнього шару ґрунту. За даними вимірювань 14-ти проб середнє значення щільності забруднення поверхні ^{137}Cs становило близько 2850 кБк/м² (при варіабельності їхніх значень від 1000 до 5400 кБк/м²). Значення потужності експозиційної дози на вигорівших ділянках варіюють від 0,245 до 0,845 мР/год на висоті 1 м над поверхнею землі.

При моделюванні, згідно з даними попередніх досліджень, частка актив-

ності, що підіймається повітря при горінні лісової ділянки, задавалася рівною 5 % від загального запасу. Оцінка висоти підйому димового струменя, що сформувався над територією пожежі, склала близько 300 - 500 м (залежно від метеоумов протягом періоду горіння). Розраховано поля миттєвої та інтегральної (за весь період пожежі) об'ємної активності ^{137}Cs в приземному повітрі (див. малюнок), щільності випадінь на земну поверхню, а також величин доз зовнішнього та внутрішнього (за рахунок інгаляційного надходження) опромінення людей в зоні впливу радіоактивного струменя.



Розрахункові значення інтегральної концентрації ^{137}Cs в повітрі (Бк·с/м³) за період 5 - 8 червня 2018 р.

Згідно з розрахунками, максимальне значення активності ^{137}Cs (осередненої за період 1 год) у приземному повітрі для Києва досягало 0,82 мБк/м³ в 23 год 05.06.2018 р. та 1,22 мБк/м³ в 02 год 07.06.2018 р. Для Чорнобиля максимальні розрахункові значення активності ^{137}Cs в повітрі склали близько 10 мБк/м³ (у другій половині доби 05.06.2018 р. та о 18 год, коли напрямок перенесення радіоактивних аерозолів був спрямований на місто), а для Дитяток – вони могли досягати до 1 мБк/м³.

Отримані результати в цілому узгоджуються з даними вимірювань активності ^{137}Cs в повітрі, що проводились мережею постів АСКРО ДП «Екоцентр», а також даними пробовідбору повітря в с. Міла (результати ДНТЦ ЯРБ).

АКРЕДИТАЦІЯ ЛАБОРАТОРІЙ ЯДЕРНОЇ КРИМІНАЛІСТИКИ ІЯД НАН УКРАЇНИ В НАЦІОНАЛЬНОМУ АГЕНТСТВІ З АКРЕДИТАЦІЇ УКРАЇНИ

**В. В. Тришин, О. В. Божок, І. А. Малюк, О. В. Гайдар, М. В. Стрільчук,
О. Ф. Рудик, О. П. Жуков**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Лабораторія ядерної криміналістики ІЯД НАН України (ЛЯК ІЯД України) відповідно до Постанови Кабінету міністрів України N 813/2003 р. є головною експертною організацією України з дослідження та визначення характеристик радіоактивних матеріалів (РМ), які вилучено із незаконного обігу та провідною ланкою в мережі ядерних криміналістичних лабораторій (ЯКЛ) країн членів ГУАМ.

Необхідність ефективного функціонування системи протидії незаконному обігу РМ країн вимагає від національних ЯКЛ не тільки постійного впровадження сучасних підходів до проведення ядерно-криміналістичної експертизи (ЯКЕ), підвищення кваліфікації персоналу, а і системних змін у організації та здійсненні всієї діяльності загалом. Акредитація лабораторії – гарантований механізм таких змін, що забезпечує високий рівень якості проведення ЯКЕ та міжнародне визнання її результатів.

Акредитація у Національному агентстві з акредитації України (НААУ) обумовлена визнанням національної система акредитації України національними органами з акредитації країн-членів ЕА, ІЛАС та відповідає рекомендаціям МАГАТЕ.

На початку 2017 р. було подано Заяву до НААУ щодо можливості акредитації ЛЯК ЦЕП АЕ як випробувальної лабораторії, що відповідає вимогам ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 «Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій». У червні 2017 р. підготовлено та подано пакет документів необхідних для проходження акредитації ЛЯК ЦЕП АЕ з метою отримання офіційного підтвердження відповідності діяльності лабораторії встановленим критеріям і показникам, технічної компетентності при проведенні ЯКЕ, здатності задовольняти вимоги замовників.

На виконання вимог розділу 4 (Вимоги до керування) ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 в лабораторії розроблено і впроваджено Політику, Цілі, Положення про ЛЯК ЦЕП АЕ ІЯД НАН України та її організаційну структуру. Головний документ - Настанова з системи управління якістю з повним комплектом процедур та форм якості. Настанова базується на основних принципах менеджменту, її структурною основою є модель ISO 9001 з необхідними технічними вимогами ISO 17025. Вся діяльність ЛЯК розглядалась як взаємопов'язані процеси (основні, керуючі, забезпечуючі).

