

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
XX ЩОРІЧНОЇ
НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

Інституту ядерних досліджень НАН України

28 січня - 01 лютого 2013 р.
Київ, Україна

Київ 2013

Програмно-організаційний комітет конференції:

- Слісенко В. І. – голова комітету (атомна енергетика)
Сугаков В. Й. – заступник голови комітету (радіаційна фізика та радіаційне матеріалознавство)
Колесниченко Я. І. – заступник голови комітету (теорія ядерного синтезу та фізика плазми)

Члени:

- Вербицький В. П. – видання тез
Дорошко Н. Л. – учений секретар ІЯД НАН України
Дрозд І. П. – радіобіологія та радіоекологія
Іванюк Ф. О. – теоретична ядерна фізика
Ковалінська Т. В. – голова ради молодих учених ІЯД НАН України
Луценко В. В. – розробка ВЕБ-сторінки
Павленко Ю. М. – експериментальна ядерна фізика

Секретарі:

Бурдо О. С., Лук'янов С. В., Пугач О. М., Святун О. В.

Друкується за рішенням вченої ради інституту від 06.11.12.

Адреса програмно-організаційного комітету:

Інститут ядерних досліджень НАН України,
Проспект Науки, 47,
03680, Київ, Україна

ЗМІСТ

Секція 1. Ядерна фізика

Полуклассическая функция отклика для парных вибраций в тяжелых ядрах	
<i>В. И. Абросимов, Д. М. Бринк, Ф. Матера</i>	19
Потенціали ядерної взаємодії дейтронів з важкими ядрами в моделі однократної згортки	
<i>О. В. Бабак, В. П. Вербицький, О. Д. Григоренко</i>	19
Використання лавинних фотодетекторів у режимі гейгера в ядерній фізиці, медичній фізиці та ФВЕ	
<i>О. А. Безиийко</i>	20
Оцінка ефективності використання твердотільних трекових детекторів для дослідження фотоядерних реакцій з вильотом заряджених частинок	
<i>О. А. Безиийко</i>	21
Дослідження непружних процесів при взаємодії дейтронів із тритонами	
<i>О. О. Белюскіна, В. І. Гранцев, В. В. Давидовський, К. К. Кісурін, С. Є. Омельчук, Ю. С. Рознюк, Б. А. Руденко, В. С. Семенов, Л. І. Слюсаренко, Б. Г. Стружко</i>	22
Пружне розсіяння 27,4 МеВ дейтронів тритонами	
<i>О. О. Белюскіна, В. І. Гранцев, В. В. Давидовський, К. К. Кісурін, С. Є. Омельчук, Ю. С. Рознюк, Б. А. Руденко, В. С. Семенов, Л. І. Слюсаренко</i>	23
Збудження ізомерних станів у реакції (γ, γ') на ізотопах ^{77}Se, ^{79}Br, ^{89}Y, ^{103}Rh, ^{107}Ag, ^{109}Ag, ^{111}Cd, ^{137}Ba, ^{179}Hf, ^{197}Au, ^{199}Hg	
<i>В. С. Бохінюк, В. І. Жаба, О. М. Парлаг, О. Г. Окунев, О. М. Фрадкін</i>	24
Эффекты проникновения в E1, E2-запрещенных переходах в ^{120}Sn	
<i>И. Н. Вишевский, С. С. Драпей, В. А. Желтоножский, А. Н. Саврасов</i>	25
Випромінювання нейтронів з ядер ^9Be під дією позитронів	
<i>І. М. Вишевський, В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов, Є. П. Ровенських</i>	25
Фотоділення ^{235}U	
<i>І. М. Вишевський, В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов, Є. П. Ровенських</i>	26

Архітектура вимірювальної системи для багатопараметричних експериментів	
<i>А. П. Войтер, Ю. М. Павленко, М. І. Доронін, О. М. Ковальов, І. О. Мазний</i>	26
Аналіз методики отримання набору усереднених σ_{tot}	
<i>С. П. Волковецький, О. О. Грицай, В. А. Лібман</i>	27
Хвильова функція і параметри дейтрона	
<i>І. І. Гайсак, В. І. Жаба</i>	28
Вплив диска, що обертається, на форму гамма-спектра	
<i>В. І. Гранцев, А. М. Саврасов, К. К. Кісурін, Ю. С. Рознюк</i>	29
Удосконалення алгоритму обчислення нейтронних перерізів при використанні методу зміни середньої енергії фільтра	
<i>А. К. Гримало, О. О. Грицай, В. А. Пшеничний</i>	29
Пошук α-розпаду ^{151}Eu на перший збуджений рівень ^{147}Pm	
<i>Ф. А. Даневич, Е. Андреотті, М. Хюльт, Г. Маріссенс, В. І. Третьак, А. Юксель</i>	30
Кластерний розпад $^{242}\text{Cm} \rightarrow ^{34}\text{Si} + ^{208}\text{Pb}$ у багатовимірній моделі	
<i>В. Ю. Денисов</i>	31
Збудження ядер електронним переходом (NEET)	
<i>О. Я. Дзюблик</i>	31
Аналитическое представление интегралов перекрытия для амплитуды многочастичного кулоновского расщепления	
<i>А. П. Ильин</i>	32
Цифрова система вимірювання струму пучка циклотрона У-240	
<i>О. М. Ковальов, А. П. Войтер, О. С. Вальков, М. І. Доронін, А. І. Устінов</i>	33
Генератор кодів	
<i>О. М. Ковальов, О. О. Гаврилов</i>	34
Розробка системи моніторингу профілю і положення пучків іонізуючого випромінювання на базі ММД	
<i>О. С. Ковальчук, В. М. Пугач, О. А. Федорович, Д. І. Сторожик, В. М. Міліція, Г. Рем</i>	35
Вплив дифузії в імпульсному просторі на процеси релаксації в ядерній фермі-рідині	
<i>В. М. Коломієць, С. В. Лук'янов</i>	36
Ефекти кривизни та ізотопічної асиметрії в поверхневій енергії нейтронно-надлишкових ядер	
<i>В. М. Коломієць, А. І. Санжур</i>	36
Дослідження впливу ефекту змішування станів непарних ядер на перерізи прямого непружного розсіяння нуклонів	
<i>І. О. Корж, А. Д. Фурса</i>	37

Амплітудна калібровка зчитувального чіпа N-XYTER 1.0	
<i>В. В. Крилов, Ю. Є. Сорокін.....</i>	38
Розподіл електронів за енергією “в піку нульової енергії”	
<i>В. Т.Купряшкін, В. А. Лашко, Л. П. Сидоренко, О. І. Феоктістов.....</i>	38
Перенормировка констант слабого взаимодействия в ядрах	
<i>А. А. Куртева.....</i>	39
Експериментальні дослідження тонких плівок та поверхневих шарів матеріалів методом зворотного резерфордівського розсіяння на тандем-генераторі ЕГП-10К	
<i>Д. А. Кушпій, О. К. Горпинич, І. П. Дряпаченко, Л. Л. Дулгер, Г. Г. Заїкін, Д. В. Касперович, Т. О. Корзина, Е. М. Можжухін, В. В. Осташко, Ю. М. Павленко, А. В. Степанюк, А. Ф. Шаров.....</i>	40
Експеримент СВМ. Кремнієва трекерна система для реконструкції фізичних подій	
<i>А. О. Лиманець, Я. В. Панасенко.....</i>	41
Квазікласична теорія транспортних коефіцієнтів для повільного руху нуклонів в ядрах	
<i>О. Г. Магнер, Я. П. Блоцкі.....</i>	42
Квантовая динамика эволюции вселенной на раннем этапе и плотность, зависящая от скорости ее расширения	
<i>С. П. Майданюк.....</i>	43
Туннелирование в полях Дирака: парадокс Клейна и другие необычные особенности	
<i>С. П. Майданюк.....</i>	45
Позиційно-чутливі мікродетектори для дифрактометрії швидкоплинних процесів	
<i>В. М. Міліція, В. В. Бурдін, Д. І. Денисюк, М. Кемпбел, О. С. Ковальчук, К. Ллопарт, Б. Мінаков, О. Ю. Охріменко, С. Поспішил, М. В. Пугач, В. М. Пугач, Д. І. Сторожик, О. А. Федорович.....</i>	46
Корельованість напрямку руху електронів Оже з напрямком руху електрону внутрішньої конверсії	
<i>М. Ф. Митрохович, В. Т. Купряшкін, Л. П. Сидоренко.....</i>	47
Електрони внутрішньої конверсії γ-переходу з енергією 362 кеВ в ^{165}Ho	
<i>М. Ф. Митрохович, А. П. Лашко, Т. М. Лашко, Л. П. Сидоренко.....</i>	48
Взаємодія дейтронів з легкими α-кластерними ядрами	
<i>В. П. Михайлюк.....</i>	49

Розробка сцинтиляційного кристала $PbWO_4$ з археологічного свинцю для низькофонових експериментів	
<i>В. М. Мокіна, Р. Бойко, Ю. Я. Вострєцов, Ф. А. Даневич, В. Я. Дегода, Х. Краус, В. Б. Михайлик, А. В. Рудь, І. А. Тупіцина, А. Г. Якубовська.....</i>	50
Вплив антисиметризації та поляризації на потенціал ядерно-ядерної взаємодії	
<i>В. О. Нестеров.....</i>	51
Сечення образования нейтрального бозона Хиггса МССМ модели в реакциях слияния глюонов и b-кварков с NNLO QCD расчетами	
<i>Т. В. Обиход.....</i>	51
Тунелювання частинок зі спіном	
<i>В. С. Ольховський, Т. І. Локотько.....</i>	52
Система радіаційного моніторингу експерименту LHCb: дослідження радіаційних ушкоджень внутрішнього трекера	
<i>О. Ю. Охріменко, В. М. Пугач, В. М. Яковенко.....</i>	52
Збудження і розпад резонансів ^5He і ^8Be в реакції $^7\text{Li}(d, \alpha\alpha)n$ при енергіях дейтронів 1,91 - 6,82 MeV	
<i>Ю. М. Павленко, О. К. Горпинич, В. В. Осташко, В. Л. Шаблов, А. В. Степанюк, Ю. Я. Карлишев, О. І. Олійник, Н. Л. Дорошко, Т. О. Корзина, І. П. Дряпаченко, Е. М. Можжухін, Л. Л. Дулгер, Д. В. Касперович.....</i>	53
Розпад першого збудженого стану ядра ^8Be в реакції $^{11}\text{B}(p, \alpha\alpha)\alpha$ при $E_p = 2,65$ MeV	
<i>Ю. М. Павленко, В. М. Пугач, В. Л. Шаблов, В. В. Осташко, О. К. Горпинич, А. В. Степанюк, В. О. Кива, Ю. Я. Карлишев, І. П. Дряпаченко, Е. М. Можжухін, Д. В. Касперович, Л. Л. Дулгер...</i>	54
Експеримент СВМ. Властивості детекторних модулів для кремнієвої трекерної системи	
<i>Я. В. Панасенко, Й. Хойзер, В. О. Кива, А. О. Лиманець, В. М. Пугач, Ю. Є. Сорокін.....</i>	55
Переріз захвату системи важких іонів, що приводить до утворення компаунд ядра з $Z = 120$	
<i>М. О. Пилипенко, В. Ю. Денисов.....</i>	56
До вивчення варіацій вторинних космічних променів	
<i>В. А. Пилипенко, Ю. В. Пилипенко, І. І. Гайсак, В. В. Соляник...</i>	57
Опис ефектів спарювання нуклонів парно-парних ядер у рамках адиабатичної тричастинкової моделі	
<i>Р. М. Плекан, І. В. Хіміч.....</i>	58
Вивчення спектра збудження ядра ^6He в енергетичному діапазоні 0 - 20 MeV	
<i>О. М. Поворозник.....</i>	59

Дослідження подвійного бета-розпаду ^{116}Cd за допомогою сцинтиляторів $^{116}\text{CdWO}_4$ із збагаченого ^{116}Cd	
<i>Д. В. Пода, О. С. Барабаш, П. Беллі, Р. Бернабей, Я. В. Васильєв, Є. М. Галашов, Ф. А. Даневич, А. Інчікітті, Ф. Каппелла, В. Караччіоло, С. Кастеллано, В. В. Кобичев, С. І. Коновалов, М. Лаубенштайн, Р. Б. Подвіянюк, О. Г. Поліщук, В. І. Третьяк, В. І. Уматов, Д. М. Черняк, Р. Черуллі, В. М. Шлегель.....</i>	60
Пошук подвійного бета-розпаду ізотопів осмію	
<i>Д. В. Пода, П. Беллі, Р. Бернабей, Г. П. Ковтун, Н. Г. Ковтун, Ф. А. Даневич, С. д'Анжело, А. Інчікітті, Ф. Каппелла, М. Лаубенштейн, О. Г. Поліщук, Д. А. Солопихін, В. І. Третьяк, Р. Черуллі, А. П. Щербань.....</i>	61
Енергетична залежність потенціалу взаємодії ядер $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$	
<i>О. А. Понкратенко, В. В. Улеценко, Ю. О. Ширма.....</i>	62
Залежність резонансних параметрів від масового числа	
<i>М. М. Правдивий, І. О. Корж.....</i>	63
Середні резонансні параметри ядер рутенію і паладію	
<i>М. М. Правдивий, І. О. Корж.....</i>	64
Властивості ядерних зіткнень при енергіях близько 10^{13} eВ	
<i>В. М. Пугач.....</i>	65
7D-методика дослідження багаточастинкових ядерних реакцій	
<i>М. В. Пугач, К. Гранія, М. Кемпбел, В. О. Кива, О. С. Ковальчук, К. Ллопарт, В. М. Міліція, О. Ю. Охріменко, Ю. М. Павленко, С. Поспішій, В. М. Пугач, Д. І. Сторожик, В. М. Яковенко.....</i>	65
Пружне та непружне розсіяння іонів ^{14}N ядрами ^6Li при енергії 80 MeВ	
<i>А. Т. Рудчик, О. В. Герашенко, С. Клічевські, К. Русек, Є. І. Коций, С. Ю. Межєвич, Вал. М. Пірнак, О. А. Понкратенко, А. А. Рудчик, Р. Сюдак, Я. Хоїньські, Б. Чех, А. Щурек.....</i>	66
Пружне й непружне розсіяння іонів ^{10}B ядрами ^6Li при енергії 51 MeВ	
<i>А. Т. Рудчик, Б. В. Міщенко, Є. І. Коций, С. Клічевські, К. Русек, А. А. Рудчик, С. Ю. Межєвич, Вал. М. Пірнак, В. А. Плюйко, О. А. Понкратенко, Р. Сюдак, Я. Хоїньські, Б. Чех, А. Щурек.....</i>	67
Механізми реакцій $^6\text{Li}(^{18}\text{O}, ^{12}\text{C})^{12}\text{B}$ та потенціал взаємодії ядер $^{12}\text{B} + ^{12}\text{C}$	
<i>А. Т. Рудчик, К. А. Черкас, А. А. Рудчик, Є. І. Коций, С. Клічевські, К. Русек, С. Ю. Межєвич, Вал. М. Пірнак, О. А. Понкратенко, Р. Сюдак, Я. Хоїньські, Б. Чех, А. Щурек.....</i>	67
Механізми реакцій $^6\text{Li}(^{18}\text{O}, ^{16}\text{N})^8\text{Be}$ та потенціал взаємодії ядер $^{16}\text{N} + ^8\text{Be}$	
<i>А. Т. Рудчик, К. А. Черкас, А. А. Рудчик, Є. І. Коций, С. Клічевські, К. Русек, С. Ю. Межєвич, Вал. М. Пірнак, О. А. Понкратенко, Р. Сюдак, Я. Хоїньські, Б. Чех, А. Щурек.....</i>	68

Оценка точности результатов анализа спектрометрических данных	
<i>А. М. Соколов</i>	69
Відгук сцинтиляційного детектора з кристалом CDWO₄ до іонів з енергією кілька МеВ та до низькоенергетичних електронів	
<i>В. І. Третьяк, П. Г. Біззеті, Ф. А. Даневич, Л. Каррарезі, П. Р. Маурензіг, Н. Тачетті, Ф. Тачетті, Т. Фаціні</i>	70
Випадкові збіги подій від 2β2ν розпаду як джерело фону в болометричних експериментах з пошуку 2β0ν розпаду	
<i>В. І. Третьяк, Ф. А. Даневич, А. Джуліані, С. Олів'єрі, М. Тенконі, Д. М. Черняк</i>	71
Моделювання три-альфа-частинкових розпадів збуджених станів ядра ¹²C	
<i>В. В. Улещенко, О. А. Понкратенко</i>	72
Влияние экранирования на вероятность ионизации атома при аннигиляции позитронов, испущенных в процессе β⁺-распада	
<i>С. Н. Федоткин</i>	72
Розробка низькотемпературних сцинтиляційних болометрів з кристалами молібдату цинку для пошуку 0ν2β-розпаду ¹⁰⁰Mo	
<i>Д. М. Черняк, Я. В. Васильєв, Є. М. Галашов, Ф. А. Даневич, А. Джуліані, В. В. Кобичев, М. Манкузо, С. Марнієрос, К. Нонес, Е. Олів'єрі, М. Тенконі, В. І. Третьяк, В. М. Шлегель</i>	73
Радіаційні розпади V⁰→K^{*0}γ та V⁰_s→φγ в експерименті LHCb	
<i>В. М. Яковенко, О. Ю. Охріменко, В. М. Пугач</i>	75
Вплив ефектів пам'яті на електромагнітне випромінювання ядра під час спуску з бар'єра поділу	
<i>В. М. Коломієць, С. В. Радіонов, Б. В. Резниченко</i>	75
Густина збуджених станів атомних ядер з врахуванням колективних ступенів вільностей	
<i>О. М. Горбаченко, В. А. Плюйко, Б. М. Бондар, Є. П. Ровенських</i>	76

Секція 2. Атомна енергетика

Вимірювання швидкостей реакцій ^{nat}U з вторинними нейтронами, що виникають при опроміненні масивної свинцевої мішені	
<i>І. Адам, І. І. Гайсак, С. А. Густов, Л. Заворка, М. Г. Кадиков, Ю. В. Кіш, М. М. Максим, А. А. Солнишкін, С. І. Тютюнников, Ж. Х. Хушвактов, В. М. Цупко-Ситніков, В. В. Чілап</i>	78
Вимірювання швидкостей реакцій ²³²Th з вторинними нейтронами, що виникають при опроміненні масивної мішені з природного урану	
<i>І. Адам, І. І. Гайсак, Л. Заворка, М. Г. Кадиков, Ю. В. Кіш, М. М. Максим, А. А. Солнишкін, С. І. Тютюнников, Ж. Х. Хушвактов, В. М. Цупко-Ситніков, В. В. Чілап</i>	79

Обращение с ОЯТ легко-водных реакторов Украины <i>В. И. Слисенко, В. Ю. Боднар</i>	79
Модернізація штатних одноярусних контейнерних збірок з метою забезпечення контролю металу корпусів реакторів ВВЕР-1000 у надпроектний період експлуатації <i>В. М. Буканов, О. В. Грищенко, В. Л. Дем'яохін, О. Г. Васильєва, В. В. Ількович, О. Г. Касаткін</i>	80
Металознавчий супровід стану металу корпусів ядерних реакторів в Україні <i>Л. І. Чирко</i>	81
Навчально-тренувальний майданчик інженерно-технічних засобів системи фізичного захисту <i>В. І. Гаврилюк, А. В. Гаврилюк-Буракова, С. С. Драпей, О. О. Левіна, В. В. Пархоменко, Д. В. Проскурин, О. П. Романова</i>	82
Забезпечення безпеки інформаційних і керуючих систем АЕС від електричних і електромагнітних зовнішніх факторів впливу <i>В. М. Євланов</i>	83
Визначення ізотопного складу відпрацьованого ядерного палива РВПК-1000 для наступного аналізу ядерної безпеки з урахуванням вигорання палива <i>В. В. Гальченко, В. Л. Дем'яохін, В. В. Соловійов</i>	84
Про нормативно-правове поле України з фізичного захисту та внесок навчального центру в його створення <i>В. І. Гаврилюк, А. В. Гаврилюк-Буракова, О. О. Левіна, О. П. Романова, А. В. Самсоненко, О. В. Тішкова</i>	85
Про мережу центрів з підтримання фізичної ядерної безпеки при МАГАТЕ та участь у ній навчального центру з фізичного захисту, обліку та контролю ядерного матеріалу <i>В. І. Гаврилюк, А. В. Гаврилюк-Буракова, С. С. Драпей, О. П. Романова, О. В. Тішкова</i>	86
Использование метода анализа иерархий для оценки показателей надежности по малым выборкам <i>Е. Ф. Генсницкая, В. С. Жмерев</i>	87
Створення національної системи підвищення кваліфікації спеціалістів з обліку та контролю ядерних матеріалів в Україні <i>В. І. Гаврилюк, В. І. Киришук</i>	88
Досвід аварії на АЕС Фукусіма-1 для безпеки діючих АЕС України <i>О. В. Азарова, Ю. В. Литвинов, В. Л. Сидоренко</i>	89
Метод одночасного вимірювання урану, радіо-226 та коефіцієнта радіоактивної рівноваги в пробах уранових руд з використанням гамма-спектрометричної системи U - Pu Inspector <i>І. А. Малуц, О. Ф. Рудик, В. В. Тришин</i>	90

Оцінка точності та достовірності прогнозу радіаційного окрихчування на основі методики VERLIFE при використанні даних досліджень зразків-свідків АЕС України	
<i>Е. Е. Майборода, О. В. Шкапак</i>	91
Порівняльний аналіз підготовки даних з урахуванням розподілу температури теплоносія по радіуса касети та з урахуванням розподілу температури палива по перерізу паливної таблетки	
<i>В. В. Гальченко, А. А. Мішин</i>	93
Теоретические и технологические основы безопасной эксплуатации твэлов легководного реактора	
<i>С. Н. Пельх, М. В. Максимов</i>	94
Внесок навчального центру з фізичного захисту, обліку та контролю ядерного матеріалу в діяльність з формування культури захищеності на українських ядерних установках	
<i>В. І. Гаврилюк, А. В. Гаврилюк-Буракова, С. С. Драпей, В. В. Пархоменко, Д. В. Проскурін, О. П. Романова</i>	95
Вплив радіаційного пошкодження на міцність сталі корпусу реактора ВВЕР-1000	
<i>В. М. Ревка, О. В. Тригубенко, Ю. В. Чайковський, Л. І. Чирко</i>	96
Про діяльність навчального центру з фізичного захисту, обліку та контролю ядерного матеріалу з підвищення кваліфікації фахівців з фізичного захисту	
<i>В. І. Гаврилюк, А. В. Гаврилюк-Буракова, С. С. Драпей, Д. В. Проскурін, О. П. Романова</i>	98
Фрактальная природа процессов деления в ядерном реакторе	
<i>В. В. Рязанов</i>	98
Принципи вибору місця розташування об'єктів атомної енергетики як інструмент забезпечення екологічної безпеки	
<i>С. І. Азаров, В. Л. Сидоренко, С. А. Єременко</i>	99
Анализ результатов макетных экспериментов на LR-0	
<i>С. М. Пугач, А. В. Гриценко, В. Н. Буканов</i>	101
Актуальність дослідження впливу іонізуючих випромінювань та заряджених частинок низьких енергій на функціональні характеристики обладнання для ядерної енергетики	
<i>Т. В. Ковалінська, І. А. Остапенко, В. І. Сахно, В. О. Желтоножеський</i>	102
Перспективи розвитку експериментальної бази радіаційних досліджень ІЯД НАН України	
<i>Т. В. Ковалінська, І. А. Остапенко, В. І. Сахно, І. М. Вишневський</i>	102
Дослідження радіаційної стійкості конструкційних матеріалів АЕС України	
<i>А. Г. Зелінський, Т. В. Ковалінська, І. А. Остапенко, В. І. Сахно</i>	103

Секція 3. Радіаційна фізика та радіаційне матеріалознавство

Відгук кремнієвих діодів при синхротронному опроміненні <i>І. С. Анохін, О. С. Зінець</i>	105
Активация повітря та елементів конструкції при роботі медичного прискорювача електронів <i>О. А. Безиийко, Б. М. Бондар, Л. О. Голінка-Безиийко, І. М. Каденко, Я. В. Кметюк, К. Г. Кошарський, Є. Л. Момот, А. О. Нагай, Я. О. Безиийко</i>	105
Створення, рух та підсилення імпульсів конденсованих екситонних фаз в неоднорідних полях у квантових ямах напівпровідників <i>О. І. Дмитрук, В. Й. Сугаков</i>	106
Вплив металічних нанооболонки на збирання світла LH2 комплексом фотосинтетичних бактерій <i>І. Ю. Голіней, В. Й. Сугаков, Г. В. Верцімаха</i>	107
Спектр непружного розсіяння електронів на системі диполь-провідна наночастинка <i>І. Ю. Голіней, Є. В. Онукієнко</i>	108
Застосування методу фотоелектричного спектрального аналізу для визначення хімічного складу зразків-свідків на установці LECO GDS 500 <i>М. Г. Голяк</i>	108
Ефекти самоорганізації радіаційних дефектів у кремнії, опромінену нейтронами <i>А. А. Гроза, В. І. Варніна, П. Г. Литовченко, Л. С. Марченко, Л. О. Матвеева, П. Л. Нелюба, М. Б. Пінковська, М. І. Старчик, Г. Г. Шматко</i>	109
Про деякі властивості води, які виявляються методами нейтронної спектроскопії і рентгеноструктурного аналізу <i>М. В. Курик, Л. С. Марценюк</i>	110
Моделирование углеродных нанотрубок методом молекулярной динамики <i>В. В. Михайловский</i>	111
Вплив радіаційних дефектів на електричні характеристики фосфідо-галієвих світлодіодів <i>О. І. Власенко, В. П. Велешук, П. Г. Литовченко, Є. В. Малий, І. В. Петренко, М. Б. Пінковська, В. П. Тартачник</i>	112
Тривимірна полімерна фантомна дозиметрія <i>О. Ч. Туронок, О. В. Дяченко, М. Є. Альохіна, О. А. Безиийко, Л. О. Голінка-Безиийко, І. М. Каденко</i>	113

Формування впорядкованої дефектної структури в монокристалічному кремнії, опроміненому високоенергетичними протонами і альфа-частинками	
<i>В. І. Варніна, А. А. Гроза, П. Г. Литовченко, Л. С. Марченко, <u>М. І. Старчик</u>, Г. Г. Шматко</i>	113
Зміна сорбційної здатності та характеристик поверхні неорганічних сорбентів під дією γ-квантів різних енергій	
<i>Г. В. Васильєва, І. І. Гайсак, А. П. Осипенко, В. І. Яковлев, Ю. М. Килівник</i>	114
Проблеми оптимізації опромінювання промислових виробів	
<i>Т. В. Ковалінська, І. А. Остапенко, В. І. Сахно, А. Г. Зелінський, Н. В. Халова</i>	114
Проблеми технологічної дозиметрії радіаційних процесів	
<i>Т. В. Ковалінська, А. Г. Зелінський, В. І. Сахно, І. А. Остапенко, Н. В. Халова, В. В. Шлапацька</i>	115
Історія, стан та перспективи розвитку радіаційних технологій в ІЯД НАН України	
<i>І. М. Вишневський, Т. В. Ковалінська, <u>В. І. Сахно</u></i>	116
Конфигурационные переходы дивакансий в кремнии и германии	
<i>А. П. Долголенко</i>	116
Электронные уровни конфигураций дивакансий в германии	
<i>А. П. Долголенко</i>	118
Нові ядерні мембрани	
<i>А. Є. Борзаковський, <u>К. Г. Гусакова</u>, А. Г. Зелінський, В. І. Сахно, О. М. Файнлейб</i>	119

Секція 4. Теорія ядерного синтезу та фізика плазми

Холлівський механізм генерації обертання плазми в плазмі z-пінча	
<i>А. А. Гурін</i>	121
Поглинання ВЧ-електромагнітного поля в геліконовому плазмовому джерелі іонів в умовах нижнєгібридного резонансу	
<i>О. В. Алексєнко, В. І. Мирошніченко, С. Н. Мордик</i>	122
Механізм прискорення геліконної плазми пондеромоторними силами, що генеруються полями гібридних мод	
<i>М. А. Белошенко, К. П. Шамрай, Ш. Шінохара</i>	122
Газодинамічне і хімічне керування рівнем неізотермічності плазми поперечної дуги	
<i>В. Я. Черняк, І. В. Присяжнєвич, В. В. Юхименко, О. А. Недібалюк, Є. В. Мартиш, Т. Є. Лиситченко</i>	123

Альфвенів континуум та континуум геодезичної акустичної моди у токамаках з високим тиском плазми	
<i>О. П. Фесенюк, Я. І. Колесниченко, Ю. В. Яковенко</i>	124
Двощілинний спектрометр для діагностики втрат швидких іонів у токамаках-реакторах	
<i>В. Я. Голобородько, В. Кінтілий, Ф. Сесіл</i>	125
Фокусування пучків від'ємнозаряджених частинок електростатичною плазмовою лінзою просторового заряду	
<i>А. Гончаров, А. Добровольський, І. Літовко, В. Гушенец, Е. Окс</i>	126
Енергія спорідненості триплетного стану негативного іона атомарного водню у методі гіперсферичних координат	
<i>І. І. Гайсак, М. І. Гайсак, М. М. Пішта</i>	127
Плазмово-рідинна система з імпульсним розрядом для створення та фокусування акустичних хвиль	
<i>В. В. Юхименко, В. Я. Черняк, Є. В. Мартиш, О. А. Федорович, О. А. Недибалюк, Є. Ю. Гаврилюк, Т. Є. Лиситченко</i>	127
Дестабілізація геодезичної акустичної моди енергійними іонами у плазмі токамаків з високим тиском	
<i>Я. І. Колесниченко, Б. С. Лепявко, В. В. Луценко</i>	129
Геодезична акустична мода у токамаках з високим тиском плазми	
<i>Я. І. Колесниченко, В. В. Луценко</i>	130
Чи пов'язані колапси пилчастих коливань у токамаках зі стохастизацією магнітного поля?	
<i>Я. І. Колесниченко, Ю. В. Яковенко</i>	131
Азимутони в частково іонізованій плазмі з тепловою нелінійністю	
<i>В. М. Лашкін</i>	132
Пригнічення альфвенових каскадів при нагріванні на електронному циклотронному резонансі	
<i>В. С. Марченко</i>	132
Плазмовий каталіз конверсії вуглеводнів у потоці повітря/CO₂	
<i>О. А. Недибалюк, О. В. Соломенко, В. Я. Черняк, Д. Л. Чернолуцький, Є. В. Мартиш, Т. Є. Лиситченко, Л. В. Симончик, В. І. Архипенко, А. А. Кириллов, А. І. Ліптуга, С. В. Драгнев, Д. С. Левко, О. М. Цимбалюк</i>	133
Плазмозна система з обертальною ковзною дугою з твердими електродами	
<i>О. А. Недибалюк, О. В. Соломенко, В. Я. Черняк, Є. В. Мартиш, І. І. Федірчик, Т. Є. Лиситченко</i>	134
Плазмовий каталіз горіння в'язких вуглеводнів	
<i>О. А. Недибалюк, О. В. Соломенко, В. Я. Черняк, Є. В. Мартиш, О. Ю. Вергун, С. Г. Орловська, А. І. Ліптуга, Л. В. Симончик, В. І. Архипенко, А. А. Кириллов, С. В. Драгнев, Т. Є. Лиситченко</i>	134

Плазмово-рідинна система з обертальною ковзною дугою з рідким електродом	
<i>О. А. Недибалюк, В. Я. Черняк, О. В. Соломенко, Є. В. Мартиш, Д. Л. Чернолуцький, І. І. Федірчик, Т. Є. Лиситченко</i>	135
Радіаційні процеси в турбулентній плазмі з анізотропією іонної температури	
<i>В. М. Павленко, В. Г. Панченко</i>	136
Про стійкість та конвергенцію наближень методу Греда для розрахунків транспортних властивостей термічної плазми	
<i>П. В. Порциський</i>	137
Теплофізичні властивості плазми імпульсних розрядів у воді	
<i>П. В. Порциський, П. Д. Старчик</i>	138
Проникнення обертового потенціального поля в густу плазму:скейлінг та ефект неоднорідності густини	
<i>Т. С. Руденко, К. П. Шамрай, Ш. Шінохара, Т. Матсуока, І. Фунакі, Х. Нішида</i>	139
Вплив потенціалу торцевого електрода на характеристики розряду та властивості плазми геліконного джерела з планарною антеною	
<i>В. М. Слободян, Л. І. Романюк, В. Ф. Вірко, К. П. Шамрай</i>	140
Властивості мікророзрядних систем	
<i>Ок. В. Соломенко, В. Я. Черняк, В. В. Лендел, І. В. Присяжневич</i>	141
Застосування гідродинамічних редукцій до визначення перетворень симетрії кінетичної теорії плазми	
<i>В. Б. Таранов</i>	142
Ширина резонансів при взаємодії швидких іонів із множинними альфвенівими нестійкостями	
<i>М. Г. Тищенко, Ю. В. Яковенко</i>	143
Геліконний розряд з лінійною збуджуючою антеною	
<i>В. Ф. Вірко, В. М. Слободян, Ю. В. Вірко, К. П. Шамрай</i>	144
О механізмах уменьшения коэффициентов распада плотной плазмы	
<i>Л. М. Войтенко, О. А. Федорович</i>	145
Транспортні процеси швидких іонів у токамаках	
<i>В. Яворський</i>	146

Секція 5. Радіобіологія та радіоекологія

Цитогенетичні показники мишоподібних гризунів із зони відчуження ЧАЕС	
<i>О. О. Бурдо, Д. О. Вишневський</i>	147
Хронічний вплив іонізуючої радіації на ссавців та людину	
<i>І. П. Дрозд</i>	148

Відносна біологічна ефективність опромінення за інтенсивністю вільнорадикальних процесів	
<i>Ю. П. Гриневич, І. П. Дрозд, С. В. Телецька</i>	149
Особенности функционирования системы антиоксидантной защиты у ряда поколений <i>Hormoconis resinæ</i>	
<i>Т. И. Тугай, А. В. Тугай, В. А. Желтоножский,</i> <i>М. В. Желтоножская, Л. В. Садовников</i>	150
Віддалені наслідки впливу радіоактивного йоду на організм великої рогатої худоби	
<i>М. М. Лазарев</i>	151
Изменения лейкоцитарной формулы и цитоморфологических показателей эритроцитов периферической крови рыб в Чернобыльской зоне отчуждения	
<i>Н. Л. Поморцева, Д. И. Гудков, Н. К. Родионова, А. Е. Каглян</i>	152
Радіопротекторна дія NO на стовбуровий пул кровотворення шурів за умов фракціонованого опромінення в малих дозах	
<i>Н. К. Родіонова, Л. І. Маковецька, О. Б. Ганжа, Н. М. Рябченко,</i> <i>Б. І. Геращенко, О. А. Главін, П. М. Михайленко, І. І. Музальов,</i> <i>М. О. Дружина, В. М. Михайленко</i>	153
Исследование вклада пигментов светлоокрашенных микроскопических грибов в формирование их адаптации к действию ионизирующего облучения	
<i>Т. И. Тугай, А. В. Тугай, А. И. Василевская,</i> <i>М. В. Желтоножская, М. Л. Садовникова</i>	154
Гематологічні показники лабораторних шурів за одноразового перорального надходження радіонукліда ¹³¹I	
<i>Т. В. Циганок, Л. В. Тарасенко, Л. К. Бездробна, В. І. Федорченко</i>	155
Кінетика фотоіндукованих електронних переходів у наноструктурах бактеріальних реакційних центрів	
<i>М. А. Драпівський, М. А. Заболотний</i>	156
Эффекты хронического и острого ионизирующего излучения у пресноводного моллюска <i>Lymnaea Stagnalis</i> L.	
<i>Е. В. Дзюбенко, Д. И. Гудков, Н. Л. Шевцова, Л. С. Чепига</i>	157
Радиационные эффекты хронического облучения гидробионтов в чернобыльской зоне отчуждения	
<i>Д. И. Гудков, Н. Л. Шевцова, Е. В. Дзюбенко,</i> <i>Н. Л. Поморцева, А. Е. Каглян, А. Б. Назаров</i>	158
Вплив низькоінтенсивного іонізуючого опромінення на вищу нервову діяльність шурів з різним досвідом соціальних взаємодій	
<i>В. В. Крушинський, М. В. Шелковський</i>	159
Характеристика генотоксичності окремої та поєднаної дії екзогенних оксидів азоту і малих доз іонізуючої радіації на клітини системи крові	
<i>І. І. Музальов, В. М. Михайленко</i>	160

Вплив комутагенів на формування радіаційно-індукованих хромосомних пошкоджень у соматичних немалігнізованих клітинах людини	
<i>О. П. Пилипчук, Е. А. Дьоміна</i>	161
Радіаційні ушкодження здатності тканин до відновлення на прикладі опромінення кісткового мозку	
<i>О. Ф. Сенюк, Н. М. Білько, І. З. Борбуляк, Д. І. Білько</i>	162
Динаміка змін показників ліпідного спектра сироватки крові в учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС з нормальною та надлишковою масою тіла й ожирінням у віддаленому періоді після опромінення	
<i>С. М. Дмитрук</i>	163
Оцінка радіозахисних властивостей N-стероїлетаноламіну в експерименті	
<i>В. В. Талько, Л. П. Дерев'янок, Н. П. Атаманюк, Г. В. Косякова, А. М. Яніна, М. В. Шелковський, А. А. Чумак, Н. М. Гула</i>	164
Спонтанна частота аберацій хромосом у жителів міст Києва і Чернігова	
<i>Л. В. Тарасенко, Т. В. Циганок, Ю. О. Носач, Т. В. Мельник, Л. К. Бездробна</i>	166
Вплив полімінеральних комплексів природного походження на морфофункціональні характеристики клітин при комбінованій дії сполук важких металів та іонізуючого випромінювання	
<i>Г. Й. Лавренчук, Г. М. Чоботько, В. М. Оксамитний, В. С. Асмолова, Д. Д. Гапєєнко, Х. М. Литвинчук</i>	167
Вплив рентгенівських променів на кінетичні характеристики сперматозоїдів при локальному опроміненні щурів	
<i>А. В. Клепко, В. М. Булавицька, О. А. Мотрина, С. В. Андрейченко</i>	168
Залежність якості сперми людини від вмісту різних класів простагландинів за умов дії малих доз іонізуючої радіації	
<i>Ю. А. Кондратова, Ю-М. І. Тачинська, А. В. Чернишов, А. В. Клепко, С. В. Андрейченко</i>	169
Модифікуючий вплив нейтронозахватних агентів на радіогенні зміни в клітинах <i>in vitro</i>	
<i>Г. Й. Лавренчук, Ю. Б. Шевченко, В. В. Тришин</i>	170
Исследование вертикальной миграции радионуклидов в 30-километровой зоне ЧАЭС	
<i>Д. М. Бондарьков, В. А. Желтоножский</i>	171
Усовершенствование метода одновременного измерения активностей ^{90}Sr и ^{137}Cs в радиационнозагрязненных объектах	
<i>М. В. Желтоножская, Н. В. Кулич, А. И. Липская, В. И. Николаев, Н. В. Стрильчук</i>	171

Мобільність ^{90}Sr і ^{137}Cs в контрастних за властивостями грунтах	
<i>Ю. О. Іванов, Ю. В. Хомутінін, С. Є. Левчук, О. М. Кадигрїб.....</i>	172
Рівні радіонуклідного забруднення риб запорізького водосховища	
<i>О. М. Маренков, Г. С. Білоконь.....</i>	173
Експериментальна установка для дослідів з нейтронозахватної терапії	
<i>В. А. Лїбман, В. Ф. Разбудей, В. В. Тришин, Л. Е. Червонна, Ю. Б. Шевченко, Г. Й. Лавренчук, Ю. С. Іванов, О. Ю. Михацький, М. Г. Сосонкін.....</i>	175
Особливості міграції радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr в грунтах та накопичення їх рослинами	
<i>М. В. Желтоножська, Н. В. Куліч, А. І. Липська, В. І. Ніколаєв, В. А Шитюк.....</i>	176
Динаміка вмісту ^{137}Cs в поверхневому шарі ґрунту м. Ужгород	
<i>І. С. Потокі, О. О. Парлаг, В. Т. Маслюк, О. І. Лендел.....</i>	177
Обґрунтування підходів щодо виправданості застосування протирадіаційних контрзаходів у населених пунктах України, які є критичними	
<i>Е. С. Тенкач.....</i>	178
Накопичення ^{90}Sr й ^{137}Cs та фізіологічна реакція очерету звичайного в умовах радіаційного забруднення водних екосистем	
<i>Д. Д. Ганжа, Х. Д. Ганжа, О. Б. Назаров.....</i>	179
Система термостабілізації зразків для радіобіологічних досліджень	
<i>Ю. С. Іванов, В. А. Лїбман, О. Ю. Михацький, М. Г. Сосонкін, Ю. Б. Шевченко.....</i>	180
Динаміка впливу внесених добрив на різних типах ґрунту на надходження ^{137}Cs у сільськогосподарські культури у віддаленій перспективі після аварії на ЧАЕС	
<i>О. В. Косарчук, О. М. Кадигрїб, М. М. Лазарєв.....</i>	181
Реабілітація сільськогосподарських угідь, що забруднені важкими природними радіонуклідами	
<i>Ю. В. Хомутінін, Ю. О Іванов, В. К. Кириченко.....</i>	182
Оцінка впливу розробки Хотиславського кар'єра на радіоекологічну ситуацію у водних екосистемах Шацького національного природного парку	
<i>О. М. Волкова, В. В. Беляєв, А. М. Михалевич, О. О. Пархоменко, С. П. Пришляк.....</i>	183
Аналіз стану нормативно-методологічної бази для проведення оцінок впливу ядерно-радіаційних установок медичного призначення	
<i>О. В. Гайдар, В. В. Тришин, Т. О. Гайдар.....</i>	184
Ядерно-криміналістичні бази даних та бібліотеки матеріалів	
<i>О. В. Гайдар, В. В. Тришин.....</i>	185

Оцінка впливу на довкілля комплексу переробки РАВ (реконструкція) на Запорізькій АЕС	
<i>В. В. Тришин, О. В. Гайдар, О. В. Сваричевська, О. В. Святун, І. О. Павленко, Т. О. Гайдар, Р. В. Завада.....</i>	186
Результати проведення радіологічного моніторингу забруднення ⁹⁰Sr зернової продукції у Київській та Чернігівській областях	
<i>Л. М. Отрешко, С. Є. Левчук, А. І. Мельник, В. О. Кашипаров, Л. В. Йоценко.....</i>	187
Мікробіота і радіаційна безпека об'єкту “Укриття”	
<i>В. Б. Рибалка, О. Ф. Сенюк, Г. І. Петелін, В. О. Ковальов, М. І. Круль.....</i>	188
О динамике удельной активности ¹³⁷Cs у рыб разных водоемов	
<i>О. Л. Зарубин, А. А. Залиский, Н. Н. Осадчая, В. В. Канивец.....</i>	189
Влияние метеорологических условий на содержание ¹³⁷Cs в лесных почвах	
<i>Н. Е. Зарубина.....</i>	189
¹³⁷Cs в рыбах крупных водоемов Украины. Современное состояние	
<i>О. Л. Зарубин, Н. Е. Зарубина, Д. И. Гудков, Е. Н. Волкова, В. В. Беляев, А. Е. Каглян, В. А. Костюк, И. А. Малюк, А. Б. Назаров, А. С. Белоконь, О. Н. Маренков, А. А. Залиский.....</i>	190
Исследование топливных частиц из объекта “Укрытие”	
<i>М. В. Желтоножская, А. М. Максименко.....</i>	191
Параметри біологічної доступності ¹³⁷Cs у торф'яно-болотних ґрунтах північно-західного полісся України	
<i>С. В. Поліщук, М. І. Малоштан.....</i>	191
Стан та перспективи розвитку техніки для аероіонних технологій	
<i>В. І. Сахно.....</i>	193
Особливості забруднення та міграції радіонуклідів ¹³⁷Cs у лісовій екосистемі у віддалений період після аварії на ЧАЕС	
<i>Г. М. Чоботько, Л. А. Райчук.....</i>	193
Особливості опромінення ембріонів риб Київського водосховища	
<i>О. М. Волкова, В. В. Беляев, С. П. Пришляк, О. О. Пархоменко.....</i>	194
Моделирование динамики распределения долгоживущих радионуклидов в компонентах пресноводных экосистем	
<i>В. В. Беляев, Е. Н. Волкова.....</i>	196

Тези доповідей з ядерної фізики

ПОЛУКЛАССИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ОТКЛИКА ДЛЯ ПАРНЫХ ВИБРАЦИЙ В ТЯЖЕЛЫХ ЯДРАХ

В. И. Абросимов¹, Д. М. Бринк², Ф. Матера³

¹ *Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев*

² *Оксфордский университет, Оксфорд, Великобритания*

³ *Национальный институт ядерной физики, Флоренция, Италия*

Для изучения коллективных парных возбуждений в конечных ферми-системах используются полуклассические уравнения движения зависящей от времени теории Хартри-Фока-Боголюбова. Рассмотрен линейный отклик системы на внешнее поле, которое вызывает изменение действительной части парного поля (энергетической щели). Получены аналитические выражения для функции отклика в нулевом приближении и с учетом самосогласованных изменений парного поля (функция отклика для парных вибраций). Проведены численные расчеты функции отклика для простой модели, в которой ядро представляется как система нуклонов в сферической полости, характеризуемой параметрами (размер, плотность, энергетическая щель) типичными для тяжелых ядер. Найдено, что коллективная функция отклика имеет резонанс при частоте в области удвоенной энергетической щели, который представляет собой монополярные парные вибрации в тяжелых ядрах.

ПОТЕНЦІАЛИ ЯДЕРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ДЕЙТРОНІВ З ВАЖКИМИ ЯДРАМИ В МОДЕЛІ ОДНОКРАТНОЇ ЗГОРТКИ

О. В. Бабак, В. П. Вербицкий, О. Д. Григоренко

Институт ядерных исследований НАН Украины, Київ

Дослідження взаємодії дейтронів з атомними ядрами показали суттєвий вплив поляризованості та розвалу цих частинок на формування перерізів пружного розсіяння при підбар'єрних енергіях. Було зроблено припущення, що не дивлячись на те, що класичні кулонівські точки повороту дейтрона за вказаних енергій знаходяться далеко за областю ядерної взаємодії, поляризація дейтрона електричним полем ядра призводить до того, що нейтрон може проникати під бар'єр, де на нього діють ядерні сили. Зроблено опис цього процесу шляхом конструювання потенціалу взаємодії дейтрона з ядром в моделі однократної згортки. Потенціали взаємодії окремих нуклонів дейтрона з мішенню згортали-ся разом з густинами розподілу матерії дейтрона, які розраховувалися на основі розвинутої раніше адіабатичної теорії, що враховує можливість поляризованості та розвалу дейтрона у зовнішньому кулонівському полі.

Виходячи із загального тричастинкового рівняння, що описує взаємодію дейтрона з ядром мішенню в адіабатичному наближенні для повної хвильової функції в координатах \vec{r}_p та \vec{r} було одержано таке рівняння:

$$\left[E - \hat{K}_{r_p} - \bar{V}_n(r_p) - V_C(r_p) \right] \chi_d(\vec{r}_p) = 0,$$

де \vec{r}_p – радіус вектор протона; \vec{r} – внутрішня координата дейтрона; E – енергія дейтрона у системі центра мас, $\bar{V}_n(r_p) = \langle \varphi(\vec{r}_p, \vec{r}) | V_n(|\vec{r}_p + \vec{r}|) | \varphi(\vec{r}_p, \vec{r}) \rangle$ – потенціал взаємодії нейтрона з ядром мішенню в моделі однократної згортки [1]; \hat{K}_{r_p} – оператор кінетичної енергії; $V_C(r_p)$ – кулонівський потенціал; $\chi_d(\vec{r}_p)$ – хвильова функція відносного руху дейтрона. В якості $\varphi(\vec{r}_p, \vec{r})$ для розрахунків вибиралась або функція основного стану $\varphi_0(r)$, або функція поляризованого стану слабкозв'язаної частинки, наближений аналітичний вираз для якої одержано в роботі [2].

Показано, що поляризація суттєво впливає на характер ядерної взаємодії дейтрона з ядрами. Одержані ядерні потенціали мають більші радіуси дії і помітні величини навіть у суттєво периферійній області.

1. Nishida Y. // Progr. Theoret. Phys. - 1958. - Vol. 19, No. 4. - P. 389 - 403.
2. Вербицький В.П., Жукалюк Л.Я., Теренецький К.О. // Ядерна фізика та енергетика. - 2001. - № 3(5). - С. 24 - 29.

ВИКОРИСТАННЯ ЛАВИННИХ ФОТОДЕТЕКТОРІВ У РЕЖИМІ ГЕЙГЕРА В ЯДЕРНІЙ ФІЗИЦІ, МЕДИЧНІЙ ФІЗИЦІ ТА ФВЕ

О. А. Безшийко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

За останні роки бурхливо почала розвиватися область кремнієвих лавинних багатопіксельних фотодетекторів, які працюють в режимі лічильника Гейгера. Такі фотодетектори показують вже зараз кращі характеристики по більшості параметрів в порівнянні з вакуумними ФЕП і складають серйозну конкуренцію ФЕП на основі мікроканальних пластин. При цьому в недалекій перспективі, виходячи із стандартних технологій виготовлення напівпровідникових елементів можна очікувати різкого зниження цін на такі системи. Також такі фотодетектори конструктивно набагато більш зручні, ніж вакуумні ФЕП. Їх розвиток виявився дуже вчасним для ефективного використання в часопрольотних ФЕП (TOF PET).

Лавинні фотодетектори на основі кремнію відомі досить давно і достатньо широко використовуються, вони мають малий коефіцієнт підсилення і не при-

датні для реєстрації однофотонних сигналів. Ще в 60-ті роки минулого сторіччя було розроблено лавинні фотодетектори, які працювали в режимі Гейгера – вище напруги пробою (ГЛФД). Такі системи визначають тільки факт наявності попадання квантів світла, не визначаючи їх кількість. Системи мають високий шумовий фон, достатньо великий мертвий час, що разом з великим фоном блокує детектор більшу частину часу. Для зменшення фону детекторів площею, помітно більшою за мм^2 необхідно їх охолоджувати, або використовувати «активне гасіння». Вирішення всіх цих проблем виявилось достатньо простим (але не очевидним). Необхідно розділити ГЛФД на багато маленьких комірок (менше 100 мікрометрів), які з'єднані паралельно і мають кожна окремо свій резистор для гасіння розряду. Такі системи виявилися дуже ефективними і мали великий потенціал розвитку. Вперше їх запропонували російські вчені в другій половині 80-х років минулого століття. Після цього почався бурхливий період їх розвитку, вони випускаються під різними назвами (в залежності від виробника) - MRS APD, MAPD, SiPM, SSPM, SPM, G-APD, MPPC, PPD, DAPD. SiPM - silicon photomultiplier, кремнієвий фотопомножувач, як часто називають лавинні фотодіоди, які працюють у режимі Гейгера.

У роботі проведено огляд основних характеристик кремнієвих фотопомножувачів, короткий історичний огляд, сучасний стан розвитку та показано високу ефективність використання SiPM в різних областях ядерної фізики, ФВЕ, використання джерел іонізуючого випромінювання в медицині. Показується, що вже на даному етапі дослідження цих систем вони показують конкурентний рівень із класичними ФЕП на основі вакуумних приладів і навіть на основі мікроканальних пластин. При цьому такі системи на основі лавинних фотодіодів, які працюють в режимі Гейгера мають високий потенціал для подальшого розвитку.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДОТІЛЬНИХ ТРЕКОВИХ ДЕТЕКТОРІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ З ВИЛЬОТОМ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК

О. А. Безшийко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Використання фотоядерних реакцій для вивчення механізмів протікання реакцій та структури ядра має цілий ряд переваг і потенційно надає можливість отримувати унікальну інформацію, яку не можна отримати при використанні частинок у вхідному каналі – гамма-квант не вносить великого спіну, відсутня енергія зв'язку, яка заважає дослідженням при використанні частинок у вхідному каналі, можливе плавне регулювання енергії збудження, відсутнє кулонівське збудження ядра і кулонівський бар'єр. Також цікаву інформацію несуть фотоядерні реакції з вильотом заряджених частинок (протонів, альфа-частинок). На жаль такі реакції важко досліджувати для більшості ядер. З одної сторони використання класичної активаційної методики неможливе, оскільки

часто продукти реакцій – стабільні ядра. З іншої сторони, реєстрація заряджених продуктів реакцій прямо на пучку сильно ускладнюється великою інтенсивністю потоку гамма-квантів. Більшість детекторів, які прямо реєструють альфа-частинки чи протони не можуть працювати в умовах такого великого фону, або працюють в дуже обмеженому режимі. Спеціальні складні системи з тонкими вибивними мішенями та спеціальними магнітними сепараторами дуже складні у виготовленні, налаштуванні та мають суттєву вартість, при цьому і такі системи мають суттєві обмеження у використанні.

В роботі розглянуто можливість і проведено розрахунки з використанням пакету GEANT4 для оцінки ефективності застосування твердотільних трекових детекторів (ТТД) для дослідження характеристик фотоядерних реакцій із вильотом заряджених частинок. ТТД практично не чутливі до потоків гамма-квантів, з високою ефективністю реєструють альфа-частинки, а також можуть реєструвати і протони. Вибір оптимальних типів ТТД, формування найкращої геометрії вимірювань, оцінки можливих мінімальних рівнів детектування величин перерізів, обмеження по кутовим розподілам – ці та інші суміжні питання розглядаються в рамках представленого дослідження.

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕПРУЖНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ ДЕЙТРОНІВ ІЗ ТРИТОНАМИ

**О. О. Белюскіна, В. І. Гранцев, В. В. Давидовський, К. К. Кісурін,
С. Є. Омельчук, Ю. С. Рознюк, Б. А. Руденко, В. С. Семенов,
Л. І. Слюсаренко, Б. Г. Стружко**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

На циклотроні У-240 ІЯД НАН України при енергії дейтронів 36,9 МеВ досліджено реакції $T(d, p)$ і $T(d, d)dn$. Експеримент виконано на Т-Ті- і Ті-мішенях. Спектри протонів і дейтронів із реакцій $T(d, p)$ і $T(d, d)dn$ визначалися шляхом вилучення зі спектрів, отриманих на Т-Ті-мішенях, спектрів із титанової мішені. Енергетичні та кутові розподіли кінцевих протонів і дейтронів отримано у діапазоні кутів $15^{\circ} \leq \theta_{л.с.} \leq 52^{\circ}$.

В енергетичних спектрах протонів із реакції $T(d, p)$ спостерігається структура, характерною особливістю якої є наявність під малими кутами максимумів із різким правим краєм, що свідчить про імовірність перебігу реакції $D + T \rightarrow {}^4\text{H}^* + p \rightarrow p + n + t$. Перерізи в максимумах помітно зменшуються зі збільшенням кута вильоту протонів. Для кутів $\theta_p > 20^{\circ}$ в спектрах протонів переважають широкі максимуми, що утворюються протонами з розщеплення налітаючих дейтронів.

В енергетичних розподілах дейтронів, на відміну від розподілів протонів, домінують лише неструктуровані максимуми. Інтенсивність в максимумах різко зменшується зі збільшенням кута розсіяння. Спектр формується в основному з дейтронів із реакції $D + T \rightarrow d + d + n$, тобто дейтронів віддачі та

дейтронів, що утворилися при розщепленні тритона. Кутові залежності перерізів реакцій $T(d, p)$ і $T(d, d)dn$ характеризуються швидким спаданням перерізу зі зростанням кута, що є типовим для прямих ядерних процесів.

Отримані енергетичні спектри та кутові розподіли кінцевих протонів і дейтронів теоретично досліджувалися за мікроскопічною дифракційною ядерною моделлю та за теорією резонансних процесів. Показано, що крім розглянутих у дифракційному наближенні квазівільних процесів із урахуванням взаємодії в кінцевому стані, помітну роль у реакціях $T(d, p)$ відіграють також процеси народження проміжних станів – резонансів ${}^4\text{H}^*$ і ${}^4\text{He}^*$, з урахуванням яких вдається задовільно описати енергетичні та кутові розподіли частинок, отримані в експерименті. Показано, що розраховані спектри протонів із реакцій $T(d, p)$ кількісно узгоджуються з експериментом тільки з урахуванням народження двох проміжних резонансів ${}^4\text{H}^*$.

Спектри та кутові розподіли дейтронів із реакції $T(d, d)nd$ задовільно описуються в дифракційному наближенні з урахуванням взаємодії в кінцевому стані та правильної асимптотики хвильових функцій ядер, що взаємодіють. Вклад процесів із утворенням резонансів при цьому досить малий. Згідно з розрахунками вклад розсіяних дейтронів під малими кутами є переважаючим (до 70 - 90 %).

ПРУЖНЕ РОЗСІЯННЯ 27,4 МеВ ДЕЙТРОНІВ ТРИТОНАМИ

**О. О. Белюскіна, В. І. Гранцев, В. В. Давидовський,
К. К. Кісурін, С. Є. Омельчук, Ю. С. Рознюк, Б. А. Руденко,
В. С. Семенов, Л. І. Слюсаренко**

Інститут ядерних досліджень НАН України

Наступна робота продовжує цикл робіт по вивченню процесів взаємодії частинок у малонуклонних системах, зокрема в системах $D + D$ та $D + T$. Пружне розсіяння дейтронів тритонами експериментально досліджувалося тільки до енергій $E_d \approx 14$ МеВ, та було продовжено нами при $E_d = 36,9$ МеВ. Кутові розподіли пружного розсіяння дейтронів геліонами також малочисельні та обмежені енергією $E_d = 39,9$ МеВ.

Аналіз енергетичної залежності кутових розподілів пружно розсіяних дейтронів тритонами та геліонами вказує на зміну структури кутових розподілів при енергіях $E_d > 25$ МеВ як в області середніх, так і великих кутів. Існуючі малочисельні дані не дозволяють встановити закономірності. Експериментальні дані необхідні також для удосконалення теоретичних моделей. Зокрема, на проблему в описанні розподілів на великих кутах вказано авторами в дослідженнях, що проведені за методом резонуючих груп та за супермультіплетною потенційною моделлю.

Експериментально досліджено пружне dt - розсіяння при енергії $E_d = 27,4$ МеВ на ізохронному циклотроні У-240 ІЯД НАН України. В експерименті використовувалися ТТі та Ті – мішені. Досліджено спектри дейтронів та

тригонів із реакцій $T(d, d)T$ і $T(d, t)D$ у діапазоні кутів $16 \leq \theta_{\text{л.с.}} \leq 60^\circ$, що дозволило отримати диференціальні перерізи пружного розсіяння дейтронів на тритонах у більш широкому діапазоні: $26,7^\circ \leq \theta_{\text{ц.м.}} \leq 148^\circ$. Отримані кутові розподіли характеризуються різким зменшенням перерізу зі збільшенням кута розсіяння до $\theta_{\text{ц.м.}} \approx 60^\circ$, де спостерігається неглибокий мінімум. Другий, більш глибокий мінімум, знайдено під кутом $\theta_{\text{ц.м.}} \approx 145^\circ$. В області кутів $60^\circ < \theta_{\text{ц.м.}} \leq 140^\circ$ спостерігається тенденція до зменшення перерізу в максимумі, що, практично, приводить до його зникнення при подальшому збільшенні енергії E_d .

Проведено аналіз кутового розподілу пружного розсіяння дейтронів на тритонах при енергії $E_d = 27.4$ МеВ у межах мікроскопічної дифракційної моделі з урахуванням нуклонної структури ядер, що дозволило задовільно описати кутові розподіли в діапазоні основного максимуму ($\theta_{\text{ц.м.}} \leq 60^\circ$). Кутові розподіли на кутах $\theta_{\text{ц.м.}} > 60^\circ$ вдалося пояснити лише якісно, використовуючи феноменологічне квазікласичне наближення. Для опису перерізів на великих кутах необхідно використовувати інші моделі, що враховують структурні особливості ядер і обмінні процеси.

ЗБУДЖЕННЯ ІЗОМЕРНИХ СТАНІВ У РЕАКЦІЇ (γ, γ') НА ІЗОТОПАХ ^{77}Se , ^{79}Br , ^{89}Y , ^{103}Rh , ^{107}Ag , ^{109}Ag , ^{111}Cd , ^{137}Ba , ^{179}Hf , ^{197}Au , ^{199}Hg

В. С. Бохінюк, В. І. Жаба, О. М. Парлаг, О. Г. Окунєв, О. М. Фрадкін

Ужгородський національний університет, Ужгород

На гальмівному пучку мікротрона М-10 активаційною методикою поміряно абсолютні виходи ізомерів ^{77}Se , ^{79}Br , ^{89}Y , ^{103}Rh , ^{107}Ag , ^{109}Ag , ^{111}Cd , ^{137}Ba , ^{179}Hf , ^{197}Au , ^{199}Hg , що утворюються при непружному розсіянні гамма-квантів на вихідних ядрах. Виміри проведено в області енергій 4,5-9,6 МеВ з кроком 0,1 - 0,2 МеВ.