На виконання розділу 5 (Технічні вимоги) ДСТУ, що стосуються персоналу, приміщень та умов довкілля, методів випробування і оцінювання придатності методів, устаткування, простежуваності вимірювання, відбирання зраз-

ків, поводження з досліджуваними пробами розроблено паспорт лабораторії, проект сфери акредитації та дані оцінювання методів випробування. ЛЯК має у своєму розпорядженні сучасне дозиметричне, радіометричне та спектрометричне обладнання, повністю укомплектована професійним персоналом, що постійно підвищує свою кваліфікацію як в Україні так і за кордоном. Відповідність вимогам та міжнародне визнання діяльності ЛЯК підтверджено успішною участю у 4 міжнародних програмах міжлабораторних досліджень організованих служба аналітичного контролю якості МАГАТЕ, Інститутом ядерної хімії і технології (Варшава).

У кінці 2018 р. процес акредитації ЛЯК ЦЕП АЕ ІЯД НАН України було успішно завершено та отримано Атестат акредитації НААУ і затверджену сферу акредитації.

РАДІОЛОГІЧНА РЕАБІЛІТАЦІЯ НЕРІВНОМІРНО ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ КОЛИШНІХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ

**Ю. В. Хомутінін, С. Е. Левчук, В. О. Кашпаров, М. М. Лазарєв,
В. П. Процак, В. В. Павлюченко**

*Український науково-дослідний інститут сільськогосподарської радіології
Національного університету біоресурсів
і природокористування України, Київ, Україна*

Однією із найбільш актуальних і складних задач на сьогодні є повернення земель, які після аварії на ЧАЕС були віднесені до другої зони радіоактивного забруднення, у сільськогосподарське використання. Для прийняття управлінських рішень про повернення у господарське використання забруднених радіонуклідами сільськогосподарських угідь крім інформації щодо щільності їхнього забруднення ^{137}Cs , ^{90}Sr та ізотопами плутонію необхідна оцінка рівнів забруднення сільськогосподарської продукції, яка може бути вироблена на цих угіддях.

Базовою інформацією для прогнозування концентрації активності радіонуклідів у сільськогосподарській продукції, яку планується вирощувати на даному угідді, є просторовий розподіл радіоактивного забруднення (концентрація активності радіонукліда або щільність забруднення) в його межах. Також необхідні актуальні коефіцієнти накопичення радіонуклідів в сільськогосподарських культурах. Для отримання коректних оцінок радіоактивного забруднення має бути представлено у вигляді карт (масштабом не нижче 1:25000), які відображають його просторову неоднорідність.

У цій роботі концентрація активності радіонукліда у ґрунті, коефіцієнти накопичення розглядаються як випадкові величини, які описуються логнормальними законами розподілу ймовірностей з відомими параметрами. Варіабельність цих випадкових величин вивчалась авторами в попередні роки.

Такий ймовірнісний підхід дає змогу отримати оцінку не тільки середніх (медіанних) значень радіонуклідного забруднення продукції $\bar{C}_p$, а і їхні довірчі границі та ризики q перевищення встановлених нормативних значень C_p^0 . Ця методологія була апробована на не рівномірно забруднених в результаті аварії на ЧАЕС і виведених із господарського використання полях, які розташовані в Народицькому та Поліському районах Житомирської та Київської областей відповідно. При наявності на досліджуваному угідді градієнта забруднення, його необхідно розбити на ділянки з рівномірним розподілом радіонуклідів, на яких щільність поверхневого забруднення знаходиться в інтервалі $\bar{A}^i \cdot GSD^{\pm 1}$, де $\bar{A}^i$ – медіана щільності поверхневого забруднення на i -й ділянці; GSD – стандартне геометричне відхилення щільності забруднення ^{137}Cs на безградієнтній ділянці. Таким чином, середнє значення концентрації активності радіонукліда у врожаї буде визначатись, як сума таких величин для кожної з рівномірно забруднених ділянок, зважених за їхніми площами.