Використано зразки з природної суміші ізоотопів, тому для кожного досліджуваного ізотопа враховувався вклад конкуруючих реакцій.

Наведена активність реєструвалась сцинтиляційним спектрометром. Доза опромінення визначалась прохідною іонізаційною камерою, каліброваною по абсолютній алюмінієвій.

Відхилення від рівномірного ходу кривих виходу пов'язується зі збудженням ізомерних станів через високолежачі активаційні рівні. Аналіз кривих виходу на наявність зломів виявив їх при наступних енергіях:

^{77}Se -6,3 МеВ; ^{79}Br -4,6; 5,1; 7,6; 7,9; 8,6 МеВ; ^{89}Y -7,9; 8,5 МеВ; ^{103}Rh -7,7 МеВ; ^{107}Ag -7,8; 8,5 МеВ; ^{109}Ag -7,9 МеВ; ^{111}Cd -7,3 МеВ; ^{137}Ba -7,6; 8,55 МеВ; ^{179}Hf -7,45; 8,1 МеВ; ^{197}Au -4,8; 5,3; 7,6 МеВ; ^{199}Hg -7,7 МеВ.

Розраховано інтегральні перерізи реакції (γ, γ') для вказаних ізомерів. Висловлено припущення, що активаційні рівні збуджуються в результаті однонуклонних переходів між підоболонками ядер.

ЭФФЕКТЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ В E1, E2-ЗАПРЕЩЕННЫХ ПЕРЕХОДАХ В ^{120}Sn

И. Н. Вишневский, С. С. Драпей, В. А. Желтоножский, А. Н. Саврасов

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Методами γ -спектроскопии измерены коэффициенты внутренней конверсии (КВК) заторможенных E1 и E2-переходов с энергиями 89 и 197 кеВ, соответственно.

Исследовался распад ^{120}Sb на возбужденные состояния ^{120}Sn .

Были измерены КВК на К-оболочке методом пиков суммирования в спектрах совпадений на антикомптоновском спектрометре.

Для измерения полных КВК с высокой точностью измерен одиночный спектр γ -лучей ^{120}Sb . Для калибровки использовался специально приготовленный калибровочный источник ^{182}Tl .

Нами были получены КВК для E1 и E2-переходов:

	$\alpha_{tot}^{экср}$	$\alpha_{tot}^{табл}$	$\alpha_K^{экср}$	$\alpha_{tot}^{табл}$
E1	0,277(13)	0,246	0,232(9)	0,213
E2	0,152(8)	0,147	0,136(7)	0,123

Проводится обсуждение полученных результатов

ВИПРОМІНЮВАННЯ НЕЙТРОНІВ З ЯДЕР ^9Be ПІД ДІЄЮ ПОЗИТРОНІВ

І. М. Вишневський, В. О. Желтоножський,
А. М. Саврасов, Є. П. Ровенських

Институт ядерных исследований НАН Украины, Київ

Проведено дослідження впливу позитронів з неперервним енергетичним спектром і граничною енергією 4.15 МеВ на ядра ^9Be . Джерелом позитронів були ядра протоннонадлишкового ^{66}Ga , який напрацьовувався на прискорювачі У-120 в (p,n)-реакції на металічному цинку природного ізотопного складу при значенні енергії протонів 6.8 МеВ. Активність ^{66}Ga після цього протягом 2 год опромінювала збірку, яка складалася з послідовно розташованих наступних речовин: берилій, парафін, індій. Після опромінення збірка розбиралась і наведена активність In вимірювалась на γ -спектрометрі, який змонтований на базі HPGe-детектора. В набраних γ -спектрах спостерігаються γ -піки, які супроводжують розпад ^{116}In ($T_{1/2} = 54$ хв.), що свідчить про появу нейтронів і викликану ними реакцію $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116}\text{In}$.

Був проведений також контрольний експеримент в котрому берилій

опромінювався лише γ -квантами. Інтенсивність γ -піків, які супроводжують розпад ^{116}In при цьому значно нижча.

Проводиться аналіз, обговорення і порівняння отриманих даних з результатами роботи інших авторів.

ФОТОДІЛЕННЯ ^{235}U

**І. М. Вишневський, В. О. Желтоножський,
А. М. Саврасов, Є. П. Ровенських**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Проведено дослідження продуктів фотоділення ^{235}U при значенні граничної енергії гальмівного випромінювання $E^{\text{гп}} = 17 \text{ MeV}$ в реакціях $((\gamma, f) + (\gamma, \text{nf}))$. Опромінення проводились на прискорювачі М-30 Ужгородського інституту електронної фізики. Набір γ -спектрів виконувався за допомогою спектрометрів зібраних на базі надчистих германієвих детекторів. Виміряні ізомерні відношення та середні кутові моменти для важких уламків ділення.

Проводиться аналіз, обговорення і порівняння отриманих даних з нашими попередніми результатами досліджень та з результатами роботи інших авторів.

АРХІТЕКТУРА ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

**А. П. Войтер, Ю. М. Павленко, М. І. Доронін,
О. М. Ковальов, І. О. Мазний**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Розробка архітектури вимірювальної системи для багатопараметричних експериментів є першим етапом робіт з модернізації засобів та систем автоматизації досліджень ядерних реакцій на прискорювачах ІЯД НАН України. Основою для створення архітектури була узагальнена системна декомпозиція функцій, які виконуються вимірювальними системами за різними методиками. Елементи архітектури реалізують певні групи функцій системи, зокрема: амплітудного аналізу, аналізу часових інтервалів, функцій відбору подій, їх підрахунку, тощо.

Архітектура вимірювальної системи визначає перелік основних блоків ядерної електроніки, їх структуру, функції та взаємозв'язок, формати даних, інтерфейси та види входних та вихідних сигналів. Загалом вимірювальна система складається з базового блоку, блоку АЦП, блоку лічильників і блоку моніторного каналу, які об'єднані внутрішньою шиною даних і управління. Кожен із блоків має власну шину даних заданого формату, та відповідний

набір ліній управління. Вхідними сигналами вимірювальної системи є вісім аналогових імпульсних сигналів від спектрометричних підсилювачів, вісім аналогових імпульсних сигналів від швидких підсилювачів детекторної системи та один вхід від спектрометричного підсилювача моніторної системи. Вихід вимірювальної системи реалізований у вигляді мережевого інтерфейсу Ethernet та інтерфейсу USB для мережевого або локального підключення до системного комп'ютера.

Основними функціями базового блоку є:

- реєстрація факту події та присвоєння йому мітки часу (точка відліку – початок експерименту);
- визначення часових характеристик події T_{ij} (часовий спектр збігів);
- вироблення коду-ідентифікатора N_d пар телескопів, включених в схему збігів;
- збір даних і управління режимами роботи блоків по внутрішній шині системи;
- вирівнювання затримок між вимірювальними трактами детекторів телескопів;
- формування векторів подій в буферній пам'яті, наприклад, $E_i \Delta E_i E_j \Delta E_j T_{ij} N_d$ - для подвійних збігів, $E_i \Delta E_i E_j \Delta E_j E_k \Delta E_k T_{ijk} N_d$ - для потрійних збігів;
- зв'язок з системним комп'ютером.

Блок АЦП призначений для перетворення сигналів від восьми спектрометричних підсилювачів (наприклад, чотирьох телескопів $E-\Delta E$) в двійковий код амплітуди в режимі із стробуванням, або в безперервному режимі.

Відмінною рисою архітектури є те, що вона орієнтована на реалізацію з широким використанням програмованої логіки, що забезпечить максимальну інваріантність системи відносно тієї чи іншої методики вимірювань.

АНАЛІЗ МЕТОДИКИ ОТРИМАННЯ НАБОРУ УСЕРЕДНЕНИХ σ_{tot} .

С. П. Волковецький, О. О. Грицай, В. А. Лібман

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Дана робота присвячена аналізу методики обробки експериментальних спектрів нейтронів модифікованих нейтронних пучків. Відмінність від традиційної методики фільтрованих пучків нейтронів полягає в наявності декількох близько розташованих квазімоноенергетичних ліній замість однієї. Склад базового та набір його модифікацій представлено в таблиці.

Назва фільтра	Компоненти, г/см ²							
	¹⁰ B	¹¹ B	Si	Ti	V	⁵⁸ Ni	⁵⁴ Fe	Al
Base	0.2	0.035	213.47	11.49	-	-	-	-
Mod. V	0.2	0.035	184.07	7.66	24.44	-	-	-
Mod. Ni	0.2	0.035	184.07	7.66	-	20.494	-	-
Mod. Fe	0.2	0.035	184.07	-	-	-	77.45	-
Mod. Al	0.2	0.035	213.47	-	-	-	-	10.0

Алгоритм обробки експериментальних спектрів умовно розділено на три етапи:

- Первинна обробка спектрів протонів віддачі (апаратних спектрів);
- Відновлення спектрів нейтронів;
- Отримання параметрів нейтронних ліній, визначення перерізу.

Процедури первинної обробки не відрізняються від процедур класичної методики фільтрованих пучків нейтронів. Аналіз проведено тільки для останніх двох пунктів.

Відновлення спектрів нейтронів вносить поправку, чим враховує особливості реєстрації нейтронів водневим лічильником. Це має особливе значення для розділення квазімоноенергетичних ліній. Для аналізу даних процедур проведено розрахункове відтворення експериментальних спектрів та обробка за даною методикою.

Отримання параметрів нейтронних ліній включає в себе підбір апроксимаційних функцій для отримання параметрів, які використовуються для визначення перерізу. Аналіз цього етапу проведено з використанням розрахункових нейтронних спектрів.

ХВИЛЬОВА ФУНКЦІЯ І ПАРАМЕТРИ ДЕЙТРОНА

I. I. Гайсак, В. I. Жаба

Ужгородський національний університет, Ужгород

Розглянуто алгоритм побудови чисельного рішення крайової задачі для нерелятивістської потенціальної моделі дейтрона в конфігураційному та імпульсному представленні. Показано, що асимптотика S - і D - компонент хвильової функції визначається як орбітальним числом L , так і тензорною частиною потенціалу нуклон-нуклонної взаємодії. Побудовано алгоритм чисельного рішення системи зв'язаних рівнянь Шредінгера в конфігураційному просторі. Хвильова функція в імпульсному представленні знаходиться чисельною реалізацією інтегрального перетворення Ганкеля. Розраховані хвильові функції дейтрона в конфігураційному та імпульсному представленнях не містять надлишкових вузлів.

Порівнюються параметри дейтрона, отримані з допомогою хвильової функції в конфігураційному представленні для ряду потенціалів нуклон-

нуклонної взаємодії (радіус r_d , електричний квадрупольний момент Q_d , магнітний момент μ_d , вклад D-стану P_D , асимптотичне відношення D/S η).

Хвильова функція в імпульсному представленні протестована при розрахунках імпульсного розподілу нуклонів у дейтроні n_d , тензорні аналізуючі здатності T_{20} , та A_{yy} в процесах розвалу дейтрона. Результати, отримані для різних потенціалів, порівнюються з експериментом та іншими теоретичними розрахунками.

ВПЛИВ ДИСКА, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ, НА ФОРМУ ГАММА-СПЕКТРА

В. І. Гранцев, А. М. Саврасов, К. К. Кісурін, Ю. С. Рознюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Метою даної роботи є дослідження впливу диска, що обертається з високою кутовою швидкістю на невеликій відстані від вхідного вікна детектора, на форму гама-спектра і площі піків, котрі характеризують розпад ^{60}Co . Вимірювання проводились за допомогою γ -спектрометра, зібраного на базі надчистого германієвого детектора з ефективністю реєстрації 30 % порівняно з NaI(Tl) – детектором розмірами $3'' \times 3''$ і енергетичною роздільною здатністю 2.2 keV на γ -лініях ^{60}Co .

Калібрувальне джерело, яке містило ядра ^{60}Co зі стандартного набору ОСГІ закріплювалось на вхідному вікні детектора впритул. Серії вимірювань тривалістю 50 с. проводились при обертанні диску за, проти годинникової стрілки та без обертання. Спостерігається систематична зміна площ піків при обертанні порівняно із нерухомим положенням диску, яка значно перевищує статистичну похибку експериментів. Також мають місце обрізання γ -спектрів та зміна форм піків при обертанні диску.

Проводиться обговорення отриманих результатів.

УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ ОБЧИСЛЕННЯ НЕЙТРОННИХ ПЕРЕРІЗІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МЕТОДУ ЗМІНИ СЕРЕДНЬОЇ ЕНЕРГІЇ ФІЛЬТРА

А. К. Гримало¹, О. О. Грицай¹, В. А. Пшеничний²

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Державний науково-інженерний центр систем контролю та аварійного реагування, Київ*

У відділі нейтронної фізики продовжується розробка та вдосконалення експериментальних методик для отримання набору повних нейтронних перерізів, які в подальшому планується використати для оцінки параметрів ізольованих резонансів в досліджуваному енергетичному інтервалі. Однією з таких методик

є методика, заснована на використанні залежності енергії розсіяних нейтронів від кута розсіяння, названа нами методом зміни середньої енергії фільтра. Саме ця методика була застосована для отримання набору повних нейтронних перерізів ^{52}Cr при енергіях нейтронів від 58,6 кеВ до 48,4 кеВ. Експериментальні вимірювання було проведено на фільтрованих пучках нейтронів горизонтального експериментального каналу ГЕК-8 реактора ВВР-М. В якості зразків-розсіювачів було використано вуглець та поліетилен.

Дана робота присвячена аналізу можливих джерел виникнення систематичних помилок та удосконаленню алгоритму обробки отриманих експериментальних величин. Аналіз ґрунтувався на результатах модельних розрахунків, проведених за допомогою програмного коду MCNP 4C. Порівняння експериментально отриманих спектрів та спектрів, отриманих з модельних розрахунків, дало змогу удосконалити алгоритм обробки експериментальних величин, а також показало які зміни бажано внести в експериментальну методику, щоб зменшити вплив різноманітних факторів на кінцевий результат.

ПОШУК α -РОЗПАДУ ^{151}Eu НА ПЕРШІЙ ЗБУДЖЕНИЙ РІВЕНЬ ^{147}Pm

**Ф. А. Даневич¹, Е. Андреотті², М. Хюльт², Г. Маріссенс²,
В. І. Третяк¹, А. Юксель²**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Інститут стандартних матеріалів та вимірювань*

Об'єднаного дослідницького центру Європейської комісії, Гель, Бельгія

Пошук альфа-розпаду ^{151}Eu на перший збуджений рівень ^{147}Pm ($J^\pi = 5/2^+$, $E = 91.1$ кеВ) був здійснений у підземній лабораторії HADES, розміщеній на глибині близько 500 м водного еквіваленту [1]. Зразок оксиду європію високого рівня чистоти масою 303 г вимірювався впродовж 2232.8 год за допомогою наднизькофонового напівпровідникового гамма-детектора із надчистого германію об'ємом 40 см^3 з високими енергетичною роздільною здатністю (ширина піка на половині висоти близько 0.75 кеВ на енергії гамма-квантів 91 кеВ) і ефективністю реєстрації гамма-квантів низьких енергій. Основний внесок в інтенсивність фону детектора зі зразком (приблизно на порядок величини вищий за інтенсивність фону, вимірюного без зразка впродовж 1654.7 год) дала радіоактивна забрудненість зразка радіоактивними ізотопами європію ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{155}Eu та дочірніми нуклідами урану і торію. Шуканий ефект у спектрі накопиченому із зразком європію не спостережено. З аналізу даних встановлено нове обмеження на період напіврозпаду ^{151}Eu на перший збуджений рівень ^{147}Pm $T_{1/2} \geq 3.7 \times 10^{18}$ років з довірчою ймовірністю 68 % [2], у той час як розрахунки за різними моделями дають оцінки в межах $7 \cdot 10^{18} - 10^{20}$ років. Обговорюються можливості підвищення чутливості експерименту до рівня теоретичних передбачень.

1. *Andreotti E. et al.* Status of underground radioactivity measurements in HADES // Proc. of the 3rd Int. Conf. NPAE-Kyiv2010 (Kyiv, Ukraine, June 7 - 12, 2010). - Kyiv, 2011. - P. 601.
2. *Danevich F.A. et al.* Search for α decay of ^{151}Eu to the first excited level of ^{147}Pm using underground γ -ray spectrometry // Eur. Phys. J. . - 2012. - Vol. A48. - P. 157.

КЛАСТЕРНИЙ РОЗПАД $^{242}\text{Cm} \rightarrow ^{34}\text{Si} + ^{208}\text{Pb}$ У БАГАТОВИМІРНИЙ МОДЕЛІ

В. Ю. Денисов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Кластерний розпад $^{242}\text{Cm} \rightarrow ^{34}\text{Si} + ^{208}\text{Pb}$ досліджується у багатовимірній моделі. Колективними змінними, які описують кластерний розпад ядер у багатовимірній моделі, є відстань між центрами мас ядер R та еліпсоїдальна деформація кожного ядра ξ_1 і ξ_2 відповідно. Макроскопічний потенціал взаємодії ядер $V(R, \xi_1, \xi_2)$ знайдено у модифікованому наближенні Томаса-Фермі з урахуванням усіх нелокальних членів до \hbar^4 включно і з силами Скірма та Кулона. Також враховано оболонкові поправки.

Отримана потенційна поверхня має дві сідлові точки, які суттєво пов'язані з оболонковими поправками. Одна пов'язана з малими деформаціями кожного ядра, а інша - з великими. Траєкторія кластерного розпаду у багатовимірній моделі враховує динамічні деформації кожного ядра.

Знайдено, що для гідродинамічних безвихрових масових параметрів кластерний розпад іде крізь сідлову точку з великими деформаціями, у той час як для реалістичних значень масових параметрів кластерний розпад іде крізь сідлову точку з малими деформаціями.

Розрахунки періоду життя кластерного розпаду $^{242}\text{Cm} \rightarrow ^{34}\text{Si} + ^{208}\text{Pb}$ у багатовимірній моделі узгоджуються з експериментальним значенням.

ЗБУДЖЕННЯ ЯДЕР ЕЛЕКТРОННИМ ПЕРЕХОДОМ (NEET)

О. Я. Дзюблик

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Детально розглянуто збудження ядер при електронних переходах, індукованих рентгенівськими променями. Аналіз робиться в рамках розвинутого автором методу, який поєднує квантову електродинаміку та теорію розсіяння. Дано пояснення зсуву краю NEET відносно краю поглинання рентгенівських променів, який спостерігався Кішімото при дослідженні збудження ^{197}Au внаслідок електронного переходу між атомними оболонками M_1 та K . Пока-

зано, що осциляції перерізу НЕЕТ виникають внаслідок інтерференції хвилі фотоелектрону та електронних хвиль, розсіяних сусідніми атомами кристала.

Розглянуто також можливість НЕЕТ в ізомері 16^+ ядра ^{178}Hf в околі L_3 краю поглинання рентгенівських променів. Вважається, що ядро при поглинанні рентгенівського фотону переходить в проміжний стан 15^- . З'ясовано, що прискорення розпаду цього ізомеру, яке спостерігалось Колінсом і др., має місце, якщо ядро гафнію при переході в проміжний стан 15^- набуває неаксіальну форму. Оцінки показують, що проміжний стан розпадається мимо 16^+ , якщо існує на відстані приблизно 300 кеВ рівень 13^- .

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛОВ ПЕРЕКРЫТИЯ ДЛЯ АМПЛИТУДЫ МНОГОЧАСТИЧНОГО КУЛОНОВСКОГО РАСЩЕПЛЕНИЯ

А. П. Ильин

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

В различных вариантах метода связанных каналов реакций с дискретизацией континуума при расчете реакций с выходом нескольких заряженных частиц чтобы учесть кулоновские эффекты во внешней области приходится проводить численное интегрирование по большой (но ограниченной) области пространства. Поэтому для оценок таких эффектов желательно получить аналитические формулы. В данной работе разработан общий подход для получения аналитических приближений для амплитуд реакций прямого кулоновского расщепления лёгкого многокластерного ядра на три, четыре и больше заряженных частиц при рассеянии на тяжёлом ядре-мишени. Неупругие эффекты кулоновского возбуждения ядра-мишени не рассматриваются. Конкурирующими процессами могут быть реакции последовательной фрагментации налетающего ядра. В расчетах полных амплитуд таких реакций вклад кулоновского взаимодействия при фрагментации может быть определён при помощи результатов работы [1] автора. Пренебрегая взаимодействием между лёгкими продуктами реакции и применяя модель нулевого радиуса для произведения $V\Phi$ функции связанного состояния, сначала амплитуду кулоновского развала приводим к однократному интегралу от произведения четырех волновых функций частиц в кулоновском поле ядра-мишени, который представляем в виде трехкратного контурного интеграла. Затем по аналогии записываем четырехкратный контурный интеграл, который соответствует развалу на 4 заряженные частицы. Далее, используя в отличие от работы [1] только одно инфинитизимальное дробнолинейное преобразование, приводим этот интеграл к шестикратной сумме от произведения четырех гипергеометрических функций Гаусса. Затем в результате редукции (обнуления пяти добавленных ранее параметров) получаем выражение для случая развала на три частицы, представленное в виде 4-х кратной суммы от произведения трех

гипергеометрических функций Гаусса сходных по структуре с результатом работы [1].

1. *Ильин А.П.* // ТМФ. - 2006. - Т. 146. - С. 311.

ЦИФРОВА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ СТРУМУ ПУЧКА ЦИКЛОТРОНА У-240

О. М. Ковальов, А. П. Войтер, О. Є. Вальков, М. І. Доронін, А. І. Устінов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Вимірювання струму пучка циклотрона У-240 здійснюється сьогодні застарілим аналоговим способом і не може забезпечувати належну точність та повноту, оскільки аналогові прилади фіксують лише інтегральний показник струму. Сучасні цифрові технології надають можливість здійснювати такі вимірювання методами амплітудного аналізу значно точніше і визначати не лише інтегральне значення струму, але й амплітудні і ефективні його показники. З цією метою в рамках модернізації систем управління циклотрона У-240 створено цифрову систему вимірювання струму пучка.

Головним елементом цієї системи, який буде спільним і для інших систем управління, є промисловий контролер І-8831 з архітектурою РС та магістрально-модульною системою підключення функціональних модулів. Для вимірювання амплітудних параметрів струму пучка використовується модуль І-8017НВ, який здійснює амплітудно-цифрове перетворення імпульсної напруги, пропорційної струму в шунтуючому резисторі циліндра Фарадея. Для передачі статистичних даних вимірювання до комп'ютера пульту управління циклотрона використано інтегрований в контролер І-8831 мережевий інтерфейс Ethernet.

Для формування імпульсної напруги розроблено спеціальний ізольований підсилювач, функціональну схему якого складають блок захисту від стрибків високої напруги, інтегратор з постійною часу 10 мс, блок попереднього підсилення, фільтр Чебишева, блок основного підсилення, термокомпенсований формувач середньої точки та компенсатор початкового зміщення. Підсилювач здатний пропорційно перетворювати в напругу імпульсний струм пучка з періодом імпульсів 20 мс, шириною імпульсів 1 - 2 мс та частотою їх заповнення 14 мГц. Коефіцієнт відношення вихідної напруги до значення вимірюваного струму дорівнює 10.

Основні характеристики підсилювача:	Основні характеристики I-8017HW:
- вхідний діапазон струму: від +0,5 до +200 мкА;	- кількість аналогових входів: 8
- вихідна пропорційна напруга: від +0,05 до +10 В	- тип аналогових входів: диференційні (мВ, В або мА)
- похибка вимірювання в межах діапазону: 0,13 мкА	- вхідний діапазон за напругою: від +1,25 мВ до +10 В
- частота зрізу фільтра: 0.5 Гц	- частота дискретизації : 100К Гц
- напруга живлення: 24 В	- роздільна здатність: 14 біт
- споживана потужність: 0,1 Вт	- точність перетворення: 0.10 %
	- споживана потужність: 0,1 Вт

Усі функціональні модулі системи вимірювання струму, у тому числі й ізольований підсилювач, мають єдиний тип конструкції та закріплюються на монтажній DIN рейці типу омега.

ГЕНЕРАТОР КОДІВ

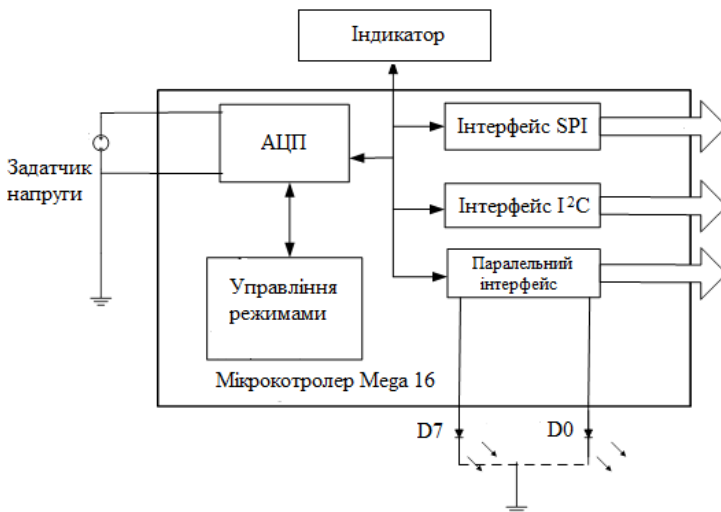
О. М. Ковальов, О. О. Гаврилов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Складовою елементної бази сучасних блоків ядерної електроніки є мікросхеми та інші електронні компоненти з програмним управлінням їх режимами роботи та параметрами. Для забезпечення прийому кодів управління та комунікації між мікросхемами електронні компоненти мають вбудовані інтерфейси, найбільш поширеними з яких є I²C (Inter-Integrated Circuit) фірми Philips, та SPI (Serial Peripheral Interface, розроблений компанією Motorola.

В процесі налагодження блоків ядерної електроніки та при їх розробці існує потреба в джерелі кодів управління, яке б генерувало довільні значення кодів у форматах вказаних інтерфейсів. Для цього було розроблено генератор кодів на основі мікроконтролера Mega16 компанії Atmel. Структурна схема генератора кодів зображена на рисунку.

Контролер має інтегровані інтерфейси I2C та SPI, а також необхідний для генерації кодів амплітудно-цифровий перетворювач (АЦП). В якості задатчика коду використано регульоване джерело постійної напруги - багатооборотний цифровий потенціометр. АЦП забезпечує перетворення аналогового значення сигналу задатчика в цифровий код з діапазоном значень від 0 до 255 або від 0 до 999. Отриманий код передається на наявні інтерфейси у вигляді відповідного бінарного числа. Паралельно з цим код виводиться на індикатор для візуального контролю поточного значення.



У генераторі передбачено два режими роботи: однократна передача коду на інтерфейсі або циклічна, при цьому формат даних може мати розмір один або два байти.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПРОФІЛЮ І ПОЛОЖЕННЯ ПУЧКІВ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БАЗІ ММД

**О. С. Ковальчук¹, В. М. Пугач¹, О. А. Федорович¹, Д. І. Сторожик¹,
В. М. Міліція¹, Г. Рем²**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Diamond Light Source, Oxfordshire, United Kingdom

В ІЯД НАН України розроблено технологію виготовлення мікро-стріпових металевих детекторів (ММД). ММД товщиною біля 2 мкм спроможні реєструвати потоки іонізуючого випромінювання у широкому діапазоні енергій та інтенсивності. Особливостями ММД є їхня прозорість, радіаційна стійкість (>100 МГр), висока просторова роздільна здатність (до 2 мкм), унікальна технологія виробництва, низька робоча напруга (до 20 В), комерційно доступна зчитувальна електроніка.

На цей час розроблено та виготовлено ММД із кількістю стріпів від 16 до 1024 із кроком стріпів від 30 до 200 мікрон. У 2012 році виготовлено ММД зі змінним кроком стріпів - MMD32_v (кількість стріпів - 32, відстань між стріпами від 2 до 300 мкм).

Представлено характеристики перших детекторних модулів на базі MMD32_v, розроблених для фокусування мікро-пучків на синхротроні DLS

(Oxfordshire, Великобританія) а також попередні результати тестування мікростріпових детекторів на синхротронному пучкові. Проведені характеристичні дослідження 16-секторного металевого мікро-детектора на синхротронному пучкові (діаметр пучка - 100 мкм, енергія - 10 ± 20 кеВ) на лінії В16 синхротрону DLS. Визначена чутливість детектора 10^{-3} е/рн відповідає теоретичним розрахункам. Наведено аналіз позиційної чутливості різних груп секторів ММД в залежності від переміщення детектору відносно осі пучка.

Для зчитування даних з ММД вперше застосовано систему збору та обробки даних XDAS [1]. XDAS представляє собою модульну систему для широкого кола застосувань, пов'язаних зі скануванням рентгенівського випромінювання. Наводяться результати дослідження роботи XDAS з детекторними модулями ММД-12x12 та ММД-80 на прискорювачі ЕГП-10К ІЯД (Україна) та на установці швидкісного рентгеноструктурного аналізу Інституту проблем матеріалознавства (Україна).

1. <http://www.sens-tech.com>

ВПЛИВ ДИФУЗІЇ В ІМПУЛЬСНОМУ ПРОСТОРИ НА ПРОЦЕСИ РЕЛАКСАЦІЇ В ЯДЕРНІЙ ФЕРМІ-РІДИНІ

В. М. Коломієць, С. В. Лук'янов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У даній роботі розглянуто дифузійне наближення для опису процесів релаксації у ядерній Фермі-рідині. Встановлено залежність часу релаксації нуль-звукових збуджень ядра від мультипольності збурення поверхні Фермі. Отримано явний вираз для ядерного коефіцієнту дифузії в імпульсному просторі та досліджено процес релаксації збуджень типу частинка-дірка в краплині Фермі-рідини.

ЕФЕКТИ КРИВИЗНИ ТА ІЗОТОПІЧНОЇ АСИМЕТРІЇ В ПОВЕРХНЕВІЙ ЕНЕРГІЇ НЕЙТРОННО-НАДЛИШКОВИХ ЯДЕР

В. М. Коломієць, А. І. Санжур

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Відповідно до концепції Гібса - Толмена визначено еквімолярний радіус та пораховано поправку на кривизну до поверхневого натягу ядра в залежності від значення параметра ізотопічної асиметрії. Чисельні розрахунки проведено на основі поєднання розширеного наближення Томаса - Фермі з прямим варіаційним методом.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕФЕКТУ ЗМІШУВАННЯ СТАНІВ НЕПАРНИХ ЯДЕР НА ПЕРЕРІЗИ ПРЯМОГО НЕПРУЖНОГО РОЗСІЯННЯ НУКЛОНІВ

І. О. Корж, А. Д. Фурса

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

При розрахунках перерізів непружного розсіяння зі збудженням мультиплетів станів непарних ядер ^{23}Na , ^{25}Mg , ^{27}Al , ^{41}K , ^{51}V , ^{55}Mn , ^{59}Co , ^{63}Cu , ^{65}Cu , ^{93}Nb в рамках моделі збудженого остова необхідно враховувати ефект змішування основного й збудженого станів ядер з однаковими значеннями J^π . У мультиплетях збуджених станів цих ядер є стани з такими ж квантовими числами, що і в основному стані, які і змішуються залишковою взаємодією, що мовою хвильових функцій цих станів виглядає як

$$\begin{aligned}\psi^1 &= \sqrt{1-\eta^2}\psi_1 + \eta\psi_2; \\ \psi^2 &= \sqrt{1-\eta^2}\psi_2 - \eta\psi_1,\end{aligned}$$

де η - амплітуда, яка характеризує величину змішування базових станів у моделі з взаємодією частинка-остов через фонон; ψ_1 - одночастинковий стан за відсутності будь-яких фонових; ψ_2 - стан, що складається з невзаємодіючої частинки або дірки з кутовим моментом J і одного квадрупольного фону на 2^+ , які зв'язані в стан з повним спіном J^π .

Для дослідження впливу змішування станів на перерізи непружного розсіяння нуклонів необхідно визначити амплітуду змішування станів. Методика визначення амплітуди змішування станів базується на теоретичному визначенні відстані між збудженим і основним станом з однаковими значеннями J^π . У роботі показано, що амплітуда змішування таких станів визначається тільки енергетичними характеристиками непарного ядра та ядра остова.

У роботі проаналізовано наслідки змішування станів. Показано, що ураховання змішування станів у хвильових функціях компонент мультиплетів призводить до істотного зменшення прямих перерізів непружного розсіяння нуклонів, розрахованих у рамках моделі збудженого остова, на фактор $(1 - \eta^2)$ для станів $I_{\text{зб.ст.}}^\pi \neq I_{\text{осн.ст.}}^\pi$ і на фактор $(1 - 2\eta^2)^2$ для станів $I_{\text{зб.ст.}}^\pi = I_{\text{осн.ст.}}^\pi$. У роботі наведено значення цих факторів.

АМПЛІТУДНА КАЛІБРОВКА ЗЧИТУВАЛЬНОГО ЧІПА n-XUTER 1.0

В. В. Крилов¹, Ю. Є. Сорокін^{2,3}

¹ *Київський Національний Університет імені Тараса Шевченка, Київ*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

³ *Франкфуртський Університет, Франкфурт-на-Майні, Німеччина*

n-XUTER – це 128-канальний зарядочутливий зчитувальний чіп, що дозволяє визначати як амплітуду сигналу, так і час його приходу. Завдяки своїй (майже унікальній) можливості працювати без тригера, високому коефіцієнту підсилення, здатності сприймати сигнали обох полярностей та високій пропускній здатності, n-XUTER застосовується для побудови прототипних модулів Кремнієвої Трекової Системи, Мюонного та Черенковського детекторів експерименту СВМ (Дармштадт, Німеччина), а також в інших проєктах в Дармштадті, Гайдельберзі та Дубні.

Для проведення амплітудної калібровки n-XUTER необхідно було згенерувати імпульси заряду дуже малої ($\geq 3000 e^-$), і при цьому точно відомої (досягнуто точності 3 %) амплітуди. Для цього сходинку напруги від лабораторного генератора імпульсів було атенювано до рівня $\Delta U \geq 1$ мВ та подано на вхід n-XUTER через конденсатор малої ємності ($C = 1$ пФ) (інжектований заряд $C \cdot \Delta U$). Складність роботи полягала в точному вимірюванні ємності C , мінімізації та забезпеченні незмінності паразитних ємностей, визначенні фактора атенюації сходинки напруги, перевірці впливу інших факторів та оцінці систематичних похибок. Також було приділено увагу мінімізації шуму.

Правильність калібровки та оцінки систематичних похибок підтверджено вимірами з іншим джерелом сигналу – планарним кремнієвим детектором, де сигнал збуджувався γ -випромінюванням ²⁴¹Am.

Основний внесок у похибку калібровки дає неоднорідність коефіцієнтів підсилення різних каналів.

Роботу виконано за підтримки NIC for FAIR, HGS-HIRe та H-QM.

РОЗПОДІЛ ЕЛЕКТРОНІВ ЗА ЕНЕРГІЄЮ “В ПКУ НУЛЬОВОЇ ЕНЕРГІЇ”

В. Т. Купряшкін, В. А. Лашко, Д. П. Сидоренко, О. І. Феоктістов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Проведене дослідження розподілу електронів близьконульової енергії (e_0 -електронів), що вилітають з поверхні джерел при радіоактивному розпаді та при бомбардуванні мішені зарядженими α - і β - частинками.

Спостереження за випромінюванням e_0 -електронів, що складають пік

нульової енергії, відбувалось шляхом вимірювання кривої затримки $N(eU)$, коли між поверхнею джерела (мішені) і детектором електронів подається затримуючий потенціал U , який пропускає на детектор лише електрони з енергією $E > (eU)$. Виміри кривої затримки $N(E)$ проводяться в режимі $(e\alpha)$ -збігів, що дозволяє у часовому спектрі збігів відділити $N(E)$ для e_0 -електронів від $N(E)$ для швидких e_f -електронів. Встановлено, що у всьому діапазоні затримки пік швидких збігів практично не змінюється, що спрощує проведення вимірів. З кривої затримки визначався інтегральний спектр e_0 -електронів $N(E)$ в інтервалі від 0 до 24 eV. Залежність інтегрального спектра e_0 -електронів від енергії $N_f(E)$ можна отримати з наступного співвідношення кривої затримки:

$$N_f(E) = \int_0^{E_{max}} \frac{dN}{dE}(E) dE - \int_E^{E_{max}} \frac{dN}{dE}(E) dE = \int_0^E \frac{dN}{dE}(E) dE = N(0) - N(E).$$

Показано, що отриманий розподіл e_0 -електронів добре узгоджується з теоретичним, який випливає з опису його як ефекту струсу - це раптове збурення електричним зарядом, який виникає поблизу поверхні, що призводить до струсування слабкозв'язаних електронів з поверхні.

ПЕРЕНОРМИРОВКА КОНСТАНТ СЛАБОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЯДРАХ

А. А. Куртева

Институт ядерных исследований НАН Украины, Київ

Бета-переходи на коллективные состояния ядер рассматривались как одночастичные в различных моделях: одночастичной оболочечной, деформированного атомного ядра, неаксиального деформированного ядра. Однофононные состояния учитывались в квазичастично-фононной и микроскопической квазичастично-фононной моделях. Рассчитанные в этих моделях приведенные вероятности для некоторых интенсивных бета-переходов отличались от экспериментальных на 1 - 2 порядка.

На основе динамической коллективной модели нами создан метод расчета приведенных вероятностей бета-переходов на возбужденные состояния нечетных ядер с учетом квазичастичных и многофононных (до 10 фононов) состояний и вакуумных флуктуаций квазичастиц [1]. Рассчитанные с помощью этого метода приведенные вероятности бета-переходов с интенсивностью > 10 % отличаются от экспериментальных на 0,02 - 0,4 порядка для разных ядер.

Около 30 лет считали (Бор О., Мотгельсон Б., Мигдал А.Б., Витман И.Д., Алхазов Г.Д.), что перенормировка констант слабого взаимодействия в ядрах

обусловлена влиянием фермиевского и гамов-теллеровского резонансов, следовательно, она должна быть различной для разных ядер из-за значительных различий их поверхностей Ферми.

Наши расчеты бета-распада более 50 ядер из области $31 < A < 231$ показали, что в случае хорошего описания спектроскопических характеристик дочерних ядер, мы получаем хорошее описание приведенных вероятностей бета-переходов с одной и той же перенормировкой констант слабого взаимодействия:

$$\left[\frac{g_A}{g_V} \right]^{\text{exp}} = 0.343 \left[\frac{g_A}{g_V} \right]^{\text{free}},$$

где g_A - константа аксиального слабого взаимодействия; g_V - константа векторного слабого взаимодействия; $free$ - их отношение для свободных нуклонов. Следовательно, она не зависит от поверхностей Ферми ядер, а значит и от фермиевского и гамов-теллеровского резонансов. Причину перенормировки следует искать в ненуклонных степенях свободы.

1. *Вшинецкий И.Н., Куртева А.А., Митрошин В.Е. и др. // ЯФ. - 1994. - Т. 57, № 1. - С. 17 - 33.*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК ТА ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ ЗВОРОТНОГО РЕЗЕРФОРДІВСЬКОГО РОЗСІЯННЯ НА ТАНДЕМ-ГЕНЕРАТОРІ ЕГП-10К

**Д. А. Кушній¹, О. К. Горпинич¹, І. П. Дряпаченко¹, Л. Л. Дулгер^{1,2},
Г. Г. Зайкін¹, Д. В. Касперович^{1,2}, Т. О. Корзина¹, Е. М. Можжухін¹,
В. В. Осташко¹, Ю. М. Павленко¹, А. В. Степанюк¹, А. Ф. Шаров¹**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

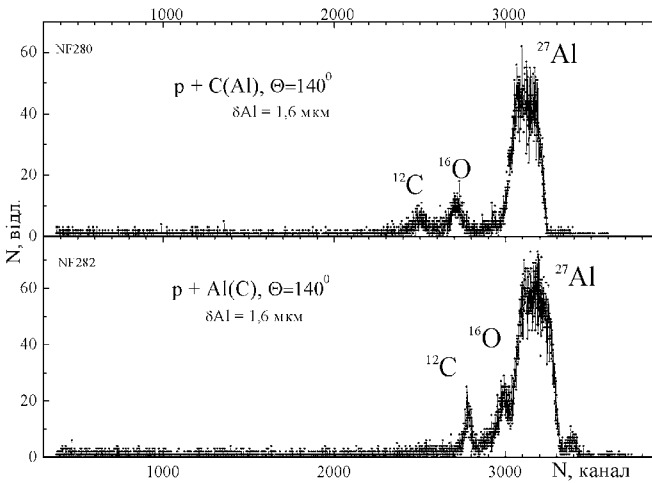
До реконструкції електростатичного генератора ЕГП-5 в тандем-генератор ЕГП-10К проводилися дослідження елементного складу та товщини тонких плівок і поверхневих шарів.

Такі роботи проводилися при енергіях прискорених протонів, що були в області мінімальних значень прискорювальної напруги електростатичного прискорювача до 1,5 МВ. При реконструкції прискорювача в тандем-генератор відповідні енергії пучка протонів та дейтронів зросли удвічі.

У 2012 р. досліджувалась якість проводки пучка, включаючи і проходження через аналізуючий магніт, при найменших можливих енергіях. Було досягнуто мінімальної енергії пучка протонів 1,84 МеВ при достатній його

величині для фізичних експериментів.

Важливим для тандемних прискорювачів є товщина і однорідність перезарядної фольги. На рисунку представлено зразки спектрів зворотного розсіяння протонів на комбінованій мішені, що представляла собою алюмінієву прокатану фольгу товщиною 1,6 мкм, на яку з водної поверхні «сплавлено» вуглецеву плівку, що виготовляється як перезарядна мішень. У верхній частині представлено спектр, коли мішень розвернута до пучка алюмінієм, а в нижній - вуглецевою плівкою.



Наявність на спектрі піка від кисню пов'язана з утримуванням молекул води між алюмінієвою і вуглецевою фольгою (в спектрах розсіяння в передні кути спостерігається пік пружного розсіяння водню на водні). З порівняння ширини піка від розсіяння протонів на алюмінії (товщина якого відома) з піком розсіяння на вуглеці та з урахуванням залежності іонізаційних втрат від заряду та масового числа, визначили, що товщина плівок вуглецю даної серії напилювання складає $\sim 0,14 \text{ мкм}$, що є достатньою величиною для прискорювача такого енергетичного діапазону.

ЕКСПЕРИМЕНТ СВМ. КРЕМНІЄВА ТРЕКЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ ФІЗИЧНИХ ПОДІЙ

А. О. Лиманець^{1,2}, Я. В. Панасенко¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Університет Еберхарда і Карла, Тюбінген, Німеччина

Експеримент СВМ досліджуватиме фазову діаграму ядерної речовини в області помірних температур та високих баріонних густин за допомогою ба-

гатьох спостережувані величини адронної та лептонної природи, включаючи рідкісні сигнали. Ключовий детектор експерименту – кремнієва трекерна система (КТС) – матиме надлегкий дизайн для реконструкції треків із роздільною здатністю по імпульсу порядку 1 % та швидкістю роботи, що дозволяє реконструювати до 600 заряджених частинок на подію при зіткненні пучка із мішенню при типових енергіях 25 ГеВ/нуклон та інтенсивності взаємодії 10 МГц. Для цього необхідні радіаційно стійкі кремнієві сенсори, самотригерована зчитувальна електроніка та система збору і накопичення даних, керованою потоком даних.

У роботі представлені результати розробки прототипів компонентів для детекторного модуля КТС. Двосторонні кремнієві мікростріпові детектори розміром $(1,5 \times 1,5) \text{ см}^2$ із 2×256 стріпами із взаємно ортогональним розміщенням та кроком 50 мкм були охарактеризовані за допомогою процедур перевірки якості, опромінені реакторними нейтронами із коефіцієнтом жорсткості 0,9 до флюенсів 10^{14} нейтр./см² та протестовані на пучку протонів із енергією 2,5 МеВ у складі детекторного модуля. Було виготовлено повнорозмірний прототип кремнієвого мікростріпового сенсора із 1024 стріпами із кроком 58 мкм, орієнтованих під стереокутом $\pm 7,5^\circ$. Мікрокабель із багатшаровою структурою на основі полііміду із алюмінієвими доріжками забезпечує мінімальну кількість матеріалу для зменшення багатократного кулонівського розсіяння. Легкі підтримувальні структури із вуглецевого волокна утримуватимуть до 5 детекторних модулів, що включають зчитувальну електроніку, розміщену поза аксептенсом детектора.

КВАЗИКЛАСИЧНА ТЕОРІЯ ТРАНСПОРТНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ДЛЯ ПОВІЛЬНОГО РУХУ НУКЛОНІВ В ЯДРАХ

О. Г. Магнер¹, Я. П. Блоцкі²

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Національний центр ядерних досліджень, Отвоцк, Польща*

Багато задач колективної ядерної динаміки (реакцій поділу та зіткнень важких йонів) можна звести до руху незалежних нуклонів у середньому полі з різким залежним від часу краєм в рамках макроскопічно-мікроскопічної моделі. Значне спрощення досягається у квазікласичному траекторному наближенні Гуцвілера до квантового формалізму ядерного відгуку на періодичне зовнішнє поле з частотою ω . Аналітично знайдені транспортні коефіцієнти колективної динаміки ядер, а саме масовий параметр B та коефіцієнт тертя γ , дозволяють обчислити середню швидкість зміни енергії ядра з часом $\langle dE/dt \rangle = B\dot{\alpha}\ddot{\alpha} + \gamma\dot{\alpha}^2$ [1]. Тут $\alpha(t)$ є параметром деформації при малих повільних коливаннях радіусу $\delta R(t, \theta) \propto R\alpha(t)P_n[\cos(\theta)]$ потенціальної ями навколо сферичної форми радіуса R , які задаються розкладом по поліномам

Лежандра P_n з залежною від часу деформацією $\alpha(t) = \alpha \cos(\omega t)$ та частотою коливань ω , ω/Ω і амплітуда α малі ($\Omega = v_F / R$, v_F є Фермі-швидкість нуклона). У доповіді досліджуються гладкі транспортні коефіцієнти в рамках квазікласичної теорії Гувідера.

Отримано аналітичні квазікласичні вирази для коефіцієнта тертя γ та масового параметру B в теорії Гувідера за допомогою розкладу функції Грина по класичним траєкторіям з урахуванням порушення сферичної симетрії при розмиканні їх початкових та кінцевих точок.

Масовий параметр B в одиницях безвихрового потоку B_{irr}

$kR \backslash n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	1.43	1.98	2.54	3.62	3.90	5.00	5.26	6.37	6.36
10	0.41	0.77	0.96	1.47	1.49	2.02	2.03	2.55	2.56
[1]		0.050		0.025		0.020		0.015	

З ростом мультипольності коливань n коефіцієнти тертя γ прямують до стінкового значення γ_{wf} , як і в [1]. Як показано в таблиці, див. [2, 3], масові параметри стають значно вище гідродинамічної величини безвихрового потоку B_{irr} , особливо для менших $kR \sim A^{1/3}$ (k -хвильове число нуклонів при енергії Фермі, A - їх число у ядрі), на відміну від [1]. Показано суттєву різницю тертя та масового параметру, отриманих в даних роботах [2, 3], від знайдених у [1], особливо при квадрупольних коливаннях. Знайдені скінчені kR -залежності параметрів тертя та інерції, не використовуючи перевизначень розбіжних виразів [1].

1. Koonin S.E., Randrup J. // Nucl. Phys. - 1977. - Vol. A289. - P. 475.
2. Blocki J.P., Magner A.G., Yatsyshyn I.S. // Int. J. Mod. Phys. - 2012. - Vol. E21. - P. 1250034.
3. Blocki J.P., Magner A.G. // Physica Scripta, in press, 2013.

КВАНТОВАЯ ДИНАМИКА ЭВОЛЮЦИИ ВСЕЛЕННОЙ НА РАННЕМ ЭТАПЕ И ПЛОТНОСТЬ, ЗАВИСЯЩАЯ ОТ СКОРОСТИ ЕЕ РАСШИРЕНИЯ

С. П. Майданюк

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

В задачах рассеяния и столкновений в ядерной физике потенциалы взаимодействия на больших расстояниях стремятся к нулю, и поэтому в этой области практически одинаково успешно хорошо работают разные методы.

Однако, для решения задач излучения тормозных фотонов, которые сопровождают эти ядерные процессы, нужны методы, аккуратно определяющие волновые функции в дальних асимптотических областях и позволяющие с ними работать [1]. Отделить действительно работоспособные методы от подходов со значительными приближениями позволяют задачи квантовой космологии, где существуют аналогичные дифференциальные уравнение, а поведение потенциалов существенно отличается.

В данной работе исследован процесс формирования Вселенной и дальнейшего ее расширения на ранних этапах эволюции в метрике Фридмана-Робертсона-Уолкера в квантовом рассмотрении. Однако, как отмечалось в [2], в моделях с плоским пространством-временем не удастся сформировать потенциальный барьер (с привлечением моделей с обобщенным газом Чаплыгина, описывающих эволюцию темной энергии на ранней стадии). С целью разрешить эту проблему, в данной работе введен новый тип вещества, плотность которого зависит от скорости расширения Вселенной. Показано, что такой ввод в модель формирует барьер для плоской вселенной. Отдельное внимание уделено особенностям волновой функции, полученной в полностью квантовом подходе, для разных областей барьера и этапов эволюции. Показано резонансное влияние начального и граничных условий на проницаемость барьера (что не дают подходы Виленкина и Хокинга).

С целью выполнить сравнительный анализ, насколько быстро расширяется вселенная в разных моделях, введены квантовые определения скорости ее расширения и функции Хаббла. Эти понятия позволяют изучать динамику эволюции вселенной в квантовой космологии как в начальной стадии, так и в настоящее время. В частности, для разных значений энергии радиации продемонстрировано, как меняется скорость расширения с ростом масштабного фактора как для модели [3], так и для сценария с включенным новым типом вещества, плотность которого зависит от скорости расширения. Эта работа является дальнейшим развитием работы [3].

1. *Maydanyuk S.P.* Model for bremsstrahlung emission accompanying interactions between protons and nuclei from low energies up to intermediate energies: Role of magnetic emission // *Phys. Rev.* - 2012. - Vol. C86. - P. 014618; arXiv: 1203.1498.
2. *Beckwith A.W.* // *J. Mod. Phys.* - 2012. - Vol. 3. - P. 1285 - [open access].
3. *Maydanyuk S.P.* Resonant structure of space-time of early universe // *Europ. Phys. J. Plus.* - 2011. - Vol. 126. - P. 76; arXiv: 1005.5447.

ТУННЕЛИРОВАНИЕ В ПОЛЯХ ДИРАКА: ПАРАДОКС КЛЕЙНА И ДРУГИЕ НЕОБЫЧНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

С. П. Майданюк

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

В работе рассмотрен вопрос, что собой представляет туннелирование в полях Дирака: действительно ли оно соответствует общепринятому его понятию в квантовой механике или в чем-то отличается? В постановку задачи взят сферически-симметричный потенциал $V(r)$, имеющий барьер с высотой V_1 и внутреннюю яму с глубиной V_0 , и исследуется рассеяние частицы с массой m в его поле [1].

Чтобы выяснить поведение частицы в разных пространственных областях, диапазонах энергии E и значений массы m , выбрано направление свести эту задачу к иной задаче, где процесс туннелирования определяется линейным дифференциальным уравнением второго порядка, а его свойства и особенности полностью определяются поведением волновой функции и нами хорошо изучены.

С этой целью разработан формализм, который позволяет точно аналитически свести радиальное уравнение Дирака с произвольным радиальным потенциалом к уравнению, по своему виду в точности соответствующему одномерному уравнению Шредингера с неким новым потенциалом $\bar{V}(r)$, имеющим свои барьер и яму (начала этого подхода взяты из [2]). Обнаружено, что формы барьера и ямы существенно отличается от V_0 и V_1 , всецело определяемые выбранной энергией и значением массы. Показано, что проницаемость и отражением относительно части нового потенциала в барьерной области равны проницаемости и отражению оригинального барьера $V(r)$. В результате такого исследования выделены следующие зоны:

- при $E > V_1 + m$ - естественное движение над барьером;
- при $V_1 < E < V_1 + m$ - затухающее движение над барьером, по своим свойствам аналогичное туннелированию;
- при $V_1 - m < E < V_1$ - естественное туннелирование под барьером;
- при $E < V_1 - m$ - пролет сквозь барьер под ним, по свойствам аналогичный надбарьерному движению.

Особый интерес вызывает последняя зона, где проявляются такие особенности:

- с ростом высоты барьера V_1 падает его проницаемость, т.е. сквозной пролет лишь усиливается (т.е. парадокс Клейна - это частный случай);
- ширина барьера практически не снижает его проницаемость, т.е. движение частицы под ним остается таким же сильным при неограниченном росте ширины барьера.

Предполагается, что эти результаты могут быть использованы в задачах столкновения протонов с ядрами и в качестве объяснения идеи испарения черными дырами, выдвинутой Хокингом.

1. *Petrillo V., Janner D.* Relativistic analysis of a wave packet interacting with a quantum-mechanical barrier // *Phys. Rev.* - 2003. - Vol. A67. - P. 012110.
2. *Ахиезер А.И., Берестецкий В.Б.* Квантовая электродинамика. - М.: Наука, 1981. - 432 с.

ПОЗИЦІЙНО-ЧУТЛИВІ МІКРОДЕТЕКТОРИ ДЛЯ ДИФРАКТОМЕТРІЇ ШВИДКОПЛІННИХ ПРОЦЕСІВ

**В. М. Міліція¹, В. В. Бурдін³, Д. І. Денисюк^{1,2}, М. Кемпбел⁴,
О. С. Ковальчук¹, К. Ллопарт⁴, Б. Мінаков³, О. Ю. Охріменко¹,
С. Поспішил⁵, М. В. Пугач^{1,2}, В. М. Пугач¹, Д. І. Сторожик¹,
О. А. Федорович¹**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

³ *Інститут проблем матеріалознавства НАН України, Київ*

⁴ *ЦЕРН, Женева, Швейцарія*

⁵ *Інститут експериментальної та прикладної фізики, Прага, Чехія*

Представлено результати тестування позиційно чутливих мікродетекторів рентгенівського випромінювання для дослідження швидкоплинних процесів фазових переходів. Дослідження просторових та часових характеристик прототипів різних мікродетекторів виконано на установці швидкісного рентгеноструктурного аналізу ІПМ НАН України [1]. Випробувано гібридні кремнієві мікропіксельні детектори на основі зчитувального мікрочіпа TimePix, мікροстріпові кремнієві детектори із системою зчитування даних на основі мікрочіпів VA-SCM3, а також, створені в ІЯД НАН України, мікро-стріпові металеві детектори, сполучені із комерційною системою зчитування даних із мікродетекторів XDAS. Крок детекторів (близько 50 мкм) та швидка зчитувальна мікро-електроніка вибрані для забезпечення необхідної просторової та часової роздільної здатності для вимірювання та відображення в реальному часі динаміки фазових перетворень в металах та їх сполуках при нагріванні та охолодженні. Товщина кремнієвих сенсорів становить 300 мкм, а металевих – 1 - 2 мкм. При часі експозицій від мілісекунди до секунди (в залежності від досліджуваної детекторної системи) з точністю біля 20 мікрон за допомогою автоматизованої програми обробки даних визначали положення дифракційних максимумів розсіяних рентгенівських квантів при нагріванні чи охолодженні металевих зразків в температурному діапазоні від 20 до 1200 градусів Цельсія. Зроблено висновок про відповідність характеристик наявних кремнієвих мікро-детекторів

для цілей дифрактометрії швидкоплинних процесів. Економічно ефективною є система на основі мікро-стріпових детекторів, фізично досконалою - на основі мікропіксельних детекторів.

1. Бурдин В.В. и др. Заводская лаборатория. - 2006. - Т. 72, № 3. - С. 41 - 43.

КОРЕЛЬОВАНІСТЬ НАПРЯМКУ РУХУ ЕЛЕКТРОНІВ ОЖЕ З НАПРЯМКОМ РУХУ ЕЛЕКТРОНУ ВНУТРІШНЬОЇ КОНВЕРСІЇ

М. Ф. Митрохович, В. Т. Купряшкін, Л. П. Сидоренко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Сильна корельованість напрямку руху електронів “струсу” і основної частинки (β^- -електрон, електрон внутрішньої конверсії) в напрямку вперед [1 - 3] і відсутність тої ж корельованості для β^+ -розпаду [4], що пояснюється струмовими компонентами взаємодії заряджених часток, вказує на те, що така ж сильна корельованість повинна спостерігатись і в напрямках руху електронів Оже і електрону внутрішньої конверсії. Слід зауважити при цьому, що оже-випромінювання при заповненні дірок в атомній оболонці після внутрішньої конверсії є інтенсивним, що додатково вказує на важливість постановки і вирішення цієї важливої загально-фізичної кореляційної задачі.

На установці збігів γ -квантів з електронами, включаючи e_0 -електрони вторинної електронної емісії, досліджена просторова кореляція електронів Оже М-серії з електронами внутрішньої конверсії при розпаді ^{152}Eu . Електрони Оже реєструвались по e_0 -електронам вторинної електронної емісії (γ_{eCe_0} -збіги). Було встановлено, що електрони Оже М-серії (L- і K-серії, в очевидь, також), так як і електрони “струсу” при β^- -розпаді і внутрішній конверсії сильно корельовані по напрямку руху з основною частинкою (в даному разі з електроном внутрішньої конверсії сильно конвертованого переходу $\gamma_{122 \text{ keV } E2}$), рухаючись разом з електроном конверсії в передню півсферу. Інтенсивність корельованого М-оже випромінювання в діапазоні 1000 - 1700 еВ набагато перевищує інтенсивність корельованого випромінювання електронів “струсу” від електронів внутрішньої конверсії, що складає не більше 16% загального ефекту, в тому ж діапазоні енергій.

1. *Mitrokhovich N.F.* Corelation β -particle with “shake off” electrons under β -decay ^{152}Eu // Proc. Int. Conf. “Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy” (Kyiv, Ukraine, May 29 - June 03, 2006). - Kyiv, 2007. - P. 412 - 416.
2. *Mitrokhovich N.F., Kupryashkin V.T.* Correlation electron internal conversion with shake off electrons under ϵ -decay ^{152}Eu // Nuclear Physics and Atomic Energy. - 2007. - No. 1 (19). - P. 61 - 66.
3. *Mitrokhovich N.F.* Energy and correlation properties of “shake-off” electrons at

β -decay // Nuclear Physics and Atomic Energy. - 2010. - Vol. 11, No. 2. - P. 136 - 140.

- Mitrokhovich N.F., Kupryashkin V.T., Sidorenko L.P. Correlation researches of an outgoing directions "shake-off" electron and positron at β^+ - decay // 4th Int. Conf. "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy" (Kyiv, Ukraine, Sept. 3 - 7, 2012): Book of Abstracts. - Kyiv, 2012. - P. 79.

ЕЛЕКТРОНИ ВНУТРІШНЬОЇ КОНВЕРСІЇ Г-ПЕРЕХОДУ З ЕНЕРГІЄЮ 362 кеВ В ^{165}Ho

М. Ф. Митрохович, А. П. Лашко, Т. М. Лашко, Л. П. Сидоренко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

При дослідженні конверсійного спектра ^{165}Dy ($T_{1/2} = 2,3$ год) нами було встановлено, що γ -перехід з енергією 362 кеВ між протонними станами $K^\pi = 3/2^+ 3/2[411]$ та $K^\pi = 7/2^- 7/2[523]$ в ^{165}Ho має змішану ($M2 + E3$)-мультипольність [1]. В порівнянні з теоретичними оцінками одночастинкової моделі Вайскопфа, $M2$ -компонент цього переходу загальмований ($F_w(M2) \cong 12$) і для нього можливі аномалії в коефіцієнтах внутрішньої конверсії γ -променів, зумовлені ефектом проникнення. Ця обставина може суттєво вплинути на результати розрахунків величини параметра змішування $\delta(E3/M2)$ на основі конверсійних даних і потребує додаткового вивчення.

З метою отримати більш точні дані про інтенсивності ліній електронів внутрішньої конверсії (ЕВК) цього γ -переходу на К- та L-підоболонках ^{165}Ho , були проведені скрупульозні дослідження залежності ефективності реєстрації позиційно-чутливого детектора з мікроканальних пластин, розміщеного у фокальній площині β -спектрометра, від місця детектування. Отримані нові, уточнені значення інтенсивностей ліній ЕВК, які були проаналізовані з урахуванням ефекту внутрішньоядерної конверсії.

Визначена нами величина домішки $E3$ -мультипольності відповідає ймовірності радіаційного переходу $F_w(E3) \cong 0,02$, що свідчить про її колективну природу і, можливо, про окупольну деформацію ядра ^{165}Ho .

Ці дані та результати досліджень аналогічних протонних рівнів $K^\pi = 3/2^+ 3/2[411]$ в ізотопах ^{161}Ho , ^{163}Ho та ^{167}Ho порівнюються з розрахунками структури неротаційних станів в рамках надтекучої моделі ядра з урахуванням взаємодії квазічастинок з вібраційними фононами [2].