На основі ймовірнісного підходу до оцінювання радіонуклідного забруднення угідь і продукції, яка на них виробляється, запропонований підхід обґрунтування повернення їх до господарського використання.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ РЕЛАКСАЦИИ В ДИСПЕРСНЫХ ПАРАМАГНИТНЫХ СРЕДАХ

**Ю. Б. Шевченко¹, В. А. Либман¹, Т. М. Малишева²,
В. В. Тришин¹, Л. Е. Червонна¹**

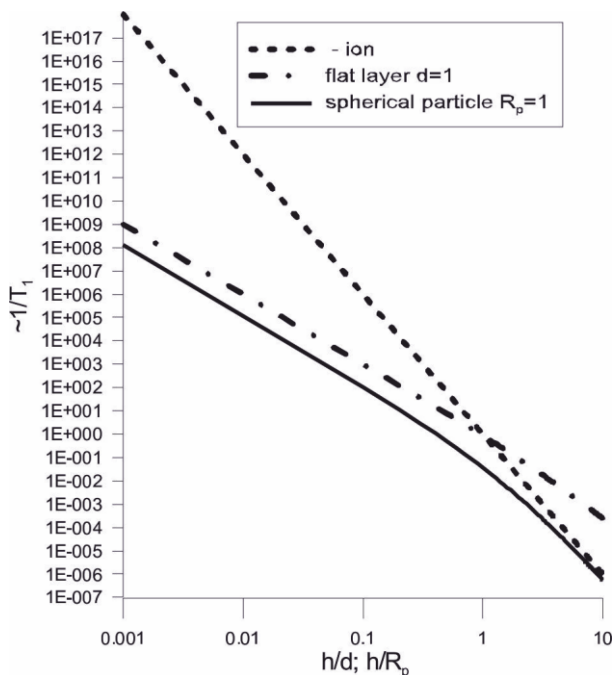
¹ *Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина*

² *Университет Висконсин, Грин-Бей, США*

Рассмотрена релаксация ядра дисперсионной среды под действием дисперсной частицы, содержащей парамагнитные ионы. Показано, что если электронные волновые функции ионов не перекрываются, действие частицы равно сумме действия отдельных ионов.

Получено уравнение, описывающее релаксацию ядра под действием частицы произвольной формы, содержащей парамагнитные ионы. Заменяя суммирование интегрированием, мы провели расчёты распределения средних квадратов локальных дипольных магнитных полей $S_L(h)$ вокруг ряда модельных частиц, имеющих различную форму (здесь h – расстояние между ядром и частицей). Если принять, что частицы не изменяют параметры растворителя или дисперсионной среды, распределение локальных магнитных полей $S_L(h)$ однозначно совпадает с распределением скоростей релаксации $1/T_1$ ядер дисперсионной среды вокруг парамагнитной частицы [1]. В этом приближении, используя полученные $S_L(h)$, мы написали соотношения, связывающие скорость релаксации с параметрами для некоторых перспективных нейтронозахватных агентов и релаксационно-

контрастных веществ для ЯМР диагностики. К ним, например, относятся содержащие гадолиний липосомы трёх типов (гадолиний на поверхности или в полости липосом и комбинации этих локализаций), сферические наночастицы гидроксиапатита и клубки полимеров, пластины гидроксиапатита. Значение пространственных факторов для частиц различной формы при малых расстояниях ядра от частицы может различаться на порядок, а в сравнении с парамагнитными ионами это различие может достигать десяти порядков (рисунок).



Распределение локальных магнитных полей и скоростей релаксации вокруг парамагнитной частицы (в относительных единицах).

R_p – радиус сферической частицы, d – толщина плоской частицы.

Анализ полученных уравнений показывает, что скорость релаксации определяется не абсолютной величиной расстояния ядра от частицы, а соотношением расстояния и характеристического размера частицы - радиуса сферической частицы или толщиной слоя. Т.е., характеристический размер частицы играет роль масштаба расстояния.

1. A.A. Abragam. *The Principles of Nuclear Magnetism* (Oxford: Clarendon Press, 1961).

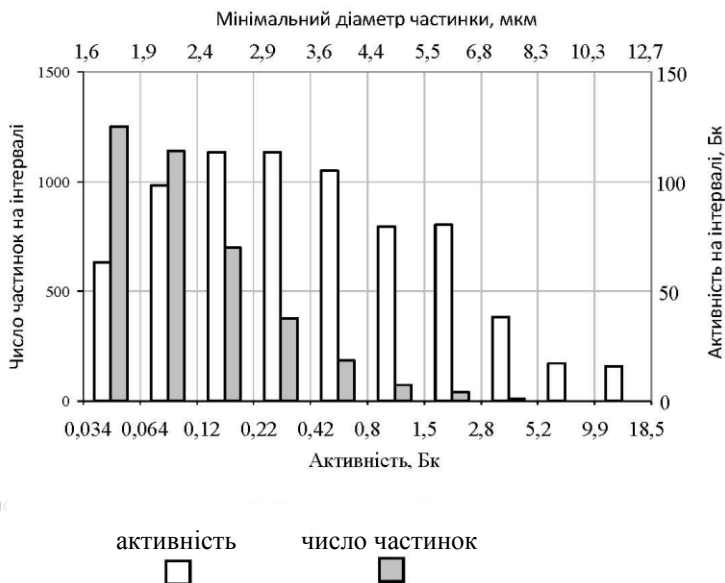
НОВИЙ БЕЗПЕЧНИЙ КОНФАЙНМЕНТ І РАДІОАКТИВНІ АЕРОЗОЛІ В БЛИЖНІЙ ЗОНІ ЧАЕС

В. К. Шинкаренко, В. О. Кашпур, Г. Г. Скоряк, А. В. Ткач

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Чорнобиль, Україна

Наведено дані про стан забруднення радіоактивними аерозолями приземного шару атмосфери ближньої зони ЧАЕС після спорудження арки нового безпечного конфайнмента. Незважаючи на досить високу питому активність повітря під накриттям конфайнмента внаслідок проведення робіт під ним, на прилеглий території спостерігається зменшення рівня забруднення приземного шару повітря не лише порівняно з рівнем під час будівництва арки, а й з рівнем, що передував початку будівництва.

Відсутність кореляцій між об'ємними активностями ^{137}Cs у повітрі всередині і зовні конфайнмента свідчить про відсутність суттєвого впливу виносу радіоактивного аерозолю з-під об'єкта «Арка» на об'ємну активність аерозолю в інших пунктах спостережень. В свою чергу, наявність достовірних кореляцій між об'ємними активностями, зареєстрованими в точках відбору поза межами конфайнмента, вказує на наявність спільних факторів, що впливають на рівень радіоактивних аерозолів в місцях відбору (швидкість і напрям вітру, наявність опадів чи снігового покриву, вологість ґрунту, антропогенні фактори, тощо).



Розподіл числа частинок та їхньої сумарної активності за інтервалами логарифма активності.

На повітряних фільтрах, експонованих під аркою конфайнмента, авторадіографія виявила значні середньодобові концентрації бета-активних «гарячих» частинок – до $9,0 \text{ м}^{-3}$. При цьому, по відношенню до раніше експонованих фільтрів спостерігається зменшення частки крупних «гарячих» частинок, що пояснюється особливостями розташування пробовідбірника, який виявився відділеним стіною машинного залу від основного простору об'єкта «Арка» і, відповідно, від місць проведення робіт під цим об'єктом. На рисунку наведена гістограма розподілу частинок по активності для одного з фільтрів.

МОЖЛИВИЙ ВПЛИВ ЗАТОПЛЕННЯ ШАХТ ЦЕНТРАЛЬНОГО ДОНБАСУ НА ЗМІНИ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ КАМЕРИ АТОМНОГО ВИБУХУ НА ШАХТІ «ЮНКОМ»

Є. О. Яковлєв

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
НАН України, Київ, України*

Затоплення шахти є багатофакторним процесом зміни екологічного стану складної техногенно-геологічної системи (ТГС) «шахта – геологічне середовище», який характеризується проявом значного комплексу процесів, ряд з яких можна віднести до автореабілітаційних, тобто, таких що розвиваються на основі дії регіональних факторів геологічного середовища.

До основних з них, що спричиняють найбільші зміни гірничо-геологічних умов виробок і рівноваги породного масиву можна віднести :

- регіональний підйом рівнів підземних вод у межах територій "вододіл – річкова мережа";
- прискорення міграції техногенних забруднень внаслідок активізації водообміну в зоні аерації (ненасиченої фільтрації) та водопровідних тріщин кори суцільного вивітрювання вугленосних порід;
- прискорене водонасичення техногенно порушеного породного масиву зі зменшенням його міцності та деформаціями гірничих виробок та денної поверхні.

Крім вказаних, значною мірою до автореабілітаційних процесів, що супроводжують закриття шахт в вуглевидобувних районах (ВДР) Донбасу, на нашу думку, можна віднести додаткові просідання порід з проявами техногенних сейсмострушувань при їхньому водонасиченні і формування нових шляхів міграції вибухонебезпечних та токсичних газів (метан, радон).

Промисловий підземний ядерний вибух (ПЯВ) потужністю до 300 тонн у тротиловому еквіваленті (0,3 кт) на шахті «Юнком» (Донецька область, м. Юнокоммунарівськ, південно-східна окраїна Центрального ВДР, 1979 р.) на глибині 903 м був здійснений за умови активного водовідливу у суміжних шахтах «Красний Октябрь» та «Полтавська».

За цих умов водоприплив у шахту «Юнком» був відносно зменшеним

(230 - 250 м³/год), що сприяло відносній стабільності гідрогеомеханічного режиму камери вибуху та прилеглого породного масиву за умови її «сухої консервації». Водночас, після початку затоплення шахти «Юнком»(травень-квітень 2018 р.) швидкість підйому рівня води сягала 30 - 127 м/міс, що у декілька разів перевищувало фонові значення. На нашу думку, це було пов'язано з впливом повного водонасичення прилеглих порід, обмеженням внаслідок цього простору розвитку депресії та значними напірними градієнтами підземного потоку між сусідніми шахтами «Красний Октябрь» та «Полтавська» (450 і 770 м відповідно).