- Митрохович Н.Ф., Сидоренко Л.П., Феоктистов А.И. // Изв. АН СССР. Сер. физ. - 1991. - Т. 55. - С. 2154.
- Соловьев В.Г., Фогель П., Юнгклауссен Г. // Изв. АН СССР. Сер. физ. - 1967. - Т. 31. - С. 518.

ВЗАЄМОДІЯ ДЕЙТРОНІВ З ЛЕГКИМИ А-КЛАСТЕРНИМИ ЯДРАМИ

В. П. Михайлюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

На основі α -кластерної моделі з дисперсією для ядер вуглецю та кисню і теорії багаторазового дифракційного розсіяння розраховано поляризаційні характеристики пружного розсіяння дейтронів з енергіями 400 і 700 MeV ядрами ^{12}C і ^{16}O .

При виконанні розрахунків застосовувалися два підходи. По-перше, при розрахунках ми використовували наближення «точкового» дейтрону, відповідно до якого багаторазова амплітуда d - A розсіяння будувалася за допомогою амплітуд d - α розсіяння, отриманих шляхом підгонки експериментальних даних з d - ^{16}O розсіяння, а густини основних станів ядер ^{12}C і ^{16}O розраховувалися на основі співвідношень, отриманих в α -кластерній моделі з дисперсією [1]. У такому підході у використаній d - α амплітуді феноменологічно враховуються ефекти внутрішньої структури і ефекти зміни структурних властивостей («поляризуємість») дейтронів при їхній взаємодії з ядром-мішенню. По-друге, при виконанні розрахунків застосовувалася тричастинкова $n + p + A$ дифракційна модель [2], в якій використовувались амплітуди розсіяння нуклонів ядрами ^{12}C і ^{16}O , раніше отримані на основі ТБДР і α -кластерної моделі з дисперсією [1].

Проведені розрахунки показують, що розраховані в обох підходах характеристики d - ^{12}C і d - ^{16}O розсіяння в основному узгоджуються з наявними експериментальними даними, особливо при енергії 700 MeV. Для енергії 400 MeV розбіжності між результатами розрахунків і експериментальними даними збільшуються. Така поведінка розрахованих характеристик розсіяння може бути пов'язана з тим, що зі зменшенням енергії частинок, що налітають, умови застосування дифракційного наближення можуть гірше виконуватися, а ефекти ядерної рефракції стають більш помітними. Крім того, використана в наближенні «точкового» дейтрону «елементарна» амплітуда розсіяння не враховує доданки, квадратичні по спіну дейтрона, а в $n + p + A$ наближенні ми знехтували внеском D -хвилі у хвильову функцію основного стану дейтрона, що також може впливати на характер отриманих результатів при обох розглянутих енергіях.

1. *Бережной Ю.А., Михайлюк В.П.* Альфа-кластеризация в процессах рассеяния частиц и легких ядер ядрами // ЭЧАЯ - 2008. - Т. 39, Вып. 2. - С. 437 - 506.
2. *Berezhnaya Yu.A., Fedorchenko D.V., Mikhailyuk V.P., Pilipenko V.V.* Polarization phenomena in the intermediate energy elastic deuteron scattering from ^{12}C and ^{16}O nuclei // Eur. Phys. J. A. - 2012. - 48:4.

РОЗРОБКА СЦИНТИЛЯЦІЙНОГО КРИСТАЛА $PbWO_4$ З АРХЕОЛОГІЧНОГО СВИНЦЮ ДЛЯ НИЗЬКОФОНОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

В. М. Мокіна¹, Р. Бойко¹, Ю. Я. Вострєцов², Ф. А. Даневич¹,
В. Я. Дегода³, Х. Краус⁴, В. Б. Михайлик⁴, А. В. Рудь², І. А. Тупіцина²,
А. Г. Якубовська²

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, Харків

³ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

⁴ Оксфордський університет, Оксфорд, Великобританія

Сцинтиляційні кристали вольфрамату свинцю ($PbWO_4$) є перспективним матеріалом для експериментів з пошуку подвійного бета-розпаду та темної матерії [1, 2]. Головною складністю у використанні даного сцинтилятора є наявність радіоактивного ізотопу ^{210}Pb . Метою роботи було отримання низькофонових сцинтиляційних кристалів $PbWO_4$ з високими оптичними властивостями із археологічного свинцю. Монокристали $PbWO_4$ вирощувалися методом Чохральського із шихти, виготовленої методом твердофазного синтезу із оксидів вольфраму та глибоко очищеного археологічного свинцю [3, 4]. У сцинтиляційного кристала $PbWO_4$, що був вирощений із шихти стехіометричного складу, спостерігався сильний фотохромний ефект, відсутній у кристалі, вирощеного з надлишком свинцю. Досліджено методи знебарвлення кристалів шляхом відпалювання, а також люмінесцентні властивості у діапазоні температур 325 - 7 К як при опроміненні рентгенівським випромінюванням, так і альфа-частинками. Показано перспективність використання отриманого кристала як світловоду (для захисту від радіоактивності фотопомножувача) у експерименті з пошуку подвійного бета-розпаду ^{106}Cd за допомогою сцинтиляційного кристала $^{106}CdWO_4$. Енергетична роздільна здатність (ширина піка на половині висоти) сцинтиляційного кристала $CdWO_4$ розмірами $\varnothing 20 \times 20$ мм з використанням $PbWO_4$ розмірами $\varnothing 40 \times 83$ мм у якості світловоду становить 9.2 % (без світловоду 7.7 %) для гамма-лінії ^{137}Cs з енергією 662 кеВ з відносною амплітудою 65 %. Готуються вимірювання сцинтиляційного кристала $PbWO_4$ розмірами $\varnothing 30 \times 30$ мм як криогенного сцинтиляційного болометра для оцінки радіоактивної чистоти матеріалу.

1. *Danevich F.A. et al.* Application of $PbWO_4$ crystal scintillators in experiment to search for 2β decay of ^{116}Cd // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. - 2006. - Vol. A556. - P. 259.
2. *Danevich F.A. et al.* Feasibility study of $PbWO_4$ and $PbMoO_4$ crystal scintillators for cryogenic rare events experiments // Nucl. Instr. Meth. . - 2010. - Vol. A622. - P. 608.

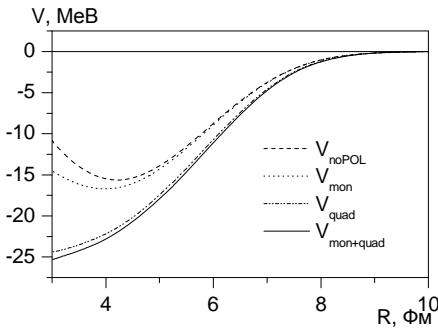
3. *Danevich F.A. et al.* Ancient Greek lead findings in Ukraine // Nucl. Instr. Meth. - 2009. - Vol. A603. - P. 328.
4. *Бойко Р.С. и др.* Глубокая очистка археологического свинца // Неорганические материалы. - 2011. - Т. 47. - С. 722.

ВПЛИВ АНТИСИМЕТРИЗАЦІЇ ТА ПОЛЯРИЗАЦІЇ НА ПОТЕНЦІАЛ ЯДЕРНО-ЯДЕРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

В. О. Нестеров

Институт ядерних досліджень НАН України, Київ

Явища антисиметризації та поляризації атомних ядер вивчалися у підході густини енергії. Для отримання густини розподілу нуклонів та енергії систем $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ та $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$ використовується двоцентрова оболонкова модель.



Потенціал взаємодії системи $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ в рамках двоцентрової оболонкової моделі без поляризації (V_{noPOL}), з урахуванням лише монопольної поляризації (V_{mon}), з урахуванням лише квадрупольної поляризації (V_{quad}), з урахуванням монопольної та квадрупольної поляризацій ($V_{\text{mon+quad}}$).

Розрахунки в рамках підходу густини енергії та двоцентрової моделі оболонок показали, що урахування антисиметризації між нуклонами ядер важливе для визначення потенціалу, інакше потенціал виходить значно більш глибоким. Урахування явища поляризації також дуже суттєво впливає на форму потенціалу взаємодії.

СЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ НЕЙТРАЛЬНОГО БОЗОНА ХИГГСА МССМ МОДЕЛИ В РЕАКЦИЯХ СЛИЯНИЯ ГЛЮОНОВ И В-КВАРКОВ С NNLO QCD РАСЧЕТАМИ

Т. В. Обиход

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Посчитано сечение образования нейтрального бозона Хиггса МССМ модели $\sigma(pp \rightarrow (b \cdot)h + X)$ при аннигиляции b-кварков с помощью NNLO QCD расчетов [1]. В рамках NNLO QCD подхода была найдена зависимость, как от масштаба факторизации, так и от масштаба ренормализации при

$\sqrt{s} = 7, 8$ ТэВ. С помощью компьютерной программы HIGLU [2] посчитано сечение образования нейтрального бозона Хиггса МССМ модели $\sigma(pp \rightarrow (gg)h)$ в реакции слияния глюонов на LHC с $\sqrt{s} = 7, 8, 14$ ТэВ включая NNLO коррекции к КХД. Результат для рассчитанной массы нейтрального бозона Хиггса МССМ модели находится в соответствии с последними экспериментальными данными, полученными на LHC.

1. *Harlander Robert V., Kilgore William B.* Higgs boson production in bottom quark fusion at next-to-next-to-leading order // Phys. Rev. - 2003. - Vol. D68. - P. 013001.
2. *Michael Spira*, HIGLU: A Program for the Calculation of the Total Higgs Production Cross Section at Hadron Colliders via Gluon Fusion including QCD Corrections, hep-ph/9510347.

ТУНЕЛЮВАННЯ ЧАСТИНОК ЗІ СПІНОМ

В. С. Ольховський¹, Т. І. Локотько²

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

У даній роботі розглядається тунелювання тотожних частинок крізь потенціальний прямокутний бар'єр та кулонівський бар'єр. Було досліджено тунелювання тотожних бозонів зі спіном 0 та тотожних ферміонів зі спіном 1/2. В результаті виконання цієї роботи, були отримані вирази для часів тунелювання для двох випадків, а також проаналізована їх енергетична залежність. Також проаналізовано ефект Хартмана у випадку тунелювання крізь потенціальний прямокутний бар'єр, в результаті показано існування ефекту Хартмана. Як прикладне застосування цієї моделі розраховано тунелювання двох альфа частинок крізь кулонівський бар'єр. В цій роботі вперше розглядається тунелювання частинок з урахуванням спіну.

СИСТЕМА РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ЕКСПЕРИМЕНТУ ЛНСЬ: ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНИХ УШКОДЖЕНЬ ВНУТРІШНЬОГО ТРЕКЕРА

О. Ю. Охріменко, В. М. Пугач, В. М. Яковенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Представлено дані по розподілу дози (200 - 800 Гр), поглиненої кремнієвими мікстріповими детекторами Внутрішнього Трекера експерименту ЛНСь [1] у 2012 р. в протон-протонних зіткненнях при енергії 8 ТєВ для інтегральної світимості $2,2 \text{ фб}^{-1}$. Наводяться характеристики Системи

Радіаційного Моніторингу (СРМ) [2], створеної в ІЯД НАН України для вимірювання та контролю за радіаційними навантаженнями Внутрішнього Трекера експерименту ЛНСб. СРМ базується на радіаційностійких Металевих Фольгових Детекторах (МФД) та спеціально розроблених чутливих зарядових інтеграторах [3]. СРМ забезпечує в реальному часі вимір потоків заряджених частинок (інтегральний потік за 2012 р.: $(1 - 3) \cdot 10^{12}$ МІЧ/см²) із точки взаємодії IP-8 (експеримент ЛНСб) та радіаційного фону. Ці дані дозволяють розрахувати зростання зворотнього струму в кремнієвих сенсорах (150 - 300 мкА для довгих та 50 - 90 мкА для коротких сенсорів), ініційоване впливом радіації, а також забезпечують моніторинг інтегральної світимості експерименту. Результати, отримані за допомогою СРМ у 2012 р. під час зіткнень протонних пучків на прискорювачі ЛНС, добре узгоджуються із розрахунками радіаційних навантажень в рамках моделі FLUKA.

1. *LHCb Collaboration // JINST S08005. - 2008.*
2. *Pugatch V. et al. // Ukr. J. Phys. - 2009. - Vol. 54(4). - P. 418.*
3. *Pugatch V. et al. // LHCb Note. - 2007-062.*

ЗБУДЖЕННЯ І РОЗПАД РЕЗОНАНСІВ ⁵He І ⁸Be В РЕАКЦІЇ ⁷Li(d, αα)n ПРИ ЕНЕРГІЯХ ДЕЙТРОНІВ 1,91 - 6,82 MeV

**Ю. М. Павленко¹, О. К. Горпинич¹, В. В. Осташко¹, В. Л. Шаблов²,
А. В. Степанюк¹, Ю. Я. Карлишев¹, О. І. Олійник³, Н. Л. Дорошко¹,
Т. О. Корзина¹, І. П. Дряпаченко¹, Е. М. Можжухін¹, Л. Л. Дулгер^{1,4},
Д. В. Касперович^{1,4}**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Обнінський інститут атомної енергетики, Обнінськ, Росія*

³ *Національний медичний університет ім. О. О. Богомольця, Київ*

⁴ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

Тричастинкову реакцію ⁷Li(d, αα)n досліджено в кінематично повних експериментах на тандем-генераторі ЕПП-10К ІЯД НАН України при енергіях дейтронів E_d = 1,91; 4,2; 6,54 і 6,82 MeV. Диференціальні перерізи реакції вимірювалися за допомогою методики „швидких” та „повільних” збігів двох α-частинок. Тілесні кути реєстрації заряджених продуктів взаємодії d + ⁷Li становили Ω₁ = 4,5 · 10⁻⁴ ср, Ω₂ = 1,3 · 10⁻² ср. Елементний склад напиленої на нікелеву плівку мішені LiF визначався за методом зворотного резерфордівського розсіяння дейтронів з енергією 1,91 MeV.

Аналіз спектрів збігів двох α-частинок показав, що основним механізмом реакції ⁷Li(d, αα)n в досліджених ділянках фазового простору є утворення і розпад незв'язаних станів ядер ⁵He і ⁸Be, які при E_d = 4,2 MeV можуть збуджуватися в цій реакції (завдяки високому значенню її енергетичного балансу) до енергій E* ~ 16 - 20 MeV. Основний внесок у кореляційні спектри

зумовлено резонансами, що відповідають збудженим станам ${}^8\text{Be}^*(16,6; 16,9 \text{ MeV})$ та основному і першому збудженому стану ${}^5\text{He}$. Внеском статистичного процесу утворення тричастинкового кінцевого стану реакції можна знехтувати.

За кінематичних умов, які відповідають відсутності домінуючого внеску резонансів ${}^8\text{Be}^*(16,6; 16,9 \text{ MeV})$, визначено резонансні енергії та ширини основного та першого збудженого стану ядра ${}^5\text{He}$: ${}^5\text{He}_{\text{о.с.}} - E_R = (0,78 \pm 0,02) \text{ MeV}$, $\Gamma = (0,75 \pm 0,16) \text{ MeV}$; ${}^5\text{He}^* - E_R = (2,6 \pm 0,3) \text{ MeV}$, $\Gamma = (3,5 \pm 1,3) \text{ MeV}$. Отримані значення E_R і Γ в межах похибок узгоджуються з даними, які отримано з R-матричного аналізу бінарного процесу α -розсіяння [1]. Аналізуються можливі причини значного розкиду відповідних даних, визначених при дослідженні різних тричастинкових реакцій.

Результати вимірювань інклюзивних та кореляційних спектрів будуть використані для оптимізації умов експериментальних досліджень розподілу гілок розпаду біляпорогового резонансу ${}^5\text{He}^*(16,75 \text{ MeV})$ по каналах $\alpha + n$ та $d + t$.

1. Tilley D.R. et al. // Nucl. Phys. A. - 2002. - Vol. 708. - P. 155.

РОЗПАД ПЕРШОГО ЗБУДЖЕНОГО СТАНУ ЯДРА ${}^8\text{Be}$ В РЕАКЦІЇ ${}^{11}\text{B}(p, \alpha\alpha)\alpha$ ПРИ $E_p = 2,65 \text{ MeV}$

Ю. М. Павленко¹, В. М. Пугач¹, В. Л. Шаблов², В. В. Осташко¹,
О. К. Горпинич¹, А. В. Степанюк¹, В. О. Кива¹, Ю. Я. Карлишев¹,
І. П. Дряпаченко¹, Е. М. Можжухін¹, Д. В. Касперович^{1,3}, Л. Л. Дулгер^{1,3}

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Обнінський інститут атомної енергетики, Обнінськ, Росія

³ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

У кінематично повному експерименті на тандем-генераторі ЕГП-10К ІЯД НАН України при енергії протонів 2,65 MeV досліджено тричастинкову реакцію ${}^{11}\text{B}(p, \alpha\alpha)\alpha$. Кореляційні вимірювання виконані за кінематичних умов, що відповідають спостереженню в близьких ділянках фазового простору резонансної взаємодії двох пар α -частинок в області енергій збудження першого збудженого стану ядра ${}^8\text{Be}$. В спектрах збігів двох α -частинок спостерігалися резонансні максимуми, положення та ширини яких суттєво відрізняються від даних, отриманих при дослідженні бінарного процесу $\alpha\alpha$ -розсіяння ($E^* = 3,03 \text{ MeV}$, $\Gamma = 1,513 \text{ MeV}$ [1]).

Форму резонансних кривих у виміряних кореляційних спектрах можна пояснити деструктивною інтерференцією амплітуд, що відповідають взаємодії в різних парах α -частинок. На це вказують результати виконаних раніше досліджень реакції ${}^{11}\text{B}(p, \alpha\alpha)\alpha$ [2]. Аналізується також можливість прояву впливу кулонівського поля третьої α -частинки на розпад короткоживучого резонансу ${}^8\text{Be}^*$ за умов проведених вимірювань [3].

1. *Tilley D.R. et al. // Nucl. Phys. A. - 2004. - Vol. 745, No. 3 - 4. - P. 155.*
2. *Гранцев В.И. и др. // Изв. АН СССР. Сер. физ. - 1977. - Т. 41. - P. 147.*
3. *Pavlenko Yu.N. et al. // Int. Journ. Mod. Phys. E. - 2010. - Vol. 19. - P. 1220.*

ЕКСПЕРИМЕНТ СВМ. ВЛАСТИВОСТІ ДЕТЕКТОРНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ КРЕМНІЄВОЇ ТРЕКЕРНОЇ СИСТЕМИ

**Я. В. Панасенко¹, Й. Хойзер³, В. О. Кива¹, А. О. Лиманець^{1,2},
В. М. Пугач¹, Ю. Є. Сорокін^{1,2}**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *FIAS, J.W.Goethe University, Франкфурт, Німеччина*

Однією з актуальних задач ФВЕ є пошук кварк-глюонної плазми (КГП). Очікується, що суттєві дослідження цього явища будуть зроблені в експерименті СВМ. СВМ експеримент пропонує дуже цікаві фізичні програми для дослідження фазової діаграми КХД. Унікальні особливості очікуються для енергетичного діапазону СВМ: фазовий перехід першого роду та критична точка. СВМ, як експеримент 2-го покоління, буде спроможний вивчати рідкі проби, флуктуації та кореляції. Наразі йде розробка детектора. В роботі представлено результати досліджень характеристик детекторних сенсорів та електроніки, що проводяться в Інституті Ядерних Досліджень НАН України, а також результати аналізу даних, отриманих на пучку протонів з енергією 2.5Гев (Юлих, ФРН).

Досліджено прототипи двосторонніх кремнієвих мікростріпових сенсорів типу СВМ02 та одностороннього - СВМ03'. Сенсор СВМ02В2 був досліджений за допомогою мікроелектроніки (чіп nXYTER). Сенсор було розміщено на демонстраторі прототипу детекторного модуля, і для зчитування всіх каналів використовувались чотири 128-канальні чіпи nXYTER. Три таких модулі було поставлено на пучок протонів з енергією 2.5 Гев. Було реконструйовано одно- та багатокластерні події, визначено відношення сигнал до шуму, реконструйована функція поділу заряду між стріпами. Аналізуючи амплітудні розподіли кластерів в залежності від того, в якій пропорції заряд розподілився між стріпами, було помічено що в центрі міжстріпового проміжку повна амплітуда кластера на $\approx 10\%$ менша ніж на стріпі. Тобто в міжстріповому проміжку спостерігається втрата 10% заряду, але вона не є значною щоб суттєво вплинути на роботу сенсора. Також було визначення відношення сигнал до шуму як відношення найбільш імовірного значення амплітуди кластера до середньоквадратичного відхилення шуму. Отримане значення для сенсора СВМ02В2 $S/N = 19$ і є достатнім для хорошого розділення сигналу і шуму. Дослідження показали, що сенсор СВМ02В2 демонструє очікувану поведінку - ландау сигнал від МІЧ, хороше розділення сигнал-шум. Для дослідження якості виготовлення детекторів та модулів Кремнієвого трека в ІЯД НАН України була створена 8-канальна тестова установка на основі дискретної електроніки. Тестування виконані з новим

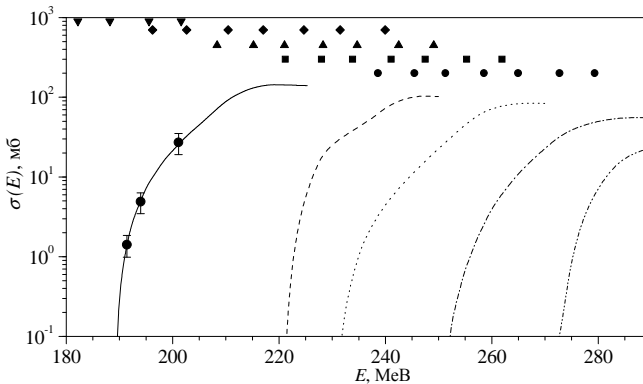
одностороннім кремнієвим сенсором СВМ03'. Виконані вимірювання з джерелом α -частинок Ra-226. Було отримано одновимірні спектри зі стріпів для різних напруг, поданих на сенсор та двовимірні спектри із пари стріпів на збігах. Міжстріповий проміжок дозволяє встановити функціонування обох стріпів, досліджувати явище розподілу заряду між сусідніми стріпами, визначити напругу повного зміщення, моніторувати геометричну однорідність стріпів і т. ін. Досліджуваний сенсор показав очікувану поведінку: спостерігається чітке розділення 4-х α -ліній, з підвищенням зворотної напруги на сенсорі амплітуда сигналу зростає.

ПЕРЕРІЗ ЗАХВАТУ СИСТЕМИ ВАЖКИХ ІОНІВ, ЩО ПРИВОДИТЬ ДО УТВОРЕННЯ КОМПАУНД ЯДРА З $Z = 120$

М. О. Пилипенко, В. Ю. Денисов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Надважкі елементи з $Z = 112 - 118$ були синтезовані в Дубні та Дармштатті з використанням реакцій гарячого синтезу $^{48}\text{Ca} + X$, де X важкий трансурановий елемент. Можливість використання пучків ^{48}Ca для синтезу більш важких елементів є обмеженою оскільки ядра-мішені з $Z > 98$ недоступні на даний момент для проведення експериментів. Це призводить до необхідності пошуку інших реакцій для синтезу більш важких елементів.



Перерізи захоплення (криві), Q реакції (крайній лівий знак) і енергія випаровування 1, 2, 3, 4, 5, 6 нейтронів (точки) для реакцій: — ∇ $^{48}\text{Ca} + ^{244}\text{Pu}$, - - - \blacklozenge $^{50}\text{Ti} + ^{249}\text{Cf}$, \blacktriangle $^{54}\text{Cr} + ^{248}\text{Cm}$, - - - - \blacksquare $^{58}\text{Fe} + ^{244}\text{Pu}$, - - - - \bullet $^{64}\text{Ni} + ^{238}\text{U}$.

Використовуючи раніше запропонований, простий та точний, метод розрахунку потенціалу взаємодії двох деформованих ядер та їх перерізу захвату [1, 2], було розраховано переріз захоплення $\sigma(E)$ для реакцій $^{50}\text{Ti} + ^{249}\text{Cf} =$

$= {}^{299}_{120}\text{Cr} + {}^{248}_{120}\text{Cm} = {}^{302}_{120}\text{Fe} + {}^{244}_{120}\text{Pu} = {}^{302}_{120}\text{Ni} + {}^{238}_{120}\text{U} = {}^{302}_{120}\text{Ni}$. Дані реакції розглядаються як найбільш ймовірні кандидати для синтезу елемента з $Z = 120$.

1. *Denisov V.Yu., Pilipenko N.A.* // Phys. Rev. C. - 2007. - Vol. 76. - P. 014602.
2. *Denisov V.Yu., Pilipenko N.A.* // Phys. of At. Nucl. - 2010. - Vol. 73. - P. 1152.

ДО ВИВЧЕННЯ ВАРІАЦІЙ ВТОРИННИХ КОСМІЧНИХ ПРОМЕНІВ

В. А. Пилипченко, Ю. В. Пилипченко, І. І. Гайсак, В. В. Соляник

Ужгородський національний університет, Ужгород

Виконано моделювання процесів взаємодії первинних космічних променів (ПКП) з атмосферою за спрощеними моделями [1 - 3]. Для нейтронів з енергією нижче 100 - 200 MeV процес їх взаємодії з ядрами азоту чи кисню моделювався на основі традиційних підходів нерелятивістської нейтронної фізики. Розрахунки показали достатню інтенсивність появи на поверхні Землі швидких нейтронів у діапазоні енергій вище 10 MeV.

Налагоджена експериментальна установка для спостереження різних компонент вторинних космічних променів з використанням скінтіляційних детекторів і методу збігів.

Для спостереження жорсткої компоненти використано скінтіляційні детектори з кристалами NaJ(Tl) діаметром 15 см. Фіксація широких атмосферних злив здійснювалась підключенням до установки збігів скінтіляційних детекторів, віддалених на 15 - 20 м. Для ресстрації швидких нейтронів в одному з детекторів використано органічний скінтілятор, який служив радіатором протонів віддачі. Частина протонів завершувала свій пробіг у скінтіляторі, NaJ(Tl), другого детектора. Вимірюється спектр імпульсів від таких протонів віддачі у скінтіляційному спектрометрі з скінтілятором NaJ(Tl), поява яких у часі співпадала з імпульсами першого детектора.

Наводяться та аналізуються дані про варіації мюонної компоненти, виміряні протягом останніх років, та про співвідношення інтенсивності різних компонент вторинних космічних променів.

1. *Мурзин В.С.* Введение в физику космических лучей. - М.: Изд-во МГУ, 1988. - С. 287 - 308.
2. *Drescher H.J., Farrar G.R.* // Phys. Rev. - 2003. - Vol. D67. - P. 11600.
3. *Halataei S.M.H., Bahmanabadi M., Khakian Ghomi M., Samimi J.* Simulation studi of secondary particles in extensaiveair showers using CORSIKA code // Phys. Rev. -2008. - Vol. D67. - P. 0830011.

ОПИС ЕФЕКТІВ СПАРЮВАННЯ НУКЛОНІВ ПАРНО-ПАРНИХ ЯДЕР У РАМКАХ АДІАБАТИЧНОЇ ТРИЧАСТИНКОВОЇ МОДЕЛІ

Р. М. Плекан, І. В. Хімич

*Ужгородський національний університет,
кафедра теоретичної фізики, Ужгород*

Ефекти спарювання нуклонів одного сорту, які обумовлені їхньою залишковою взаємодією, відіграють важливу роль у формуванні збуджених станів парно-парних ядер, проявляючись, зокрема, у наявності щілини у енергетичних спектрах парно-парних ядер та її відсутності у спектрах непарних і непарно-непарних ядер. Урахування таких ефектів призводить до гострої необхідності мати методи розрахунку хвильових функцій та енергетичного спектру стаціонарних станів парно-парних ядер, які виходять за рамки однонуклонних наближень типу Хартрі-Фока [1].

Відомо також, що парні кореляції тотожних нуклонів призводять до існування надплинних станів ядер. Першим на можливість надплинності ядерної матерії вказав Боголюбов [2]. Найбільш послідовно і коректно парні кореляції нуклонів одного сорту враховуються в надплинній моделі ядра [3, 4] на основі формалізму вторинного квантування.

У даній роботі парні кореляції між тотожними нуклонами пропонуються враховувати в потенціальному підході в рамках адіабатичної тричастинкової моделі [5], в якій парно-парне сферичне (або деформоване) ядро розглядається як система, що складається із відповідного остова і двох валентних нуклонів, які рухаються в його статичному полі. Ефективне середнє поле остова моделюється потенціалом Вудса - Саксона з одночастинковою спіно-орбітальною взаємодією. Кореляції між валентними нуклонами враховуються, відповідно, введенням між ними залишкової взаємодії, яка моделюється потенціалом з нульовим радіусом дії із врахуванням відштовхування нуклонів на малих відстанях. В основі запропонованої моделі лежить припущення про розділення руху валентних нуклонів у просторі R^6 на швидкий рух по кутових змінних на гіперсфері $S^5(\Omega)$ і адіабатичний (повільний) вздовж гіперрадіусу R та введення зручного для опису поняття потенціального терму нуклонів ядра $U_{\mu}(R)$.

У рамках адіабатичної тричастинкової моделі досліджуються енергії спарювання нуклонів та енергетичні спектри збуджених станів парно-парних ядер, в яких у відповідних зовнішніх оболонках містяться два валентні нуклони, або в яких до заповнення зовнішніх оболонок не вистачає двох нуклонів. Ефективність моделі ілюструється на прикладі чисельних розрахунків для цілого ряду парно-парних ядер. З'ясовується факт, що за рахунок залишкової взаємодії валентних нуклонів має місце тонка структура енергетичного спектру $E(J)$ по сумарному кутовому моменту ядра.

1. Барц Б.И., Болотин Ю.Л., Инопин Е.В., Гончар В.Ю. Метод Хартри-Фока в теории ядра. - К.: Наук. думка, 1982. - 208 с.
2. Боголюбов Н.Н. К вопросу об условии сверхпроводимости в теории ядерной материи // Докл. АН СССР. - 1958. - Т. 119, № 1. - С. 52 - 55.
3. Soloviev V.G. On the Superfluid State of the Atomic Nucleus // Nucl. Phys. - 1958/59. - Vol. 9, Issue 4. - P. 655 - 664.
4. Belyaev S.T. Effect of Pairing Correlations on Nuclear Properties // Dan. Mat. Fys. Medd. - 1959. - Vol. 31, No. 11. - P. 1 - 55.
5. Капустей М.М., Плекан Р.М., Пойда В.Ю., Хімич І.В. Адиабатична тричастинкова оболонкова модель ядра // УФЖ. - 2001. - Т. 46, № 5 - 6. - С. 524 - 528.