Вищенаведена особливість формування гідрогеофільтраційного потоку при затопленні породного масиву з камерою атомного вибуху може сприяти нерівномірному розвитку гідрогеомеханічних напружень та формуванню техногенної тріщинуватості з прискореним гідравліко-фільтраційним рухом радіонуклідно забруднених вод.

Виконані оцінки швидкості розчинення осклованого розплаву порід, що містить радіонукліди, дають змогу дійти висновку про можливість появи радіонуклідів ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr у слідових кількостях у зоні активного водообміну, що вимагає виконання відповідних моніторингових спостережень у наближених до шахти «Юнком» джерелах питного водопостачання, розташованих на підконтрольній Україні та тимчасово окупованій території Центрального Донбасу.

Авторський показчик

- | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Абрамович Х. 39 | Будик Д. В. 94, 100 | Горбаченко О. М. 32 |
| Абрамюк І. І. 187 | Буканов В. Н. 87 | Горенштейн М. І. 19, |
| Абросімов В. І. 17 | Бурдо О. О. 143, 151 | 35 |
| Аксьонов А. В. 96 | Бурдо О. С. 123 | Горпинич О. К. 64 |
| Анохін І. Є. 103 | Бурше А. Фр. 42 | Грабовський Ю. І. 113 |
| Асламова Л. І. 113 | Валежний Е. Б. 99 | Григор'єв У. В. 19 |
| Атаманюк Н. П. 148 | Валяев А. М. 176 | Гримало А. К. 43 |
| Бабак О. В. 18 | Варніна В. І. 105 | Гриневич Ю. П. 143 |
| Бабенко Т. Ф. 159 | Велешук В. П. 108 | Грицай О. О. 43 |
| Барсук С. Я. 62, 66, 71 | Венедиктов В. М. 43 | Гриценко А. В. 87 |
| Бездробна Л. К. 146 | Вишневський Д. О. 166 | Грушко В. І. 72 |
| Безшийко О. А. 40 | Вірко В. Ф. 125 | Гудков Д. І. 161, 187 |
| Белаш Н. Н. 99 | Вірко Ю. В. 125 | Гулик В. І. 89, 94, 100 |
| Беллі П. 51, 52, 53, 70 | Вітюк В. К. 168 | Давидовська О. І. 17, |
| Беляєв В. В. 161 | Водін О. М. 40 | 21 |
| Беляновська О. А. 36 | Войтенко Л. М. 126, | Давидовський В. В. 22 |
| Бенхамму Я. 39 | 139 | Даневич Ф. А. 51, 52, |
| Берестяна Ж. М. 154 | Войтер А. П. 45, 55 | 53, 55, 70 |
| Бернабей Р. 51, 52, 53, | Войцехович О. В. 178 | Демехин В. Л. 87 |
| 70 | Волкова О. М. 161 | Денисов В. Ю. 21, 36 |
| Белаш М. М. 76 | Высотский Е. Д. 77 | Деюн Я. А. 168 |
| Биланд А. 89 | Габелков С. В. 106 | Дзюблик О. Я. 44, 110 |
| Білодід Ю. 100 | Гайдар Г. П. 105, 108 | Ді Марко А. 70 |
| Білько Д. І. 141 | Гайдар О. В. 168, 192 | Добішук В. М. 42, 58 |
| Білько Н. М. 141 | Гальченко В. В. 94, 100 | Дорічевська Р. Ю. 159 |
| Божок О. В. 192 | Ганжа О. Б. 142, 152 | Доронін М. І. 45, 55 |
| Бойко Р. С. 70 | Ганжа Х. Д. 187 | Дорошенко А. А. 79 |
| Бондарьков Д. М. 163 | Гарькава Н. А. 159 | Дорошенко А. О. 82, |
| Борзаковський А. Є. | Главін О. А. 147 | 182 |
| 104 | Гладковська О. В. 127 | Дрозд І. П. 148, 170 |
| Борисенко А. Г. 121, | Гладковський В. В. | Дружина М. О. 144, |
| 122 | 126, 127, 139 | 147 |
| Борисенко В. І. 81, 86, | Годун Р. Л. 77, 78, 79, | Жданков В. Н. 52 |
| 92 | 82, 91 | Желтоножська М. В. |
| Борисов О. 39 | Голіней І. Ю. 110 | 157, 158 |
| Борисова М. 39 | Голінка-Безшийко Л. О. | Желтоножський В. О. |
| Боровець М. І. 104 | 40 | 47, 48, 49, 157, 158, |
| Боровлев Ю. А. 52 | Голюк М. И. 89 | 163 |
| Борсук О. А. 163 | Голяк М. Г. 80, 101 | Жиганюк И. В. 106 |
| Борщ В. В. 115 | Гонтарук О. М. 115 | Жук В. В. 150 |
| Бруданін В. Б. 51 | Горанчук В. В. 81 | Жуков О. П. 192 |