ВИВЧЕННЯ СПЕКТРА ЗБУДЖЕННЯ ЯДРА ${}^6\text{He}$ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ ДІАПАЗОНІ 0 - 20 MeV

О. М. Поворозник

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Спектр збудження нейтронно-збагаченого ядра ${}^6\text{He}$, що проявляється і як тричастинковий неперервний спектр, і як заселення резонансних станів у цьому континуумі, є досить складним для вивчення як експериментально, так і теоретично. І якщо проаналізувати проведені дослідження спектру збудження ядра ${}^6\text{He}$ в енергетичній щілині між енергіями порогів розпаду ($0.973\text{MeV} \leq E^* \leq 12.203\text{MeV}$) на три ($\alpha + n + n$) і на дві ($t + t$) частинки, то результати і експериментальні, і теоретичні цих досліджень, є досить контрверсійними. Не викликають сумніву тільки характеристики основного $0+$ і першого збудженого стану $2+$ рівня (1,797 MeV).

**Енергія збудження (E^*) та ширина рівнів,
що спостерігались у ${}^3\text{H}(\alpha, tt)p$, ${}^3\text{H}(\alpha, pt)t$
та ${}^3\text{H}(\alpha, p\alpha)nn$**

67,2 MeV ${}^3\text{H} + \alpha \rightarrow p + {}^6\text{He}^* \rightarrow \alpha + n + n$		27,2 MeV ${}^3\text{H} + \alpha \rightarrow p + {}^6\text{He}^* \rightarrow \alpha + n + n$	
E^*, MeV	Γ, MeV	E^*, MeV	Γ, MeV
1.7 ± 0.2	0.65 ± 0.15	1.8 ± 0.2	0.3 ± 0.15
2.5 ± 0.2	0.4 ± 0.2	2.4 ± 0.2	0.4 ± 0.2
3.1 ± 0.3	0.4 ± 0.2	3.0 ± 0.2	0.6 ± 0.2
4.1 ± 0.3	0.9 ± 0.3	67,2 MeV ${}^3\text{H} + \alpha \rightarrow p + {}^6\text{He}^* \rightarrow t + t$	
6.1 ± 0.3	1.6 ± 0.3		
8.8 ± 0.4	2.0 ± 0.6	18.3 ± 0.2	0.4 ± 0.2
11.6 ± 0.4	2.0 ± 0.7	${}^3\text{H} + \alpha \rightarrow p + {}^6\text{He}^* \rightarrow t + t$	
14.6 ± 0.4	2.3 ± 1.0	14.0 ± 0.4	0.6 ± 0.4
16.4 ± 0.4	1.4 ± 0.9	16.1 ± 0.4	0.8 ± 0.4
18.5 ± 0.4	1.7 ± 0.6	18.4 ± 0.4	1.0 ± 0.4

Дана оглядова доповідь присвячена циклу досліджень спектра збудження ядра ${}^6\text{He}$ за допомогою 3- та 4-частинкових ${}^3\text{H}(\alpha, \text{tt})\text{p}$, ${}^3\text{H}(\alpha, \text{pt})\text{t}$ та ${}^3\text{H}(\alpha, \text{p}\alpha)\text{np}$ реакцій. На класичному циклотроні У-120 ($E_\alpha = 27.2$ МеВ) вивчали спектр збудження ядра ${}^6\text{He}$ до енергії 3.5 МеВ, аналізуючи інклюзивний спектр протонів та двовимірні спектри $\text{p}-\alpha$ збігів. Експеримент, проведений на ізохронному циклотроні У-240 з використанням пучка альфа-частинок з енергією 67.2 МеВ, в якому вимірювались та аналізувались відповідно двовимірні спектри $\text{t}-\text{t}$, $\text{p}-\text{t}$ та $\text{p}-\alpha$ збігів, дозволив дослідити спектр збудження ядра ${}^6\text{He}$ до енергії збудження ~ 20 МеВ. У таблиці наведено отримані енергетичні параметри збуджених станів, що спостерігались, та ядерні реакції, що використовувались. Про достовірність проведених досліджень свідчить той факт, що енергетичні характеристики перших трьох збуджених станів, отриманих з вивчення ${}^3\text{H}(\alpha, \text{p}\alpha)\text{np}$ реакції при різних енергіях взаємодії, і трьох останніх високо збуджених рівнів, отриманих з дослідження 3- та 4-частинкових ${}^3\text{H}(\alpha, \text{tt})\text{p}$, ${}^3\text{H}(\alpha, \text{pt})\text{t}$ та ${}^3\text{H}(\alpha, \text{p}\alpha)\text{np}$ реакцій, у межах експериментальних похибок збігаються.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДВІЙНОГО БЕТА-РОЗПАДУ ${}^{116}\text{Cd}$ ЗА ДОПОМОГОЮ СЦИНТИЛЯТОРІВ ${}^{116}\text{CdWO}_4$ ІЗ ЗБАГАЧЕНОГО ${}^{116}\text{Cd}$

**Д. В. Пода¹, О. С. Барабаш², П. Беллі³, Р. Бернабей^{3,4}, Я. В. Васильєв⁵,
С. М. Галашов⁵, Ф. А. Даневич¹, А. Інчікітті^{6,7}, Ф. Каппелла^{6,7},
В. Караччіоло⁸, С. Кастеллано⁸, В. В. Кобичев¹, С. І. Коновалов²,
М. Лаубенштайн⁸, Р. Б. Подвіянюк¹, О. Г. Поліщук^{1,6}, В. І. Третяк¹,
В. І. Уматов², Д. М. Черняк¹, Р. Черулі⁸, В. М. Шлєгель⁵**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Інститут теоретичної та експериментальної фізики, Москва, Росія

³ Фізичний факультет Римського університету «Тор Вергата», Рим, Італія

⁴ Відділення НІЯФ у Римі «Тор Вергата», Рим, Італія

⁵ Інститут неорганічної хімії ім. А. В. Ніколаєва СВ РАН,

Новосибірськ, Росія

⁶ Фізичний факультет Римського університету «Ла Сапієнца», Рим, Італія

⁷ Відділення НІЯФ у Римі «Ла Сапієнца», Рим, Італія

⁸ Національна лабораторія Гран-Сассо, НІЯФ, Асерджі, Італія

Низькофононий експеримент з пошуку подвійного бета-розпаду ${}^{116}\text{Cd}$ зі сцинтиляторами вольфрамату кадмію (масою близько 0.58 кг кожен), збагаченими ізотопом ${}^{116}\text{Cd}$ до 82 % (${}^{116}\text{CdWO}_4$) [1], триває у підземній лабораторії Гран-Сассо (Італія). На другому етапі вимірювань з експозицією 1.13 кг · рік було зареєстровано двонейтринний бета-розпад ${}^{116}\text{Cd}$ з періодом напіврозпаду $T_{1/2} = 2.5(5) \cdot 10^{19}$ років, що узгоджується з результатами інших експериментів. Крім того, отримано нові обмеження на періоди напіврозпаду на рівні

$T_{1/2} > 10^{21} - 10^{22}$ років відносно 2β -переходів ^{116}Cd на кілька збуджених станів ^{116}Sn [2]. Одним з основних джерел фону детектора була забрудненість установки (головним чином, фотоелектронних помножувачів) радіонуклідами ^{40}K , а також дочірніми нуклідами Th і U . У жовтні 2012 р. детектор було модернізовано: було демонтовано активний захист і додано додатковий мідний захист. Крім того, завдяки використанню рефлектора 3М для обгортання світловодів з кристалами $^{116}\text{CdWO}_4$, вдалося покращити енергетичну роздільну здатність детектора ($\text{FWHM} \approx 4.5\%$ на $Q_{2\beta}$ ^{116}Cd). З аналізу даних за перші 1402 год вимірювань після модернізації установки видно, що фон в околі 2.7 - 2.9 MeV знизився у 4 рази до ≈ 0.07 відліків/(рік \cdot кеВ \cdot кг). Крім того, враховуючи низьку сегрегацію калію, торію і радію [3], ми сподіваємось суттєво зменшити фон шляхом перекристалізації кристалів, що дозволить за 5 років вимірювань підвищити чутливість експерименту до $0\nu 2\beta$ -розпаду ^{116}Cd до $T_{1/2} \sim (0.5 - 1.5) \cdot 10^{24}$ років, що є на рівні найбільш чутливих експериментів і відповідає ефективній масі нейтрино Майорани $\langle m_\nu \rangle \sim 0.4 - 1.4$ eВ.

1. *Barabash A.S. et al.* Low background detector with enriched $^{116}\text{CdWO}_4$ crystal scintillators to search for double b decay of ^{116}Cd // J. Instrum. - 2011. - Vol. 06. - P. P08011.
2. *Barabash A.S. et al.* First results of the experiment to search for double beta decay of ^{116}Cd with the help of enriched $^{116}\text{CdWO}_4$ crystal scintillators // Proc. of 4th Int. Conf. "Current Problems in Nucl. Phys. At. Energy" (Kyiv, Ukraine Sept. 3 - 7, 2012). - Kyiv, 2013 (to be published).
3. *Poda D.V. et al.* CdWO_4 crystal scintillators from enriched isotopes for double beta decay experiments // Proc. Int. Conf. on Luminescent Detectors and Transformers of Ioniz. Radiation LUMDETR'2012 (Halle, Germany, Sept. 10 - 14, 2012).

ПОШУК ПОДВІЙНОГО БЕТА-РОЗПАДУ ІЗОТОПІВ ОСМІУ

Д. В. Пода¹, П. Беллі², Р. Бернабей^{2,3}, Г. П. Ковтун⁴, Н. Г. Ковтун⁴,
Ф. А. Даневич¹, С. д'Анжело^{2,3}, А. Інчікитті^{5,6}, Ф. Каппелла^{5,6},
М. Лаубенштейн⁷, О. Г. Поліщук^{1,6}, Д. А. Солопихін⁴, В. І. Третяк¹,
Р. Черуллі⁷, А. П. Щербань⁴

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Фізичний факультет Римського університету «Тор Вергата», Рим, Італія

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

⁴ ННЦ "Харківський фізико-технічний інститут" НАН України,
Харків, Україна

⁵ Фізичний факультет Римського університету «Ла Сапієнца», Рим, Італія

⁶ Відділення НІЯФ у Римі «Ла Сапієнца», Рим, Італія

⁷ Національна лабораторія Гран-Сассо, НІЯФ, Асерджі, Італія

Пошук безнейтринного подвійного бета-розпаду ($0\nu 2\beta$) є актуальною задачею фізики ядра та елементарних частинок завдяки можливості перевірити закон збереження лептонного заряду, визначити природу нейтрино (частинка Дірака чи Майорани), оцінити масу і схему масових станів нейтрино, здійснити пошук домішок гіпотетичних правих струмів у слабкій взаємодії і бозонів Намбу-Голдстоуна (майоронів). Два ізотопи осмію є потенційно 2β -активними: ^{184}Os (енергія розпаду $Q_{2\beta} = 1453,7(6)$ кеВ, поширеність у природі $\delta = 0,02(1)$ %, дозволені процеси подвійного електронного поглинання та поглинання електрону з випромінюванням позитрона) і ^{192}Os ($Q_{2\beta} = 412(3)$ кеВ, $\delta = 40,8(2)$ %, 2β -розпад з випромінюванням електронів). Крім того, у випадку безнейтринного подвійного електронного поглинання в ядрі ^{184}Os на деякі збуджені стани ^{184}W , енергія переходу близька до енергії збуджених рівнів, що може привести до резонансного підсилення ймовірності процесу. Нами вперше проведено дослідження 2β -розпаду ізотопів ^{184}Os і ^{192}Os методом наднизькофонової напівпровідникової γ -спектрометрії у підземній лабораторії Гран-Сассо (Італія) зі зразком осмію високої чистоти масою 173 г [1]. За 2741 год вимірювань з γ -спектрометром з надчистого германію об'ємом 468 см^3 встановлено обмеження на періоди напіврозпаду ^{184}Os відносно різних каналів 2β -розпаду на рівні $T_{1/2} \sim 10^{16} - 10^{17}$ років і $T_{1/2} \sim 10^{19}$ років для 2β -розпаду ^{192}Os на перший збуджений рівень дочірнього ядра. Крім того, дані було проаналізовано з метою пошуку α -розпаду ^{186}Os на перший збуджений рівень ^{182}W . З метою підвищення чутливості експерименту до процесу донеітринного подвійного електронного поглинання в ^{184}Os та α -розпаду цього ізотопу на збуджений рівень дочірнього ядра, зразок осмію у листопаді 2012 року було встановлено у наднизькофоновий γ -спектрометр із вищою чутливістю до низькоенергетичних γ -квантів.

1. *Belli P. et al.* First search for double β decay of ^{184}Os and ^{192}Os // Submitted to Eur. Phys. J A.

ЕНЕРГЕТИЧНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОТЕНЦІАЛУ ВЗАЄМОДІЇ ЯДЕР $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$

О. А. Понкратенко, В. В. Улешенко, Ю. О. Ширма

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Здійснено аналіз відомих з літератури даних пружного, непружного розсіювання та злиття ядер $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ в енергетичному діапазоні від 1 до 100 МеВ/нуклон. Теоретичні розрахунки диференціальних перерізів відповідних процесів виконано, використовуючи оптичну модель (ОМ) та метод зв'язаних каналів реакцій (МЗКР). В якості дійсної частини використовується потенціал подвійної згортки з залежним або не залежним від енергії кое-

фіцієнтом нормування N_R . У випадку з незалежним від енергії N_R до дійсної частини потенціалу додається енергетично залежний доданок, що визначається дисперсійним співвідношенням між дійсною та уявною частинами потенціалу. Уявна частина ОМ потенціалу вибиралась у вигляді суми об'ємної (WS - типу Вудса - Саксона) та поверхневої частин (WSD - типу похідної від форми Вудса - Саксона). Вважалось, що об'ємна частина WS зумовлювала відтік потоку частинок у канал злиття (утворення компаунд-ядра), а поверхнева WSD - у непружні канали (прямі процеси). Досліджувались різні типи енергетичної залежності параметрів глибини та параметрів форми цих частин уявного потенціалу (інтервально-лінійна, експоненціальна, логарифмічна, поліноміальна). Отримані енергетично-залежні потенціали були використані для розрахунку перерізів пружного та непружного розсіяння, реакції передачі α -частинки та перерізів злиття. При цьому були отримані енергетичні залежності параметрів деформації для непружного розсіяння та спектроскопічних факторів для реакції передачі α -частинки.

ЗАЛЕЖНІСТЬ РЕЗОНАНСНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІД МАСОВОГО ЧИСЛА

М. М. Правдивий, І. О. Корж

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У роботі підведено підсумки проведених раніше досліджень по визначенню повних наборів середніх резонансних параметрів $S_0, S_1, R'_0, R'_1, S_{1,1/2}, S_{1,3/2}$ для ядер $^{47,9}\text{Ti}, ^{55,8}\text{Fe}, ^{58,7}\text{Ni}, ^{65,4}\text{Zn}, ^{72,6}\text{Ge}, ^{79}\text{Se}, ^{91,2}\text{Zr}, ^{95,9}\text{Mo}, ^{101,1}\text{Ru}, ^{106,4}\text{Pd}, ^{106}\text{Cd}, ^{108}\text{Cd}, ^{110}\text{Cd}, ^{112}\text{Cd}, ^{116}\text{Cd}, ^{116}\text{Sn}, ^{118}\text{Sn}, ^{120}\text{Sn}, ^{122}\text{Sn}, ^{124}\text{Sn}, ^{127,6}\text{Te}, ^{144,2}\text{Nd}$. Параметри визначено розробленим авторами методом із аналізу експериментальних середніх диференціальних перерізів пружного розсіяння нейтронів низьких енергій. Проведена оцінка отриманих результатів і їх місце в існуючій системі рекомендованих параметрів.

Проведено також побіжний аналіз існуючих методів визначення середніх резонансних параметрів та їхніх переваг і недоліків. Підкреслена роль залежності параметрів від масового числа A як основного критерія надійності резонансних параметрів. На сьогодні такі залежності встановлені лише для параметрів S_0, S_1, R'_0 , для яких і створені рекомендовані параметри. Для решти параметрів такі залежності існують лише в стадії досліджень, а відтак рекомендовані параметри відсутні.

Розроблений авторами метод дозволяє здійснювати перевірку наявних у літературі резонансних параметрів на їхню відповідність експериментальним перерізам пружного розсіяння. Оскільки рекомендовані параметри S_0, S_1, R'_0 визначаються розрізнено, то така перевірка дозволила встановити які з них не відповідають експериментальним перерізам. Зокрема було встановлено, що

рекомендовані для ядер $^{106,108}\text{Cd}$ величини параметра S_0 не відповідають експериментальним перерізам. Як приклад такої невідповідності в таблиці наведено параметри даної роботи і рекомендовані параметри з BNL325.

Ядро ^{106}Cd	$S_0 \cdot 10^4$	$S_1 \cdot 10^4$	$R_0', \text{Фм}$	$R_1', \text{Фм}$	$S_{1,1/2}' \cdot 10^4$	$S_{1,3/2}' \cdot 10^4$
Дана роб.	0,25	3,80	6,29	12,20	4,60	3,40
BNL325	1,20*	4,70*	6,33*	10,54	8,20	2,95

* Рекомендовані параметри, фіксовані при здійсненні підгонки.

СЕРЕДНІ РЕЗОНАНСНІ ПАРАМЕТРИ ЯДЕР РУТЕНІЮ І ПАЛАДІЮ

М. М. Правдивий, І. О. Корж

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Дана робота присвячена визначенню повних наборів середніх резонансних параметрів S_0 , S_1 , R_0' , R_1' , $S_{1,3/2}'$ ядер рутенію і паладію з природним складом ізотопів за допомогою розробленого авторами методу з аналізу середніх експериментальних диференціальних перерізів пружного розсіяння нейтронів низьких енергій. Метод виявився плідотворним як для отримання нових даних, так і для перевірки наявних у літературі параметрів на їх відповідність експериментальним перерізам. Така перевірка була здійснена щодо рекомендованих параметрів S_0 і S_1 Брукхейвенської національної лабораторії та МАГАТЕ. Деякі параметри цих робіт мають значні розбіжності між собою, що послужило додатковим стимулом для проведення наших досліджень.

Отримані для обох ядер резонансні параметри наведені в Табл. 1. Загалом вони задовільно описують експериментальні дані і при цьому узгоджуються з залежністю параметрів від масового числа A , розрахованою за оптичною моделлю. Проведеним аналізом встановлено, що рекомендовані для обох ядер величини параметрів S_0 , S_1 , які наведені в Табл. 2, є завищеними. Внаслідок цього отримані з підгонки величини параметра R_0' є заниженими і не узгоджуються з рекомендованою залежністю від масового числа A ($R_0' \sim 6,5 - 7$).

Таблиця 1. Середні резонансні параметри ядер рутенію й паладію

Ядро	$S_0 \cdot 10^4$	$S_1 \cdot 10^4$	$R_0', \text{Фм}$	$R_1', \text{Фм}$	$S_{1,1/2}' \cdot 10^4$	$S_{1,3/2}' \cdot 10^4$
Ru	0,35(10)	4,67(30)	6,66(25)	6,59(45)	4,09(1,20)	4,96(40)
Pd	0,37(15)	4,40(40)	6,43(30)	7,52(50)	5,34(1,20)	3,93(40)

**Таблиця 2. Параметри, рекомендовані
Брукхейвенською Національною лабораторією**

Ru	0,72*	5,62*	5,88	7,37	7,44	4,71
Pd	0,56*	5,26*	5,61	8,70	8,46	3,66

* Рекомендовані параметри, фіксовані при здійсненні підгонки.

ВЛАСТИВОСТІ ЯДЕРНИХ ЗІТКНЕНЬ ПРИ ЕНЕРГІЯХ БЛИЗЬКО 10^{13} eВ

В. М. Пугач

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Представлено огляд досліджень ядерних зіткнень при енергіях біля 10^{13} eВ. Акцент зроблено на експериментальних даних, одержаних на Великому адронному колайдері у 2011 - 2012 рр. Характеризуються дані про відкриття нового бозона (експерименти ATLAS, CMS), можливі сигнали кварк-глюонної плазми (експерименти ALICE, CMS). Детально представлені дані експерименту LHCb з порушення CP-симетрії в розпадах В-мезонів, пошуку рідкісних каналів розпадів та сигналів Нової Фізики. Вперше спостережено розпад В-мезонів по чотирьохчастинковому каналу ($B_c \rightarrow J/\psi + 3\pi$). Виміряні імовірності розпаду $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- - (3.2^{+1.5}_{-1.2}) \cdot 10^{-9}$ та $B_s^0 \rightarrow \phi \gamma - (3.9 \pm 0.5) \cdot 10^{-5}$ узгоджуються із передбаченням Стандартної моделі. Вперше спостережені порушення CP-симетрії в розпаді чарівних мезонів, з високою точністю визначені характеристики порушення CP-симетрії в різних каналах розпаду В-мезонів, включаючи трьохчастинкові адронні канали, розглянуто як можливі джерела фізики за межами Стандартної моделі.

7D-МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОЧАСТИНКОВИХ ЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ

**М. В. Пугач^{1,2}, К. Гранія³, М. Кемпбел⁴, В. О. Кива¹, О. С. Ковальчук¹,
К. Ллопарт⁴, В. М. Міліція¹, О. Ю. Охріменко¹, Ю. М. Павленко¹,
С. Поспішіл³, В. М. Пугач¹, Д. І. Сторожик¹, В. М. Яковенко¹**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

³ *Інститут експериментальної та прикладної фізики, Прага, Чехія*

⁴ *ЦЕРН, Женева, Швейцарія*

Представлено результати тестування нової експериментальної методики для кореляційних досліджень багаточастинкових ядерних реакцій на основі матричних мікропиксельних детекторів. В експерименті, виконаному на Тан-

дем-генераторі ІЯД НАН України, використовували гібридний детектор, в якому матриця (256 × 256) кремнієвих сенсорів площею (55 × 55) мкм² та товщиною 300 мкм сполучена за спеціальною технологією із геометрично такою ж матрицею зчитувальної електроніки на основі мікрочіпа TimePix [1].

Наводяться попередні результати кінематично повного дослідження реакції ¹¹B(p, 3α) в області фазового простору з інтерференцією амплітуд першого та другого етапів трьохчастинкової реакції із збудженням ядра ⁸Be*(2.9 MeV). Значний тілесний кут мікропиксельного детектора дозволяє досліджувати явище інтерференції в широкій області полярних (θ) та азимутальних (φ) кутів в одній експозиції, мінімізуючи різноманітні систематичні похибки експерименту. Крім того, детектор TimePix забезпечує вимірювання енергії з роздільною здатністю біля 50 кеВ, ідентифікацію типу частинки (p, α) та фіксацію часу (25 нс) попадання частинки в детектор.

Вимірювання кутових та енергетичних кореляцій детекторами TimePix дозволяє здійснити 7-вимірне дослідження диференційних перерізів багато-частинкових ядерних реакцій, продукти яких поглинаються в товщі детектора. Програмне забезпечення дозволяє здійснити пошук умов експерименту для спостереження інтерференції різних короткоживучих станів ядер та виконати аналіз енергетичних спектрів кінцевих продуктів із врахуванням конструктивної чи деструктивної інтерференції.

ПРУЖНЕ ТА НЕПРУЖНЕ РОЗСІЯННЯ ІОНІВ ¹⁴N ЯДРАМИ ⁶Li ПРИ ЕНЕРГІЇ 80 МеВ

**А. Т. Рудчик¹, О. В. Герашенко¹, С. Клічевські², К. Русек^{3,4},
Є. І. Коший⁵, С. Ю. Межевич¹, Вал. М. Пірнак¹, О. А. Понкратенко¹,
А. А. Рудчик¹, Р. Сюдак², Я. Хоїньські⁴, Б. Чех², А. Щурек²**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Інститут ядерної фізики ім. Г. Неводнічанського, Краків, Польща

³ Національний інститут ядерних досліджень, Варшава, Польща

⁴ Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

⁵ Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Харків

Отримано нові експериментальні дані диференціальних перерізів пружного та непружного розсіяння ядер ⁶Li + ¹⁴N при енергії E_{лаб}(¹⁴N) = 80 МеВ. Експеримент проведено на Варшавському циклотроні С-200Р.

Експериментальні дані проаналізовано за оптичною моделлю (ОМ) та методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР) із включенням у схему зв'язку каналів пружного й непружного розсіяння, процесу реорієнтації спінів ядер ⁶Li і ¹⁴N в основних та збуджених станах, а також найбільш важливих реакцій передач.

Визначено параметри потенціалу взаємодії ядер ⁶Li + ¹⁴N в основних та збуджених станах, а також параметри деформації цих ядер. Досліджено ізо-

топічні відмінності потенціалів взаємодії ядер ${}^6\text{Li} + {}^{14}\text{N}$ і ${}^7\text{Li} + {}^{14}\text{N}$.

Отримано відомості про внески реакцій одно- та двоступінчастих передач у диференціальні перерізи пружного й непружного розсіяння ядер ${}^6\text{Li} + {}^{14}\text{N}$. Установлено, що пружне розсіяння іонів ${}^{14}\text{N}$ на малі та середні кути обумовлено, в основному, потенціальним розсіянням, а в розсіяння на великі кути помітні внески дають процеси реорієнтації ядер ${}^6\text{Li}$ і ${}^{14}\text{N}$. Реакції передач не відіграють помітної ролі як у пружному, так і непружному розсіянні цих ядер. Дані непружного розсіяння ядер ${}^6\text{Li} + {}^{14}\text{N}$ для низькоенергетичних рівнів задовільно описуються МЗКР-перерізами для колективних збуджень цих ядер.

ПРУЖНЕ Й НЕПРУЖНЕ РОЗСІЯННЯ ІОНІВ ${}^{10}\text{B}$ ЯДРАМИ ${}^6\text{Li}$ ПРИ ЕНЕРГІЇ 51 МеВ

А. Т. Рудчик¹, Б. В. Міщенко², Є. І. Коций³, С. Клічевскі⁴, К. Русек^{5,6},
А. А. Рудчик¹, С. Ю. Межевич¹, Вал. М. Пірнак¹, В. А. Плюйко²,
О. А. Понкратенко¹, Р. Сюдак⁴, Я. Хоїнські⁶, Б. Чех⁴, А. Щурек⁴

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

³ Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Харків

⁴ Інститут ядерної фізики ім. Г. Неводнічанського, Краків, Польща

⁵ Національний інститут ядерних досліджень, Варшава, Польща

⁶ Лабораторія важких іонів Варшавського Університету, Варшава, Польща

Отримано нові експериментальні дані диференціальних перерізів пружного й непружного розсіяння іонів ${}^{10}\text{B}$ ядрами ${}^6\text{Li}$ при енергії $E_{\text{лаб}}({}^{10}\text{B}) = 51$ МеВ. Експериментальні дані проаналізовано за оптичною моделлю та методом зв'язаних каналів реакцій. У схему зв'язку включались пружне й непружне розсіяння ядер ${}^6\text{Li} + {}^{10}\text{B}$, процеси реорієнтації спінів ${}^6\text{Li}$ і ${}^{10}\text{B}$, а також найбільш важливі реакції передач. Визначено параметри потенціалу взаємодії ядер ${}^6\text{Li} + {}^{10}\text{B}$ типу Вудса - Саксона та параметри деформації ядер ${}^6\text{Li}$ і ${}^{10}\text{B}$. Досліджено механізми розсіяння цих ядер та ізотопічні відмінності потенціалів взаємодії ядер ${}^6\text{Li} + {}^{10}\text{B}$ та ${}^7\text{Li} + {}^{10}\text{B}$.

МЕХАНІЗМИ РЕАКЦІЇ ${}^6\text{Li}({}^{18}\text{O}, {}^{12}\text{C}){}^{12}\text{B}$ ТА ПОТЕНЦІАЛ ВЗАЄМОДІЇ ЯДЕР ${}^{12}\text{B} + {}^{12}\text{C}$

А. Т. Рудчик¹, К. А. Черкас¹, А. А. Рудчик¹, Є. І. Коций², С. Клічевскі³,
К. Русек^{4,5}, С. Ю. Межевич¹, Вал. М. Пірнак¹, О. А. Понкратенко¹,
Р. Сюдак³, Я. Хоїнські⁵, Б. Чех³, А. Щурек³

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Харків

³ Інститут ядерної фізики ім. Г. Неводнічанського, ПАН, Краків, Польща

⁴ *Національний центр ядерних досліджень, Варшава, Польща*

⁵ *Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща*

Отримано нові експериментальні дані диференціальних перерізів реакції ${}^6\text{Li}({}^{18}\text{O}, {}^{12}\text{C}){}^{12}\text{B}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^{18}\text{O}) = 114$ МеВ. Експериментальні дані проаналізовано за методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР) із включенням у схему зв'язків каналів пружного й непружного розсіяння ядер ${}^6\text{Li} + {}^{18}\text{O}$ та найпростіших реакцій передач нуклонів і кластерів. У розрахунках перерізів реакції для вхідного каналу використано потенціал взаємодії ядер ${}^6\text{Li} + {}^{18}\text{O}$, параметри якого визначено з аналізу даних пружного розсіяння цих ядер. Необхідні для МЗКР-розрахунків перерізів реакції спектроскопічні амплітуди нуклонів і кластерів обчислювались у рамках трансляційно-інваріантної моделі оболонки (ТІМО). Параметри потенціалу взаємодії ядер ${}^{12}\text{C} + {}^{12}\text{B}$ визначено методом підгонки МЗКР-перерізів до експериментальних даних реакції. Досліджено механізми реакції.

МЕХАНІЗМИ РЕАКЦІЇ ${}^6\text{Li}({}^{18}\text{O}, {}^{16}\text{N}){}^8\text{Be}$ ТА ПОТЕНЦІАЛ ВЗАЄМОДІЇ ЯДЕР ${}^{16}\text{N} + {}^8\text{Be}$

А. Т. Рудчик¹, К. А. Черкас¹, А. А. Рудчик¹, Є. І. Кошій², С. Клічевскі³,
К. Русек^{4,5}, С. Ю. Межевич¹, Вал. М. Пірнак¹, О. А. Понкратенко¹,
Р. Сюдак³, Я. Хоїнські⁵, Б. Чех³, А. Щурек³

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Харків*

³ *Інститут ядерної фізики ім. Г. Неводнічанського, ПАН, Краків, Польща*

⁴ *Національний центр ядерних досліджень, Варшава, Польща*

⁵ *Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща*

Отримано нові експериментальні дані диференціальних перерізів реакції ${}^6\text{Li}({}^{18}\text{O}, {}^{16}\text{N}){}^8\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^{18}\text{O}) = 114$ МеВ. Експериментальні дані проаналізовано за методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР) із включенням у схему зв'язків каналів пружного й непружного розсіяння ядер ${}^6\text{Li} + {}^{18}\text{O}$ та найпростіших реакцій передач нуклонів і кластерів. У розрахунках перерізів реакції для вхідного каналу використано потенціал взаємодії ядер ${}^6\text{Li} + {}^{18}\text{O}$, параметри якого визначено з аналізу даних пружного розсіяння цих ядер. Необхідні для МЗКР-розрахунків перерізів реакції спектроскопічні амплітуди нуклонів і кластерів обчислювались у рамках трансляційно-інваріантної моделі оболонки (ТІМО). Параметри потенціалу взаємодії ядер ${}^{16}\text{N} + {}^8\text{Be}$ визначено методом підгонки МЗКР-перерізів до експериментальних даних реакції. Досліджено механізми реакції.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

А. М. Соколов

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

При обработке гамма и бета спектров с целью определения активности отдельных радионуклидов, входящих в состав изучаемой пробы, возникает задача представления измеренного спектра в виде суммы спектров излучений компонент пробы:

$$Sp_j = \sum_{i=0}^N c_i \cdot sp_j^{(i)}. \quad (1)$$

Здесь Sp_j - спектр, заданный отсчетами в каналах спектрометра; c_i - подлежащие определению коэффициенты; $sp_j^{(i)}$ - отдельные компоненты (т.е. спектры излучения эталонных источников из отдельных элементов); j -номер канала; i - номер компоненты.

Однако обычно при измерении и компонента и спектра присутствует фон. Поэтому вместо спектра измерение дает $Sp_j + Fon2_j$, а вместо компонента имеем спектры вида $sp_j^{(i)} + Fon1_j$. Кроме этого, если меряется серия спектров, то условия этих измерений могут меняться, что отражается в изменении калибровки по энергии для каналов спектрометра. При этом спектр сдвигается и растягивается или сжимается по отношению к спектрам излучения компонента, измеренным при другой калибровке. Для сцинтилляционных детекторов такой эффект связан с зависимостью их характеристик от температуры.

Еще одним фактором, затрудняющим решение задачи (1) является статистический характер данных измерений. Поэтому важным становится не только решение задачи (1), но и оценка точности полученных результатов.

Разработаны разные методы и программы решения задачи (1) при указанных условиях. Определение интересующей нас активности отдельных составляющих в образце производится по найденным коэффициентам c_i , по данным об активности эталонных источников и с учетом времени измерения отдельных компонент и спектра.

Оценка точности полученных значений активностей представляет собой сложную задачу. Некоторые важные составляющие погрешности, такие, как статистическая погрешность в данных (в спектре) и погрешность в значениях активности эталонных источников, удается оценить по известным правилам переноса ошибок. Сложнее оценить влияние на погрешность результата статистической погрешности при измерении эталонных спектров компонента и

погрешность метода.

Погрешность метода трудно выразить аналитически. Поэтому предлагается дополнить оценку погрешности по правилу переноса ошибок процедурой оценки по методу статистического моделирования. На этом этапе для найденных значений коэффициентов c_i многократно моделируется суммарный спектр, включающий в себя и компоненту статистического «шума», моделируется составляющая погрешности в эталонных спектрах, и погрешность в значении активности эталонных источников. Оценка точности для коэффициентов c_i делается на основе разброса результатов моделирования.

ВІДГУК СЦИНТИЛЯЦІЙНОГО ДЕТЕКТОРА З КРИСТАЛОМ CDWO₄ ДО ІОНІВ З ЕНЕРГІЄЮ КІЛЬКА МеВ ТА ДО НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНИХ ЕЛЕКТРОНІВ

**В. І. Третяк¹, П. Г. Бізеті², Ф. А. Даневич¹, Л. Каррарезі²,
П. Р. Маурензіг², Н. Тачетті², Ф. Тачетті², Т. Фаціні²**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *НІЯФ, відділення у Флоренції*

та фізичний ф-т Флорентійського університету, Флоренція, Італія

Відгук детекторів до ядер віддачі низьких енергій (кілька кеВ – десятки кеВ) важливий для експериментів з пошуку слабо взаємодіючих масивних частинок темної матерії. У той же час, виміряти відгук детектора до іонів таких малих енергій доволі складно, що практично виявляється у значних розбіжностях між експериментальними даними та їх низькою, часто незадовільною точністю. В роботі [1] був запропонований напівемпіричний підхід до розрахунків зменшення сцинтиляційних сигналів для іонів, що ґрунтується на відомій формулі Біркса [2]. Цей теоретичний метод був експериментально перевірений [3] із сцинтилятором вольфрамату кадмію (CdWO₄) за допомогою прискорювача іонів Tandetron (лабораторія LABEC відділення НІЯФ у Флоренції). Був виміряний відгук сцинтиляційного детектора з кристалом CdWO₄ (паралелепіпед 10 × 10 × 25 мм) до протонів, α частинок, іонів Li, C, O та Ti з енергією 1 - 10 МеВ. Вивчалися форма сцинтиляційного сигналу та зменшення світловиходу від іонів у порівнянні зі світловиходом від електронів таких же енергій. Непропорційність світловиходу сцинтилятора CdWO₄ для низькоенергетичних електронів (5 - 110 кеВ) була досліджена за допомогою методу збігів із комптонівськи розсіяними γ квантами. Для обчислення енергетичної залежності факторів зменшення світловиходу (ФЗСВ) для іонів та непропорційності світловиходу для електронів був використаний напівемпіричний метод [1]; отримані результати узгоджуються з експериментом та підтверджують припущення, що опис ФЗСВ для різних іонів можливий з одним і тим же коефіцієнтом - фактором Біркса кВ [2]. У той же час, метод не дозволяє описати із задовільною точністю непропорційність відгуку

сцинтилятору CdWO_4 до низькоенергетичних електронів. Було досліджено також розділення частинок за формою сцинтиляційних сигналів від γ квантів, протонів, α частинок та іонів.

1. *Tretyak V.I.* Semi-empirical calculation of quenching factors for ions in scintillators // *Astroparticle Physics*. - 2010. - Vol. 33. - P. 40.
2. *Birks J.B.* The Theory and Practice of Scintillation Counting. - Oxford: Pergamon Press, 1964.
3. *Bizzeti P.G. et al.* Response of CdWO_4 crystal scintillator for few MeV ions and low energy electrons // *Nucl. Instr. Meth.* - 2012. - Vol. A696. - P. 144.

ВИПАДКОВІ ЗБИГИ ПОДІЙ ВІД $2\beta 2\nu$ РОЗПАДУ ЯК ДЖЕРЕЛО ФОНУ В БОЛОМЕТРИЧНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАХ З ПОШУКУ $2\beta 0\nu$ РОЗПАДУ

**В. І. Третяк¹, Ф. А. Даневич¹, А. Джуліані²,
Є. Олів'єрі², М. Тенконі², Д. М. Черняк^{1,2}**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Центр ядерної спектроскопії та спектроскопії мас, Орсе, Франція*

Двонейтринний подвійний β ($2\beta 2\nu$) розпад може бути джерелом фону в експериментах з пошуку безнейтринного подвійного β ($2\beta 0\nu$) розпаду навіть у детекторах з високою енергетичною роздільною здатністю через випадкові збіги подій $2\beta 2\nu$ розпаду, які неможливо усунути у випадку низької часової роздільної здатності. Ця проблема є актуальною для криогенних болометричних детекторів в експериментах з пошуку $2\beta 0\nu$ розпаду наступного покоління, в яких планується використовувати болометри великої маси (~100 кг і більше) та надчисті матеріали в умовах підземних лабораторій (тобто, коли всі інші джерела фону будуть суттєво знижені). Отримано теоретичні енергетичні розподіли подій від випадкових збігів $2\beta 2\nu$ розпадів для кількох найбільш перспективних ізотопів (^{82}Se , ^{100}Mo , ^{116}Cd , ^{130}Te). Показано [1], що сучасні болометричні технології та методи дискримінації за формою імпульсу дозволяють контролювати цей вид фону на рівні, достатньому для досліджень оберненої ієрархії мас нейтрино (очікувані періоди напіврозпаду $T_{1/2} \sim 10^{26} - 10^{27}$ років), навіть при болометричних пошуках $2\beta 0\nu$ розпаду ^{100}Mo , що має порівняно малий період напіврозпаду відносно $2\beta 2\nu$ розпаду ($T_{1/2} \sim 10^{19}$ років).

1. *Chernyak D.M. et al.* Random coincidence of $2\nu 2\beta$ decay events as a background source in bolometric $0\nu 2\beta$ decay experiments // *Eur. Phys. J.* – 2012. – Vol. C72. – P. 1989.

МОДЕЛЮВАННЯ ТРИ-АЛЬФА-ЧАСТИНКОВИХ РОЗПАДІВ ЗБУДЖЕНИХ СТАНІВ ЯДРА ^{12}C

В. В. Улещенко, О. А. Понкратенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Промодельовано розпади високозбуджених станів ядра ^{12}C на три альфа-частинки. Розглянуто розпади рівнів 0^+ (10.3 MeV), 2^- (16.57 MeV) та 3^- (9.64 та 18.35 MeV).

У моделі вважається, що в момент розпаду кожне ядро знаходиться в заданому збудженому стані і має заданий імпульс. Методом Монте-Карло отримано ймовірні розподіли альфа-частинок у детекторах для вибраних умов реєстрації. Відомо, що в цьому каналі домінує двоступінчастий розпад ^{12}C з утворенням проміжного ядра ^8Be в основному або першому збудженому стані. Тому вкладом від безпосереднього розпаду відразу на три альфа-частинки нехтувалося. Вклади до розподілів, що походять з вильоту першої альфа-частинки та з розпаду проміжних резонансів ^8Be , додавались некогерентно.

Розпади через основний та перший збуджений стани ^8Be дають істотно відмінні енергетичні розподіли альфа-частинок, що потенційно дає можливість експериментально визначити їх відносні інтенсивності за умови вимірювань у достатньо широкому діапазоні кутів.

ВЛИЯНИЕ ЭКРАНИРОВАНИЯ НА ВЕРОЯТНОСТЬ ИОНИЗАЦИИ АТОМА ПРИ АННИГИЛЯЦИИ ПОЗИТРОНОВ, ИСПУЩЕННЫХ В ПРОЦЕССЕ β^+ -РАСПАДА

С. Н. Федоткин

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

В работе [1] был рассмотрен процесс аннигиляции позитрона, испущенного при β^+ -распаде, с К-электроном дочернего атома, с передачей части энергии другому s- электрону из К, L, M или N- оболочек, в результате чего он покидает атом. Для волновых функций атомных электронов в [1] использовались водородоподобные функции. Однако, для достаточно удаленных оболочек существенную роль играет взаимодействие между электронами в атоме, которое в настоящей работе учитывается путем введения эффективных зарядов с помощью приближенного метода, предложенного Слетером. Кроме того, более корректно описывается конечное состояние электрона, покинувшего атом, которое ранее рассматривалось в борновском приближении. С этой целью при вычислении полной вероятности процесса использован фактор Зоммерфельда $\Phi_n(\epsilon)$, приближенно корректирующий поведение волновой функции при малых энергиях вылетающего электрона.

Получены формулы для вероятностей этих процессов, которые являются общими и могут быть применимы для любого атома [2]. В случае β^+ -распада ${}^{45}_{22}\text{Ti}$ с образованием ${}^{45}_{21}\text{Sc}$ получены следующие оценки для отношения вероятностей рассмотренных процессов с учетом экранирования и выходом за рамки борновского приближения:

$$\frac{W_{\beta^+K,2}}{W_{\beta^+K,1}} \approx 0.324 \quad \frac{W_{\beta^+K,3}}{W_{\beta^+K,1}} \approx 0.114 \quad \frac{W_{\beta^+K,4}}{W_{\beta^+K,1}} \approx 0.012,$$

где $W_{\beta^+K,n}$ - вероятность аннигиляции позитрона с К-электроном дочернего ядра с последующим выбиванием другого электрона с оболочки n ($n = 1, 2, 3, 4$). Отметим, что в случае, когда не учитывается экранирующее действие электронов атомной оболочки и используется приближение плоских волн для волновой функции выбитого из атома электрона для соответствующих отношений ранее были получены такие оценки: 0.17, 0.057, 0.025 [1]. Если же учитывать экранирование, но использовать борновское приближение для вылетающего электрона, то получают следующие результаты: 0.18, 0.059, 0.01. Следовательно, учет экранирующего влияния электронов на отношения вероятностей рассматриваемых процессов очень слабо заметен для оболочек с $n = 2, 3$ и становится существенным лишь для $n = 4$. Если учитывать как экранирующее влияние электронов, так и поправки к борновскому приближению, то отношения вероятностей для $n = 2, 3$ сильно увеличиваются, а для $n = 4$ заметно уменьшаются. Таким образом, учет экранирования важен только для верхней оболочки $n = 4$, в то время как выход за рамки борновского приближения играет существенную роль для всех оболочек.

1. Федоткин С.Н. // Ядерна фізика та енергетика. - 2011. - Т. 12. - С. 335.
2. Федоткин С.Н. // Ядерна фізика та енергетика. - 2012. - Т. 13. - С. 223.

РОЗРОБКА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ СЦИНТИЛЯЦІЙНИХ БОЛОМЕТРІВ З КРИСТАЛАМИ МОЛІБДАТУ ЦИНКУ ДЛЯ ПОШУКУ $0\nu 2\beta$ -РОЗПАДУ ${}^{100}\text{Mo}$

Д. М. Черняк^{1,2}, Я. В. Васильєв³, Є. М. Галашов³, Ф. А. Даневич¹,
А. Джуліані², В. В. Кобичев¹, М. Манкузо², С. Марнієрос², К. Нонес⁴,
Е. Олів'єрі², М. Тенконі², В. І. Третяк¹, В. М. Шлегель³

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Центр ядерної та масс-спектрометрії, Орсе, Франція

³ Інститут неорганічної хімії ім. Ніколаєва, Новосибірськ, Росія

⁴ Відділ фізики елементарних частинок,

Комісаріат атомної енергетики Сакле, Жиф-сюр-Іветт, Франція

Дослідження безнейтринного подвійного бета-розпаду ($0\nu2\beta$) атомних ядер дають можливість встановити природу нейтрино (частинка Дірака чи Майорани), визначити маси і схему масових станів нейтрино, перевірити закон збереження лептонного заряду, здійснити пошук ряду ефектів за межами стандартної моделі елементарних частинок. Для експериментів наступного покоління з пошуку $0\nu2\beta$ -розпаду необхідні детектори, чутливі до ефективної маси нейтрино на рівні $\langle m_{\nu} \rangle \sim 0.02 - 0.05$ eV щоб перевірити інвертовану схему масових станів нейтрино. Для цього необхідна якомога більша маса досліджуваного ізотопу ($10^{27} - 10^{28}$ ядер), високі енергетична роздільна здатність та ефективність реєстрації, низький (в ідеальному випадку, нульовий) рівень фону. Ядро ^{100}Mo є одним із найбільш перспективних для таких експериментів завдяки великій енергії розпаду, сприятливим теоретичним оцінкам вірогідності розпаду, високій концентрації у природній суміші ізотопів молібдену, наявності скінтіляційних кристалів з молібденом (зокрема, молібдату цинку, ZnMoO_4), що можуть бути застосовані як криогенні скінтіляційні болометри [1, 2]. Скінтіляційні болометри мають високу енергетичну роздільну здатність (кілька кеВ на енергії 3 МеВ), велику ефективність реєстрації (80 – 90%) та близьку до 99.9 % ефективність розділення сигналів від α - та β -частинок. Кристал ZnMoO_4 масою 313 г був перевірений як криогенний болометр при температурі 17 мК у підземній лабораторії Модан, Франція. Енергетична роздільна здатність склала 19 кеВ для γ -піку з енергією 356 кеВ джерела ^{133}Ba . Досягнуто чітке розділення α - та β -частинок, оцінено рівень радіоактивної забрудненості кристала, що дає змогу оцінити сегрегацію радіоактивних елементів у кристалі. Одним із найбільш небезпечних джерел фону болометрів для пошуку $0\nu2\beta$ -розпаду ядра ^{100}Mo є випадкові збіги подій від двонейтринного бета-розпаду [3]. Для дослідження ефективності розпізнавання таких збігів було розроблено генератор накладених подій та застосовано декілька методів: часу зростання сигналу, оптимального фільтра, середнього часу та χ^2 . Отримано високу ефективність розпізнавання на рівні 95 % для кращих методів. Розробка та оптимізація методів триває.

1. *Beeman J.W. et al.* A next-generation neutrinoless double beta decay experiment based on ZnMoO_4 scintillating bolometers // *Phys. Lett.* - 2012. - Vol. B710. - P. 318.
2. *Beeman J.W. et al.* ZnMoO_4 : A promising bolometer for neutrinoless double beta decay searches // *Astropart. Phys.* - 2012. - Vol. 35. - P. 813.
3. *Chernyak D.M. et al.* Random coincidence of $2\nu2\beta$ decay events as a background source in bolometric $0\nu2\beta$ decay experiments // *Eur. Phys. J.* - 2012. - Vol. C72. - P. 1989.

РАДІАЦІЙНІ РОЗПАДИ $B^0 \rightarrow K^{*0} \gamma$ ТА $B_s^0 \rightarrow \phi \gamma$ В ЕКСПЕРИМЕНТІ LHCb

В. М. Яковенко, О. Ю. Охріменко, В. М. Пугач

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ,

LHCb (Large Hadron Collider beauty) є одним з чотирьох основних експериментів, що побудовані на прискорювальному комплексі LHC (Large Hadron Collider), де заплановані протон-протонні зіткнення при енергії 14 TeV в системі центру мас, а також важкойонні зіткнення [1]. Головна мета експерименту LHCb – точне дослідження порушення CP-симетрії в розпадах B-мезонів, дослідження їх рідких каналів розпадів і пошук Нової Фізики (НФ) в B секторі.

Дослідження радіаційних розпадів можуть вказати на нові явища, за рамками «стандартної моделі», що здатні впливати на динаміку $b \rightarrow s \gamma$ переходу. Ретельні дослідження цих розпадів здатні значно обмежити кількість теоретичних припущень щодо тих чи інших сценаріїв НФ, включаючи суперсиметричні моделі [2].

Станом на кінець 2012 року в експерименті LHCb зареєстровано $1,0 \text{ фб}^{-1}$ інтегральної світимості при енергії $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ та $1,1 \text{ фб}^{-1}$ при енергії $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$. В роботі представлено результати досліджень для каналів розпаду $B^0 \rightarrow K^* \gamma$ та $B_s^0 \rightarrow \phi \gamma$. Отримано значення для ймовірності розпаду $B(B_s^0 \rightarrow \phi \gamma) = (3.9 \pm 0.5) \cdot 10^{-5}$, що є найточнішим значенням для цього каналу розпаду. Цей результат узгоджується з передбаченнями Стандартної Моделі.

1. *LHCb collaboration, Alves A.A Jr. et al. The LHCb detector at the LHC // JINST. - 2008. - 3 S08005. - 217 p.*
2. *Ali A., Pecjak B.D., Greub C. Towards $B \rightarrow V \gamma$ decays at NNLO in SCET // Eur. Phys. J. - 2008. - Vol. C55. - P. 577; arXiv:0709.4422.*
3. *LHCb collaboration, Aaij R. et al. Measurement of the ratio of branching fractions $B(B^0 \rightarrow K^* \gamma) / B(B_s^0 \rightarrow \phi \gamma)$ and direct CP asymmetry in $B^0 \rightarrow K^* \gamma$ // Nucl. Phys. - 2013. - Vol. B867. - P. 1; arXiv:1209.0313.*

ВПЛИВ ЕФЕКТІВ ПАМ'ЯТІ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЯДРА ПІД ЧАС СПУСКУ З БАР'ЄРА ПОДІЛУ

В. М. Коломієць, С. В. Радіонов, Б. В. Резниченко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У рамках одномірної колективної динаміки досліджується спектральний розподіл електромагнітної енергії, що випромінюється ядром під час спуску з бар'єра поділу. Вплив внутрішніх нуклонних мод руху на колективну дина-

міку описується за допомогою введення немарківської сили тертя, що залежить від часу релаксації колективних збуджень. Було показано, що при достатньо великих значеннях часу релаксації у спектрі електромагнітного випромінювання ядра з'являється характерний пік, обумовлений ефектами пам'яті у колективній динаміці. Також було отримано аналітичний вираз для спектральної густини випроміненої енергії при урахуванні теплових та квантових флуктуацій колективної змінної форми ядра. У граничних випадках малих та великих температур ядра отриманий вираз переходить, відповідно, у формулу Планка для випромінювання абсолютно чорного тіла та у закон Релея - Джинса.

ГУСТИНА ЗБУДЖЕНИХ СТАНІВ АТОМНИХ ЯДЕР З ВРАХУВАННЯМ КОЛЕКТИВНИХ СТУПЕНІВ ВІЛЬНОСТЕЙ

О. М. Горбаченко¹, В. А. Плюйко^{1,2}, Б. М. Бондар¹, Є. П. Ровенських¹

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Врахування колективних станів суттєво впливає на значення густини ядерних рівнів, що в свою чергу може змінювати значення характеристик ядерних реакцій, що спостерігаються [1].

В роботі протестовано феноменологічні методи обчислення внеску вібраційних станів ядер в густину ядерних рівнів [2 - 5] з використанням розмитих ймовірностей заповнення фононів, а також врахуванням нейтрон-протонної асиметрії та внеску колективного обертання. В деформованих ядрах також враховувалось ротаційне підсилення густини ядерних рівнів [1, 2]. Тестується вплив колективних станів нуклонів на обчислення густини рівнів в атомних ядрах з використанням при розрахунку внутрішньої густини рівнів ядер визначеної в рамках узагальненої надплинної моделі ядра(GSM) [2, 6]. Оцінено вплив колективних станів нуклонів на обчислення перерізів реакцій взаємодії з нейтронами та спектрів гамма-квантів з використанням коду для розрахунку перерізів ядерних реакцій EMPIRE 3.1 Rivoli [5].

Була виконана підгонка параметрів в моделі GSM (асимптотичного параметру густини рівнів, додаткового зсуву до енергії збудження, моменту інерції еквівалентного сферичного ядра), реалізованої в коді EMPIRE 3.1 Rivoli [5], по кумулятивній сумі рівнів та відстанями між нейтронними резонансами для 296 атомних ядер. Отримані таблиці значень параметрів GSM моделі опису густини рівнів з їх похибками підгонки та їх відповідні систематики. Отримана таблиця значень параметрів з похибками підгонки та їх систематики. Продемонстровано, що параметризація K_{BAN} , яка базується на статистичній сумі бозонів з усередненими числами заповнення, найкраще описує коефіцієнт зміни густини рівнів за рахунок вібраційних станів нуклонів. Дана параметризація також гарно узгоджується з оцінками коефіцієнту зміни гус-

тини рівнів за рахунок вібраційних станів в рамках мікроскопічного підходу за квазічастинково-фононою моделлю [7].

Продемонстровано, що при використанні спрощених моделей опису густини внутрішніх станів атомних ядер, найкращий опис експериментальних даних можна отримати в припущенні сильних флуктуацій моменту інерції із зміною кількості нуклонів.

1. *Capote R. et al.* // Nuclear Data Sheets. - 2009. - Vol. 110. - P. 3107 - 3214.
2. *Ignatyuk A.V. et al.* // Phys. Rev. - 1993. - Vol. C47. - P. 1504.
3. *Plujko V.A., Gorbachenko O.M.* // УФЖ. - 2003. - Т. 48. - С. 790; AIP Conf. Proc. - 2005. - Vol. 79. - P. 1124; 3б. наук. праць Ін-ту ядерних досл. - 2005. - № 2. - С. 17 - 29; Ядерна фізика та енергетика. - 2006. - № 2(18). - С. 48.
4. *Plujko V.A. et al.* // Phys. At. Nucl. - 2007. - Vol. 70. - P. 1643; Int. J. Mod. Phys. E. - 2007. - Vol. 16. - P. 570.
5. *Herman M. et al.* // Nuclear Data Sheets. - 2007. - Vol. 108. - P. 2655.
6. *Свириун М.И.* // ЭЧАЯ. - 2006. - Т. 37. - С. 901.
7. *Vdovin A.I. et al.* // ЭЧАЯ. - 1976. - Т. 7. - С. 952.

Тези доповідей з атомної енергетики

ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ РЕАКЦІЙ ^{nat}U З ВТОРИННИМИ НЕЙТРОНАМИ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ПРИ ОПРОМІНЕННІ МАСИВНОЇ СВИНЦЕВОЇ МІШЕНІ

І. Адам^{1,2}, І. І. Гайсак³, С. А. Густов¹, Л. Заворка¹, М. Г. Кадиков¹,
Ю. В. Кіш³, М. М. Максим³, А. А. Солнишкин¹, С. І. Тютюнников¹,
Ж. Х. Хушвактов¹, В. М. Цупко-Ситников¹, В. В. Чілап⁴

¹ Об'єднаний інститут ядерних досліджень, Дубна, Росія

² Інститут ядерної фізики Чеської академії наук, Ржеж, Чехія

³ Ужгородський національний університет, Ужгород

⁴ Центр фізико-технічних проєктів "Атоменергомаш" Москва, Росія

Експеримент був проведений на протонному прискорювачі Фазотрон в ЛЯП ОІЯД. Для напрацювання вторинних нейтронів використовувалася масивна свинцева мішень (діаметром 8 см і довжиною 33 см), яка опромінювалася пучком протонів з енергією 660 МеВ. Розміри пучка в поперечному перерізі складали величини $\Delta X = 2.5$ см та $\Delta Y = 2.6$ см, а його напрямок збігався з віссю мішені. Інтегральний потік протонів на мішені склав величину $1.98(9) \times 10^{15}$ частинок за 29 хв опромінення. Зразки з ^{nat}U (2 шт.) розміщувалися на бічній поверхні мішені на відстані один від одного 22,3 см (перший 8.1 см від площини входу пучка, а інший 2.6 см від площини виходу пучка з мішені). Маса зразків становили 0.1719 та 0.3297 г діаметром 1.5 см кожен. Після опромінення зразки переміщалися на спектрометричний комплекс ЯСНАПП-2 [1] в ЛЯП ОІЯД, де вимірювалися їхні γ -спектри протягом різних часових інтервалах (7 спектрів для кожного зразка). Спектри оброблялися за допомогою програми DEIMOS [2]. Ідентифікація ядер, що утворилися в результаті реакцій ^{nat}U з нейтронами, проводилася з використанням літературних даних і пакета програм [3]. Отримано дані про швидкості реакцій для більш ніж 30 ядер продуктів.

1. Kalinnikov et al. // Nucl. Instr. and Meth. - 1992. - Vol. B70. - P. 62 - 68.
2. Frana J. // J. Radioanal. Nucl. Chem. - 2003. - Vol. 257. - P. 583.
3. Адам І. и др. - Дубна, 2000. - 22 с. - (Препр. / ОИЯИ; P10-2000-28).

ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ РЕАКЦІЙ ^{232}Th З ВТОРИННИМИ НЕЙТРОНАМИ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ПРИ ОПРОМІНЕННІ МАСИВНОЇ МІШЕНІ З ПРИРОДНОГО УРАНУ

І. Адам^{1,2}, І. І. Гайсак¹, Л. Заворка¹, М. Г. Кадиков¹, Ю. В. Кіш³,
М. М. Максим³, А. А. Солнишкін¹, С. І. Тютюнников¹,
Ж. Х. Хушвактов¹, В. М. Цупко-Ситніков¹, В. В. Чілап⁴

¹ Об'єднаний інститут ядерних досліджень, Дубна, Росія

² Інститут ядерної фізики Чеської академії наук, Ржеж, Чехія

³ Ужгородський національний університет, Ужгород

⁴ Центр фізико-технічних проєктів "Атоменергомаш", Москва, Росія

Експеримент був виконаний на установці "КВІНТА" [1] (уранова збірка-мішень масою 500 кг) в ЛФВЕ ОІЯД. При опроміненні мішені використовувався пучок дейтронів (6 ГеВ) від нуклотрона ЛФВЕ. Набраний інтегральний потік дейтронів на мішені $1.94(2)E+13$ частинок за 975 хв опромінення. Зразки з ^{232}Th (4 шт.) встановлювалися через спеціальні технологічні отвори поблизу осі пучка дейтронів всередині мішені на відстані один від одного 13 см. Маса зразків становили 0.1236, 0.1242, 0.1355 і 0.1402 г при діаметрі 0.98 см кожен. Після опромінення вторинними нейтронами зразки переміщалися на спектрометричний комплекс ЯСНАПП-2 [2] в ЛЯП ОІЯД, де вимірювалися їхні γ -спектри за допомогою HPGe-детекторів протягом різних часових інтервалів (від 10 до 20 спектрів для кожного зразка). Спектри оброблялися за допомогою програми DEIMOS [3]. Ідентифікація ядер, що утворилися в результаті реакцій нейтронів з ^{232}Th , проводилася з використанням літературних даних [4] та пакету програм [5]. Отримано дані про швидкості реакцій для більш як 100 ядер продуктів.

1. *Baldin A. et al.* - Dubna, 2011. - 19 p. - (Prepr. / JINR; E1-2011-24).
2. *Kalinnikov et al.* // Nucl. Instr. and Meth. - 1992. - Vol. B70. - P. 62 - 68.
3. *Frana J.* // J. Radioanal. Nucl. Chem. - 2003. - Vol. 257. - P. 583.
4. <http://ie.lbl.gov/toi/>
5. *Адам И. и др.* - Дубна, 2000. - 22 с. - (Препр. / ОИЯИ; P10-2000-28).

ОБРАЩЕНИЕ С ОЯТ ЛЕГКО-ВОДНЫХ РЕАКТОРОВ УКРАИНЫ

В. И. Слисенко, В. Ю. Боднар

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Цель: описание методов поведения с отработанным ядерным топливом (ОЯТ). Указание на тесную связь выбора метода поведения с ОЯТ и выбором стратегии развития ядерной энергетики в Украине в целом. Рассмотрение реакторов типа CANDU и реакторов на быстрых нейтронах.

На данный момент в Украине принято так называемое «отложенное решение» по выбору вариантов поведения с ОЯТ. Скорее всего, это является наиболее выгодным решением. Оппонентами такого решения могут быть сторонники технологии CANDU или использования MOX (англ. *Mixed-Oxide fuel* - ядерное топливо, содержащее несколько оксидов делящихся материалов) топлива. В докладе будут представлены преимущества и недостатки обеих технологий, которые могли бы решить проблему с ОЯТ в Украине. Обе технологии имеют общий недостаток в ухудшении безопасности работы реакторов при их использовании. Кроме того в Украине отсутствует опыт использования реакторов CANDU. Под сомнение можно поставить многие преимущества реактора CANDU, кроме того, что в его отработанном топливе содержится меньше всего плутония. Тем ни менее общего ОЯТ от CANDU в 3 раза больше чем от ВВЭР-1000.