- Заболотний М. А. 113
 Завада М. В. 115
 Заикин Г. Г. 49, 50
 Заневський О. О. 72
 Зарицький М. М. 51
 Зарубина Н. Е. 173
 Зелена Л. Б. 157, 158
 Зігунов В. В. 76
 Зонтов А. В. 176
 Зонтова Л. В. 176
 Іванівська Т. С. 145
 Іванов Ю. В. 104
 Ільїн А. П. 67
 Ількович В. В. 83
 Інчікитті А. 51, 52, 53, 70
 Каглян О. Є. 187
 Кадашук А. К. 119
 Каденко І. М. 40
 Калиновський А. К. 174
 Капелла Ф. 51, 52, 53, 70
 Карачіоло В. 51, 52, 53, 70
 Касперович Д. В. 51, 52, 53, 55, 70
 Кашпаров В. О. 193
 Кашпур В. О. 190, 196
 Кемпер К. В. 61, 64, 67
 Кива В. О. 57, 63, 66, 71
 Киск М. 89
 Кір'єв А. М. 72
 Клавдієнко В. Р. 55
 Кобичев В. В. 51, 53, 55, 70
 Коваленко О. В. 175
 Ковалінська Т. В. 104
 Коваль С. В. 145
 Ковальов О. М. 45, 55
 Ковальчук О. С. 57, 62, 66, 71
 Ковальчук Л. А. 178
 Ковтун Г. П. 53
 Ковтун Н. Г. 53
 Колесниченко Я. І. 123, 129, 131, 136
 Колієв С. М. 58, 59
 Колієва К. В. 58
 Колосинська О. О. 154, 159
 Колосов А. И. 59, 72
 Кондратенко О. С. 105
 Конорева О. В. 108, 114, 115
 Коровин В. Ю. 176
 Костін Е. Г. 121, 126, 139
 Кот О. А. 58, 59
 Котенко А. В. 40
 Кощий Є. І. 67
 Краснов В. А. 78, 174
 Кряжич О. О. 175
 Кудлай В. Г. 106
 Кузьменко Г. Г. 190
 Кулич Н. В. 163
 Курочкіна В. А. 146
 Куртева А. А. 26
 Кутний Д. В. 99
 Кухоцька О. В. 84
 Куц В. І. 104
 Кушнір В. А. 40
 Кушпий А. А. 49
 Куштим А. В. 76
 Лаврова Т. В. 178
 Лазарєв М. М. 193
 Лаптев Г. В. 189
 Лаубенштейн М. 53
 Лев Т. Д. 179, 190
 Леві А. 39
 Леві І. 39
 Левон А. І. 17
 Левчук С. Е. 193
 Леперк
 П'єр Луїс Андре 62, 71
 Либман В. А. 194
 Липська А. І. 142, 143, 144, 148, 151, 152
 Лисенко О. Г. 72
 Литовченко П. Г. 114, 115
 Літвінов С. В. 150, 181
 Лук'янов С. В. 27
 Луценко В. В. 129, 131
 Люттер Г. 55
 Магнер О. Г. 19, 35
 Мазний І. О. 45, 55
 Майданюк С. П. 28, 37
 Маковецька Л. І. 147
 Масвська Т. І. 104
 Маковский М. В. 59
 Маковский Е. А. 174
 Малий Є. В. 115
 Малишева Т. М. 194
 Малюк І. А. 192
 Марценюк Л. С. 116
 Марченко В. С. 133
 Межевич С. Ю. 61
 Мизніков Д. Є. 49
 Микитюк Т. В. 72
 Михайленко В. М. 147
 Михайлов Л. В. 59, 72
 Михайловський В. В. 110
 Михайлюк В. П. 18
 Міліція В. М. 57, 62, 66, 71
 Мітроченко В. В. 40
 Міцкевич Є. І. 72
 Момот Є. Л. 63
 Муляр Д. О. 82, 182
 Мызников Д. Е. 163
 Недибалюк О. А. 134
 Незговорова Г. А. 154
 Нестеров В. О. 21
 Ніколаєв В. І. 151
 Новіков А. М. 183
 Носовський А. В. 89
 Оберемок О. С. 126, 139

- Обрізан С. М. 163
Одинокін Г. І. 89, 91
Одінцов О. О. 155
Олійник С. М. 40
Ольховський В. С. 31
Омельченко С. А. 31
Орлов О. О. 185
Осташко В. В. 49
Охріменко О. Ю. 58, 59, 74
Тартачник В. П. 114
П'ясецькі Е. 67
Павленко І. О. 186
Павловський Ю. В. 114
Павловський В. В. 187
Павлюченко М. І. 182
Павлюченко В. В. 193
Палій М. І. 66, 71
Пархомчук П. Е. 106
Пастук В. 89
Пахаренко М. В. 141
Пережогін С. А. 40
Петренко Є. О. 58, 59
Петренко І. В. 108, 114
Петросян Е. Є. 72
Петряков В. О. 126, 139
Пискун В. Н. 179
Пінковська М. Б. 105, 114
Піонтковський Ю. Ф. 86
Пірнак В. М. 67
Пірнак Л. С. 189
Плескач О. Я. 148
Плюйко В. А. 32
Повар Т. В. 40
Поворозник О. М. 64
Пода Д. В. 53
Поліщук О. Б. 157, 158
Поліщук О. Г. 51, 52, 53, 55, 70
Поліщук С. С. 126, 127, 139
Полозов Б. П. 126, 127, 139
Понкратенко О. А. 61, 64, 65, 67
Порицький П. В. 135
Прокопюк Г. А. 168
Прохорова Є. М. 148
Процак В. П. 193
Пугач А. М. 87
Пугач В. М. 42, 57, 58, 59, 62, 63, 66, 71, 74
Пугач С. М. 87
Пчеловська С. А. 150
Пшеничний Я. В. 43
Радіонов С. В. 33, 34
Радкевич О. І. 114
Рамазанов Д. В. 66, 71
Рамазанов Д. М. 62
Рашидов Н. М. 181
Ревка В. М. 80, 88, 93, 97, 101
Резник С. М. 133
Рилошко В. О. 104
Родіонова Н. К. 142, 145, 151
Розенфельд А. Б. 103
Рокицький О. 121, 126, 139
Романенко І. М. 89
Романюк М. В. 67
Романюк В. Р. 105
Руденко Т. П. 59
Руденко Т. С. 131
Рудик О. Ф. 192
Рудчик А. А. 61, 64, 65, 67
Рудчик А. Т. 61, 64, 65, 67
Рудь О. Д. 126, 127, 139
Русек К. 61, 64, 67
Руссу І. 3. 141
Рябченко Н. М. 142, 151, 152
Рязанов В. В. 117
Саврасов А. М. 47, 48, 49
Садовніков Л. В. 157, 158
Саженьюк А. Д. 186
Сакута С. Б. 61, 67
Салівон А. Г. 150
Санжур А. І. 27
Сахно В. І. 104
Сваричевська О. В. 186
Свята Л. М. 135
Святун О. В. 186
Семенюк В. Ф. 125
Сергійчук Н. М. 157, 158
Сизов А. А. 174
Сімейко К. В. 90
Склярченко Л. М. 145
Скорбун А. Д. 106
Скоряк Г. Г. 196
Слабоспицька О. О. 76
Слісенко В. І. 49, 163
Сова О. А. 151
Соколов А. М. 68
Соколова Д. О. 150
Сокур Н. В. 70
Солодовник К. М. 32
Спивак В. Ю. 110
Стадник С. Н. 79, 91
Старчик М. І. 105
Степаненко Ю. М. 64, 65, 67
Столяж А. 67
Столярова О. Ю. 66, 71
Сторожик Д. І. 57, 62, 66, 71
Стрільчук М. В. 192
Строєк І. 67
Сугаков В. Й. 118
Сухий К. М. 36
Сушко В. О. 154
Сущенко К. А. 77

- Сюдак Р. 67
 Талерко М. М. 179, 190
 Талько В. В. 142, 148
 Тартачник В. П. 108, 115
 Татаренко О. М. 154
 Татаринов В. Р. 99
 Телецька С. В. 143, 186
 Терещенко Т. А. 134
 Тесаліна С. 53
 Тихий А. В. 136
 Тищенко О. Г. 179
 Тищук П. В. 134
 Тітїмець І. О. 92
 Тіщенко А. І. 138
 Ткач А. В. 196
 Ткачов Д. С. 52
 Ткачов С. В. 52
 Тодосієнко Е. С. 189
 Тонкаль Л. В. 150
 Третьак В. І. 51, 52, 53, 55, 70
 Тригубенко О. В. 93, 101
 Тришин В. В. 155, 168, 192, 194
 Трофименко А. Р. 94
 Тршчїньска А. 67
 Тугай А. В. 157, 158
 Тугай Т. І. 157, 158
 Улещенко В. В. 64, 65, 67
 Устінов А. І. 72
 Фанлейб О. М. 104
 Фаус-Гольф А. 62, 66, 71
 Федірко П. А. 159
 Федірчик І. І. 134
 Федорович О. А. 57, 62, 121, 126, 127, 139
 Федорченко В. І. 146
 Федоткин С. Н. 35
 Филиппов А. В. 174
 Фіщук І. І. 119
 Фурса А. Д. 22
 Хойзер Й. М. 63
 Хоменков В. П. 36
 Хомич І. А. 95, 104, 146
 Хомутінін Ю. В. 193
 Хотяїнцев В. М. 96
 Циганок Т. В. 146
 Чайковський Ю. В. 88, 97, 101
 Чаплинський Р. Ю. 72
 Чаус А. В. 66, 71
 Чепурнов О. О. 67
 Червонна Л. Е. 194
 Чередник С. В. 59
 Чернишенко С. Б. 74
 Чернишов А. В. 161
 Чернов И. А. 99
 Чернюк А. А. 118
 Черняк В. Я. 134
 Черулли Р. 51, 52, 53, 70
 Чиколовец С. А. 106
 Чирко Л. І. 80, 88, 93, 97, 101
 Чувашов Ю. М. 89
 Шаров А. Ф. 49
 Шаульський К. А. 37
 Шахов В. П. 43
 Шевель В. М. 126
 Шевченко Ю. Б. 194
 Шеляговський Д. О. 100
 Шиліна Ю. В. 150
 Шинкаренко В. К. 196
 Ширма Ю. О. 64, 65, 67
 Шитюк В. А. 151
 Шкапак О. В. 80, 88, 97, 101
 Шлапак І. І. 94, 100
 Шлапацька В. В. 108
 Шлегель В. Н. 52
 Щербань О. П. 53
 Яковенко Ю. В. 138
 Яковлєв Є. О. 170, 197
 Яценко Ю. В. 179
 Aslamova L. I. 171
 Barsuk S. 46
 Bezshyyko O. A. 46
 Bondar B. M. 41
 Bucurescu D. 60
 Burdo O. O. 165
 Burmistrov L. 46
 Chaumat V. 46
 Chernyak D. N. 75
 Chernyak V. 124
 Chiba S. 24
 Denisov V. Yu. 23
 Dzyublik A. Ya. 112
 Faestermann T. 60
 Golinka-Bezshyyko L. O. 46
 Goloborod'ko V. 128
 Gorbachenko O. M. 41
 Gurin A. 128
 Hertenberger R. 60
 Ishiniwa H. 165
 Ishizuka C. 24
 Iukhymenko V. 124
 Ivanyuk F. A. 24
 Kadenko I. M. 41
 Kirkilevskaya L. N. 171
 Kolesnichenko Ya. I. 137
 Krivenko-Emetov Ya. D. 25
 Lepiavko B. S. 132
 Leshchenko B. Yu. 41
 Levon A. I. 60
 Lypska A. I. 165
 Magner A. G. 60
 Martysh E. 124
 Nanba K. 165
 Nikolaev V. I. 165
 Nikulin D. 124
 Obikhod T. V. 29, 30
 Pascu S. 60
 Petrenko I. A. 29
 Plujko V. A. 41

Puill V. 46
Sadovnikov L. V. 156
Schlomo Shalom 38
Shevchenko K. P. 60
Shevchuk A. A. 60
Shityuk V. A. 165
Solodovnik K. M. 41
Solyanik G. I. 171
Spivak V. Yu. 112

Stocchi A. 46
Sukhomlyn M. 124
Tishchenko A. I. 132
Tsyvd N. 124
Tugay T. I. 156
Tugay A. V. 156
Tyshchenko M. H. 137
Usang M. D. 24
Veremii Iu. 124

Vishnevskiy D. O. 165
Wirth H.-F. 60
Yakovenko Yu. V. 132,
137
Yeroshenko V. A. 46
Zabolotnyy M. A. 171
Zheltonozhskaya M. V.
156
Zheltonozhsky V. O. 156

Наукове видання

**XXVI ЩОРІЧНА
НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ
ІНСТИТУТУ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
НАН УКРАЇНИ**

(Київ, 8 - 12 квітня 2019 року)

Тези доповідей

Укладач *Михайловський Віталій Валерійович*

Тези публікуються в авторських редакціях

Комп'ютерна верстка *О. Д. Григоренко*

Підп. до опублікування 24.06.2019. Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 11,9.
Електронне видання. Зам. № 3.

Інститут ядерних досліджень НАН України,
просп. Науки, 47, м. Київ, 03028, тел. (044) 525-14-56
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4051 від 18 квітня 2011 р.