Также хорошо отработанной является переработка топлива для изготовления MOX топлива. Российская Федерация сейчас строит завод по изготовлению MOX топлива в промышленных масштабах.

Уже долгое время ведутся разработки по использованию трития в реакторах и по использованию быстрых реакторов. В Российской Федерации был принят проект постройки пилотной установки БРЕСТ-300-ОД. Концепция реакторов БРЕСТ является идеальным решением с точки зрения безопасности и продления выработки энергоресурсов. Хотя реакторы на быстрых нейтронах и нарабатывают плутоний, они его и сжигают. Количество выработанного и использованного плутония зависит от режима работы реактора, при коэффициенте выработки меньше 1 возможно выжечь имеющиеся запасы плутония, ОЯТ легко-водных реакторов, можно пустить на переработку и изготовление тепловыделяющих сборок быстрых реакторов.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ШТАТНИХ ОДНОЯРУСНИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ЗБІРОК З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ МЕТАЛУ КОРПУСІВ РЕАКТОРІВ ВВЕР-1000 У НАДПРОЕКТНИЙ ПЕРІОД ЕКСПЛУАТАЦІЇ

**В. М. Буканов¹, О. В. Гриценко¹, В. Л. Демьохін¹,
О. Г. Васильєва¹, В. В. Ількович¹, О. Г. Касаткін²**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ*

Важливим джерелом інформації про стан металу корпусу реактора (КР) і зміну його властивостей в умовах експлуатації АЕС є програма зразків-свідків (ЗС). В Україні на більшості енергоблоків з реакторами ВВЕР-1000 реалізується штатна програма ЗС. Відповідно до цієї програми контейнери зі ЗС матеріалів КР зібрані в циліндричні контейнерні збірки (КЗ) та встановлені на вигородці реактора.

Штатна програма ЗС розрахована на супровід експлуатації корпусу ВВЕР-1000 тільки на час проектного строку. Для забезпечення матеріалознавчого супроводу експлуатації корпусу ВВЕР-1000 в надпроектний період необхідна розробка і реалізація додаткової програми ЗС.

Тому в даній роботі розроблено загальні положення додаткової програми ЗС, яка базується на модернізації одноярусних КЗ штатної програми. Отримано математичні співвідношення для розрахунку строків як вивантаження з реактора одноярусних КЗ для модернізації, так і вивантаження модернізованих збірок для проведення випробувань опромінених ЗС.

Також розроблено метрологічний експеримент, який необхідно провести в рамках робіт з реалізації додаткової програми ЗС для конкретного енергоблоку з метою визначення характеристик поля нейтронів в місцях розташування модернізованих КЗ.

З метою оптимізації схеми розміщення ЗС модернізованих КЗ у реакторі розроблено методику визначення орієнтації пазів у трубах, в яких розміщуються КЗ, та розроблено обладнання для орієнтування збірок відносно активної зони.

На основі результатів випробувань ЗС штатної програми та моніторингування радіаційного навантаження корпусу реактора визначено орієнтовні строки початку робіт з модернізації одноярусних КЗ для ряду енергоблоків АЕС України з реакторами ВВЕР-1000.

МЕТАЛОЗНАВЧИЙ СУПРОВІД СТАНУ МЕТАЛУ КОРПУСІВ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ В УКРАЇНІ

Л. І. Чирко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Як відомо, ресурс кожного енергоблоку атомної електростанції фактично визначається ресурсом корпусу реактора (КР), оскільки він не підлягає заміні. Хоча всі корпуси ВВЕР-1000 виготовлені за однаковими кресленнями і з однакової марки сталі, але кожен корпус є індивідуальним як за хімічним складом матеріалів, так і за умовами його експлуатації. Найбільш небезпечним наслідком впливу нейтронного опромінення є так зване явище радіаційного окрихчування металу корпусу реактора, тобто зниження характеристик в'язкості корпусних матеріалів. Для контролю за цими характеристиками проводяться періодичні випробування зразків-свідків (ЗС) металу корпусу реактора, які виготовляються з металу того корпусу, в якому і опромінюються надалі. Такі випробування можна проводити тільки в спеціалізованих лабораторіях, де передбачені умови захисту при роботі з високоопроміненими матеріалами.

В Інституті ядерних досліджень знаходяться єдині в Україні важкі захисні камери (так звані "гарячі" камери). Камери оснащені необхідним сучасним

обладнанням для проведення випробувань зразків-свідків, результати яких дають інформацію про стан металу корпусу реактору і можливість його подальшої експлуатації. Фахівцями відділу радіаційного матеріалознавства проводяться систематичні дослідження стану металу корпусів реакторів енергоблоків АЕС України.

Критична температура крихкості T_k , яка визначається за результатами випробувань ЗС, розглядається як один із ключових параметрів, що характеризують в'язкість руйнування корпусних матеріалів. Критична температура крихкості використовується при визначенні меж безпеки для термогідрравлічних параметрів при проведенні регламентних гідрравлічних випробувань корпусу реактора. Розрахунки на крихку міцність КР для умов нормальної експлуатації, порушення умов нормальної експлуатації і при аварійних ситуаціях також проводяться з використанням цього параметра. Крім того, порівняння величини T_k з гранично допустимою температурою крихкості T_k^a дозволяє підтвердити проектний ресурс КР і оцінити можливість продовження терміну його експлуатації.

Корпус дослідницького реактора ВВР-М кардинально відрізняється від корпусів ВВЕР-1000 не тільки за розмірами, а, в першу чергу, за конструкційними матеріалами і за температурою теплоносія. На жаль, алюмінієвий сплав САВ-1, з якого виготовлений корпус ВВР-М, також окричується під дією нейтронного опромінення.

Дослідження стану сплаву САВ-1 виконувалось у відділі радіаційного матеріалознавства починаючи з 1976. Виявлений механізм окрихчування і підтверджена працездатність корпусу реактора ВВР-М до флюенсу щонайменше $3,6 \cdot 10^{26}$ нейтр \cdot м⁻².

НАВЧАЛЬНО-ТРЕНУВАЛЬНИЙ МАЙДАНЧИК ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМИ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ

**В. І. Гаврилюк, А. В. Гаврилюк-Буракова, С. С. Драпей, О. О. Левіна,
В. В. Пархоменко, Д. В. Проскурин, О. П. Романова**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

"Якщо взяти нашу атомну галузь, то по технічному розвитку, безпеці й професійному рівню наших фахівців, ми входимо в п'ятірку провідних країн світу", - сказав Міністр енергетики та вугільної промисловості України Юрій Бойко.

Підготовка спеціалістів з фізичного захисту включає в себе не тільки теоретичне навчання, а й вироблення у слухачів практичних навичок роботи. Саме для цього на території Інституту ядерних досліджень НАН України було побудовано відкритий навчально-тренувальний майданчик інженерно-технічних засобів системи фізичного захисту (СФЗ).

На навчальному майданчику вперше в Україні були реалізовані вимоги до комплексу інженерно-технічних засобів СФЗ ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, встановлені Державною інспекцією ядерного регулювання України, наказом №176 від 05.12.2011 «Про затвердження Вимог до комплексу інженерно-технічних засобів системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання».

Відкритий навчально-тренувальний майданчик має унікальний комплекс інженерно-технічних засобів СФЗ. Складовими комплексу інженерно-технічних засобів є автоматизований інформаційно-управляючий комплекс технічних засобів та інженерні засоби.

Навчальний майданчик являє собою єдину в країні установку, на якій співробітники навчального центру в реальному часі можуть створити ситуації, які можуть виникнути на об'єкті в результаті подій соціально-політичного характеру. Зрозуміло, що подібні навчання неможливо провести на діючій енергетичній установці, не знизивши рівень її безпеки.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ І КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ АЕС ВІД ЕЛЕКТРИЧНИХ І ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ

В. М. Євланов

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

На даний час у зв'язку із впровадженням нових інформаційних технологій, вирішенням завдань по збільшенню потужності АЕС, розширенню систем енергопостачання, зростає значення впливу електричних і електромагнітних зовнішніх факторів на інформаційні та керуючі системи АЕС, важливі для безпеки. Це пов'язано з тим, що відсоток відмов електрообладнання АЕС є одним із найбільших в порівнянні з іншими системами, що призводить до порушення або повної зупинки роботи енергоблоків. Причинами цих відмов часто є саме недотримання вимог до електричних і електромагнітних ВВФ. Це не завжди правильно визначається комісіями з розслідування причин аварій і може призводити до повторної аналогічної аварії. Крім того існують значення даних ВВФ, які небезпечні для здоров'я і життя людини, зокрема для персоналу обслуговуючого ІКС АЕС. Електромагнітна сумісність описується законами теорії ймовірності, а отже, при певних подіях можливе додавання потужних перешкод, одночасний вплив різних видів перешкод на кілька виробів електронної техніки, що мають різне призначення в структурі АЕС. Перешкоди, за певних умов можуть не лише погіршити якість прийому інформації, але і вивести з ладу такі вироби як, наприклад, генератори, електродвигуни, силові трансформатори, що потребують складного ремонту.

До електричних зовнішніх факторів відносять електричні низькочастотні поля, джерелами яких є технологічне обладнання та високовольтні кабелі, що перебувають у приміщенні, де експлуатують або допускають експлуатувати технічних засобів автоматизації (ТЗА). До електромагнітних зовнішніх факторів впливу (ЗВФ) відносять електромагнітні процеси, викликані роботою і / або порушеннями в роботі інших ТЗА, технологічного обладнання АС, а також природними явищами і діями персоналу, які погіршують або можуть погіршити якість функціонування ТЗА (далі - перешкоди).

Вимоги завадостійкості ТЗА встановлюють, в загальному випадку, по відношенню до наступних видів:

- розрядів статичної електрики на корпус, органи управління та зовнішні екрани кабелів;
- мікросекундних імпульсних перешкод в ланцюгах живлення;
- наносекундних імпульсних перешкод, що надходять від зовнішніх джерел на інформаційні ланцюги і ланцюги живлення;
- випромінювань радіочастотного перешкод;
- динамічних змін напруги електроживлення;
- магнітних полів промислової частоти;
- імпульсних магнітних полів;
- короткочасних синусоїдальних перешкод у ланцюгах захисного та сигнального заземлення;
- мікросекундних імпульсних перешкод в ланцюгах захисного та сигнального заземлення.

Залежно від класу безпеки ТЗА і електромагнітної обстановки в місці передбачуваного розміщення ТЗА встановлюють групу завадостійкості.

ВИЗНАЧЕННЯ ІЗОТОПНОГО СКЛАДУ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА РВПК-1000 ДЛЯ НАСТУПНОГО АНАЛІЗУ ЯДЕРНОЇ БЕЗПЕКИ З УРАХУВАННЯМ ВИГОРЯННЯ ПАЛИВА

В. В. Гальченко¹, В. Л. Дем'янін², В. В. Соловійов³

¹ Київський науково-дослідний

і проектно-конструкторський інститут «Енергопроект», Київ

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

³ ДСП "Чорнобильська АЕС", Чорнобиль

Застосування кредиту вигорання при обґрунтуванні ядерної безпеки систем з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП) в основному зупиняються на проблемі коректного розрахунку ізотопного складу.

Роботи, в яких проводиться порівняння експериментальних і розрахункових даних з ізотопного складу відпрацьованого ядерного палива різних типів реакторних установок показують інколи суттєві розбіжності за деякими ізотопами. Тому сформуванню надійну методик для розрахунку ізотопного скла-

ду у ВЯП на сьогодні ще неможливо.

В роботі проаналізовано поведінку ^{134}Cs з вигорянням для палива різних типів реакторних установок. Отримано математичну залежність концентрації ізотопу ^{134}Cs від глибини вигоряння палива. Результати розрахунку концентрації ^{134}Cs за запропонованою залежністю порівняно з деякими експериментальними даними для палива РВПК.

За запропонованою формулою, для експериментальних точок було визначено час витримки відпрацьованої тепловиділяючої збірки та проведено розрахунок ізотопного складу з урахуванням визначеного часу витримки. В результаті відхилення між експериментальними та розрахованими значеннями концентрацій по ізотопах з малими і середніми періодами напіврозпаду знизились.

При розрахунку ізотопного складу ВЯП для порівняння з експериментальними даними для палива РВПК було проведено аналіз різних підходів до моделювання. Зроблено попередні висновки що до підходу при обробці експериментальних даних і подальшої методики для розрахунку ізотопного складу для розрахунків критичності з використанням кредиту вигоряння.

ПРО НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ПОЛЕ УКРАЇНИ З ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ТА ВНЕСОК НАВЧАЛЬНОГО ЦЕНТРУ В ЙОГО СТВОРЕННЯ

**В. І. Гаврилюк, А. В. Гаврилюк-Буракова, О. О. Левіна,
О. П. Романова, А. В. Самсоненко, О. В. Тішкова**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Доповідь присвячена питанням створення національного нормативно-правового поля з фізичного захисту, зокрема підзаконних нормативно-правових актів з фізичного захисту, розробником проектів яких був Навчальний центр з фізичного захисту, обліку та контролю ядерного матеріалу ІЯД НАН України (далі - Навчальний центр).

Україна з перших днів незалежності приділяла особливу увагу створенню нормативно-правового поля з фізичного захисту ядерних та інших радіоактивних матеріалів та причетних до них установок. Верховна Рада України прийняла постанову «Про участь України у Конвенції про фізичний захист ядерного матеріалу 1980 р.», Закони України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», «Про дозвільну діяльність», в яких (законах) найшли відображення вимоги щодо фізичного захисту радіоактивних матеріалів і причетних до них установок, єдиний в світі закон «Про фізичний захист ядерних установок, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання». Виконання вимог Законів України з фізичного захисту потребувало розроблення та введення в дію підзаконних нормативно-правових актів з фізичного захисту.

У розробленні проектів нормативно-правових актів з фізичного захисту брав участь і Навчальний центр, який виграв тендер на розробку цих документів.

Робота розпочалася зі створення україно-американської групи, до складу якої ввійшли з боку України представники Держатомрегулювання України, Мінпаливенерго України, МНС України, МВС України, НАН України, а з боку США представники Міненерго США та національних лабораторій Міненерго США. Група визначила перелік нормативно-правових актів з фізичного захисту, які підлягали розробленню та органи державної влади України, які мали затвердити розроблені нормативно-правові акти.

Дякуючи плідній роботі української частини україно-американської групи, професіоналізму розробників документів, проведенню обговорення проектів документів на ядерних установках, зацікавленості державних органів України в необхідності прийняття цих документів, визначені проекти нормативно-правових актів, були своєчасно розроблені, погоджені та введені в дію постановами Кабінету Міністрів України, наказами Держатомрегулювання України, спільними наказами Мінпаливенерго України (пізніше Міненерго-вугілля України), МНС України, МВС України та НАН України.

ПРО МЕРЕЖУ ЦЕНТРІВ З ПІДТРИМАННЯ ФІЗИЧНОЇ ЯДЕРНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ МАГАТЕ ТА УЧАСТЬ У НІЙ НАВЧАЛЬНОГО ЦЕНТРУ З ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ, ОБЛІКУ ТА КОНТРОЛЮ ЯДЕРНОГО МАТЕРІАЛУ

**В. І. Гаврилюк, А. В. Гаврилюк-Буракова, С. С. Драпей,
О. П. Романова, О. В. Тішкова**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Доповідь присвячена висвітленню завдань Мережі центрів з фізичної ядерної безпеки при МАГАТЕ та участі в цій Мережі Навчального центру з фізичного захисту, обліку та контролю ядерних матеріалів Інституту ядерних досліджень НАН України (далі - Навчальний центр).

У вересні 2009 р. Рада Керуючих МАГАТЕ затвердила План з фізичної ядерної безпеки на період 2010 - 2013 рр. План передбачає надання державам-учасницям допомоги в нарощуванні потенціалу, розробці нормативних та керівних документів, розвитку кадрових ресурсів, зниженні ризиків при здійсненні державами діяльності з встановлення і підтримання ефективної фізичної ядерної безпеки. Особлива увага в Плані надається питанню створення національних центрів з підтримання фізичної ядерної безпеки шляхом формування висококваліфікованого персоналу з фізичної ядерної безпеки, забезпечення наукової та технічної підтримки виявлення та реагування на події фізичної ядерної безпеки. Такі національні центри з підтримання фізичної ядерної безпеки мають сприяти державі-учасниці у виконанні її міжнародних зобов'язань щодо фізичної ядерної безпеки.

Для координації діяльності створених та створення в різних державах центрів з підтримання фізичної ядерної безпеки МАГАТЕ створило Мережу центрів з підтримання фізичної ядерної безпеки.

3 липня 2010 р. Навчальний центр бере участь у нарадах Мережі центрів з підтримання фізичної ядерної безпеки як вже існуючий і широко відомий за межами України Центр з підтримання фізичної ядерної безпеки. З початку 2011 р. Навчальний центр став офіційним членом Мережі центрів з підтримання та підвищення кваліфікації з фізичної ядерної безпеки.

Навчальний центр приймає участь в діяльності робочої групи «Координація та співпраця», яка визначає шляхи підвищення ефективності зусиль учасників Мережі центрів з підтримання фізичної ядерної безпеки в забезпеченні попередження, виявлення та реагування на зловмисні дії щодо ядерних та інших радіоактивних матеріалів.

Одним з прикладів діяльності Навчального центру в описаній вище сфері є здійснення на базі Навчального центру фахівцями МАГАТЕ та фахівцями Навчального центру навчання фахівців Польщі та України з фізичної ядерної безпеки, на яких було покладено забезпечення радіаційної безпеки під час проведення Євро-2012.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПО МАЛЫМ ВЫБОРКАМ

Е. Ф. Генсницкая, В. С. Жмерев

*Севастопольский национальный университет
ядерной энергии и промышленности, Севастополь*

В настоящее время уделяется повышенное внимание надежности оборудования энергоблоков АЭС, т.к. большое количество энергоблоков находится на грани исчерпания назначенного ресурса. Для оценки показателей надежности разработано большое количество методов. Однако существующие методы не обеспечивают нужной точности оценок при статистических данных ограниченного объема. Необходим поиск методов оценки показателей надежности, ориентированных на выборки малого объема.

В докладе предлагается подход, ориентированный на построение оценок показателей надежности по выборкам малого объема. В его основе лежит метод анализа иерархий (МАИ), предложенный Т. Саати.

В соответствии с идеями МАИ оценивание параметров экспоненциального распределения осуществляется на основе представления исходных данных – выборки $V_i = (t_1, t_2, \dots, t_m)$ – на двух уровнях.

На верхнем уровне выборка V_i представляется совокупностью элементарных выборок $V_i = [(t_1, t_2), (t_2, t_3), \dots, (t_{m-1}, t_m)]$, относительно каждой из которых формулируются гипотезы о принадлежности выборки к одному из трех классов.

Проверка гипотез осуществляется на нижнем уровне иерархического

представления данных. На этом уровне элементарная выборка представляется точкой (r_1, r_2) в пространстве вероятностей. Установление класса элементарной выборки в этом пространстве основывается на использовании процедуры имитационного моделирования.

Задача установления класса выборки является центральной в предлагаемом подходе. В докладе рассмотрены возможные пути ее решения и оценивается их эффективность.

В докладе приведены результаты оценки эффективности предлагаемого подхода, полученные с помощью имитационного моделирования, из которых следует, что предлагаемый подход обеспечивает более высокую точность оценивания параметров экспоненциального распределения по сравнению со стандартным подходом, при котором оценка строится как среднее значение для выборки V_r . Эти результаты показывают, что предлагаемый подход эффективен именно для выборок малого объема ($m < 10$).

Представленные в докладе результаты проведенных исследований позволяют сформировать и программно реализовать методику оценки показателей надежности по малым выборкам.

Такая методика позволит существенно повысить эффективность решения некоторых важных практических задач, таких как:

- выявления дрейфа показателей надежности оборудования, для которого справедлив экспоненциальный закон;
- выявление оборудования со сниженными показателями надежности и более эффективное использование ресурсов, выделяемых на обеспечение надежности функционирования АЭС.

СТВОРЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ СПЕЦІАЛІСТІВ З ОБЛІКУ ТА КОНТРОЛЮ ЯДЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ В УКРАЇНІ

В. І. Гаврилюк, В. І. Киришук

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Цього року в рамках проекту з Європейською Комісією Навчальний центр з фізичного захисту, обліку та контролю ядерного матеріалу ІЯД НАН України (далі - Навчальний центр) завершив розробку 10 навчальних курсів з обліку та контролю ядерного матеріалу. До розробки цих навчальних курсів були залучені провідні українські експерти з обліку та контролю ядерного матеріалу і завдяки спільним зусиллям Навчальному центру вдалося максимально адаптувати розроблені курси до потреб України.

Крім того, в рамках цього проекту буде поставлене необхідне обладнання для нової навчальної лабораторії зі збереження та спостереження. Нова навчальна лабораторія разом з уже існуючою навчальною лабораторією з неруйнуючого аналізу ядерного матеріалу значно розширить можливості

Навчального центру в здобутті практичних навичок українськими спеціалістами з обліку та контролю ядерного матеріалу, які будуть підвищувати свою кваліфікацію в Навчальному центрі.

І хоча кількість навчальних курсів з обліку та контролю ядерного матеріалу може бути збільшена, а їх зміст буде розширюватися і далі адаптуватися до потреб України, тим не менш можна сміливо стверджувати, що створення базового ядра національної системи підвищення кваліфікації спеціалістів з обліку та контролю ядерних матеріалів цього року в Україні успішно завершено. Це означає, що вже з наступного року спеціалісти та експерти з усіх українських ядерних установок, Держатомрегулювання України та відповідних Міністерств і відомств, задіяних у сфері обліку та контролю ядерного матеріалу, зможуть підвищувати свою кваліфікацію з практично усіх аспектів обліку та контролю ядерного матеріалу на регулярній основі. Це безумовно призведе до підсилення систем обліку та контролю ядерного матеріалу як на державному рівні, так і на рівні ядерних установок і надалі сприятиме підвищенню культури управління ядерними матеріалами в Україні.

ДОСВІД АВАРІЇ НА АЕС ФУКУСИМА-1 ДЛЯ БЕЗПЕКИ ДІЮЧИХ АЕС УКРАЇНИ

О. В. Азарова¹, Ю. В. Литвинов¹, В. Л. Сидоренко²

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

*² Інститут державного управління у сфері цивільного захисту
МНС України, Київ*

На кінець 2012 р. в 30-ти країнах світу експлуатується 194 атомних станцій з 435 ядерними енергоблоками загальною потужністю 370 050 МВт [1].

Після важкої радіаційної аварії 11 березня 2011 р. на АЕС Фукусіма-1 (Японія) світове ядерне співтовариство активно займалося питаннями глибокого вивчення хронології аварійних подій, аналізу причини аварій і оцінки соціально-економічних та екологічних наслідків радіаційного впливу на навколишнє середовище.

Досвід цієї аварії показав недопустимість загальноприйнятого підходу виключення із розглядання (моделювання, аналізу та обґрунтувань протиаварійних заходів) відносно малоймовірних екстремальних подій.

На жаль, були виявлені проблеми, пов'язані як з уразливістю існуючих енергоблоків на АЕС Фукусіма-1 до екстремальних зовнішніх впливів, так і недостатню підготовленість обслуговуючого персоналу до запобігання і подолання умов виникнення і розвитку аварії, а також щодо вжиття заходів для локалізації та ліквідації її наслідків.

Метою проведених наукових досліджень був перегляд загальноприйнятого підходу до аналізу причин виникнення та моделювання радіаційних аварій на основі ризику-орієнтованого методу, розробки нових протиаварійних за-

ходів і контрзаходів шляхом вдосконалення існуючих нормативно-регулюючої та науково-методичної бази з управління запроектними аваріями для запобігання виникнення важких радіаційних аварій, а також мінімізація їх екологічних наслідків.

На даний час 4 АЕС України експлуатують 15 реакторів типу ВВЕР, що мають сотні реакторів-років безпечної експлуатації. Імовірність виникнення на АЕС України землетрусів потужністю 9 балів або ж цунамі заввишки більше 20 м практично виключена. Однак досвід важкої аварії на АЕС Фукусіма-1 визначає підвищену актуальність для АЕС з ВВЕР цілого ряду додаткових заходів з підвищення безпеки, серед яких можна виділити наступні:

- 1) підвищення надійності систем, які забезпечують резервне і аварійне електропостачання;
- 2) підвищення надійності та ефективності систем, що забезпечують пожежо- та вибухобезпечність;
- 3) кваліфікація систем, важливих для безпеки, в умовах запроектних аварій (в тому числі при затопленнях проммайданчика АЕС, викликаних спільним впливом зовнішніх і внутрішніх екстремальних подій);
- 4) перегляд загальноприйнятого підходу виключення з розгляду (моделювання, аналізу та розробки протиаварійних заходів) та вдосконалення нормативно-регулюючої та науково-методичної бази управління щодо малоімовірним запроектним і важким аваріями, а саме, достатньо обґрунтоване розширення переліку первинних вихідних подій аварій та аварійних послідовностей (у тому числі затоплень проммайданчиків, викликаних зовнішніми екстремальними запроектними впливами), розширення переліку вихідних подій і послідовностей розвитку важких аварій з урахуванням передісторії виникнення та розвитку запроектних аварій, розробка організаційно-технічних заходів і симптомно-орієнтованих інструкцій або керівництв з управління запроектними і важкими аваріями для розширеного переліку вихідних подій та аварійних послідовностей (у тому числі і для відносно малоімовірних) та вдосконалення методичного забезпечення аналізу умов парогазових вибухів.

1. *Офіційний сайт МАГАТЕ.* - Сторінка оперативної інформації про події. - www.iaea.org.

МЕТОД ОДНОЧАСНОГО ВИМІРЮВАННЯ УРАНУ, РАДІО-226 ТА КОЕФІЦІЄНТА РАДІОАКТИВНОЇ РІВНОВАГИ В ПРОБАХ УРАНОВИХ РУД З ВИКОРИСТАННЯМ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ U - Pu InSpector

І. А. Малюк, О. Ф. Рудик, В. В. Тришин

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Запропоновано гамма-спектрометричний метод одночасного вимірювання ^{235}U , ^{226}Ra та визначення коефіцієнта радіоактивної рівноваги (КРР) на основі

деконволюції гамма-ліній 185.7 KeV ^{235}U і 186.2 KeV ^{226}Ra з використанням спектрометричної системи U-Pu InSpector та програмного забезпечення Genie-2000 фірми CANBERRA.

Для вимірювання використовується одна наважка уранової руди. Метод не потребує герметизації і довготривалої витримки проби для досягнення радіоактивної рівноваги між ^{226}Ra і його дочірніми продуктами розпаду. Метод орієнтовано на лабораторне експресне забезпечення геологорозвідувальних робіт на пошук уранових родовищ (особливо з нерівноважними рудами, які останніми роками викликають підвищену увагу в зв'язку з розвитком технологій підземного вилуговування). Визначення КРР також важливе для використання в ядерній криміналістиці, оскільки є характерною ознакою (сигнатурою) руд з різних родовищ.

Особливістю методу є здатність визначати коефіцієнт радіоактивної рівноваги без використання еталонів урану і радю, що дозволяє суттєво підвищити експресність і точність аналізу.

Отримано набори спектрів гамма-випромінювання різних уранових і змішаних уран-торієвих рудних матеріалів. За допомогою джерел ^{226}Ra та урану проведено вимірювання спектрів, які імітують варіанти руд з різною радіоактивною нерівновагою. Проведено аналіз отриманих спектрів з метою оцінки характеристик і діапазону застосування розроблюваного методу.

Запропонований метод дозволить суттєво скоротити аналітичний цикл, знизити трудомісткість вимірювання і підвищити достовірність результатів аналізу.

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ТА ДОСТОВІРНОСТІ ПРОГНОЗУ РАДІАЦІЙНОГО ОКРИХЧУВАННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДИКИ VERLIFE ПРИ ВИКОРИСТАННІ ДАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВРАЗКІВ-СВІДКІВ АЕС УКРАЇНИ

Е. Е. Майборода, О. В. Шкапяк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Метою представленої роботи є аналіз підходу Додатку III Verlife до побудови залежності зсуву критичної температури крихкості від накопиченого флюенсу. Необхідність проведення такого аналізу обумовлена тим, що для деяких енергоблоків АЕС України методика Verlife використовується для виконання робіт, які пов'язані з продовженням терміну експлуатації корпусів реакторів (КР).

Методика Verlife [1] була розроблена ІЯД Ржеж в 2003 р., доповнена у 2008 році, та, в цілому, являється більш сучасним нормативним документом, ніж діючий в Україні ПНАЕ-Г-7-002-86 [2]. Залежності зсуву критичної температури крихкості ΔT_F від флюенсу (по термінології Verlife - трендові криві) в обох документах мають вигляд:

$$\Delta T_F = A_F \left(\frac{F_n}{F_0} \right)^n,$$

де F_n - флюенс швидких нейтронів ($E > 0,5$ MeV); $F_0 = 10^{22}$ нейтр/м²; A_F - коефіцієнт радіаційного окрихчування; n - показник степеня, який в [1] є змінною величиною, а в [2] приймається рівним 1/3.

В [2] не міститься вимог відносно довірчих оцінок для дозових залежностей ΔT_F , проте в документі НАЕК «Енергоатом» «Типова програма контролю властивостей металу корпусів реакторів ВВЕР-1000 по зразкам-свідкам» вказано, що оцінка ступеню радіаційного окрихчування металу КР повинна здійснюватися за 95 % верхньою огинаючою лінії регресії ($A_F^{95\%}$) відповідних результатів досліджень зразків-свідків (ЗС). Таким чином, підхід, який застосовують в Україні, базується на побудові оцінки 95 % довірчого інтервалу для коефіцієнта регресії A_F та значною мірою відрізняється від використаної в [1] верхньої огинаючої зсувів критичної температури крихкості ΔT_F .

Слід також відмітити, що в методиці Verlife не міститься вимог відносно оцінки довірчих інтервалів для ймовірності 95 % при обробці первісних результатів досліджень опромінених ЗС не ударний згин та в'язкість руйнування, тобто не передбачається оцінка можливих викидів експериментальних даних.

Аналіз впливу відмінностей в нормативних підходах [1] та [2] на оцінку окрихчування КР виконаний на основі співставлення розрахунків 4-х реальних наборів даних досліджень ЗС АЕС України, які містять 4 - 6 точок при різних значеннях флюенсу. Всі використані в аналізі результати досліджень ЗС являються представницькими і отримані з дотриманням нормативних вимог відносно кількості ЗС в групі та розкиду даних по флюенсу.

В доповіді будуть представлені результати цих розрахунків, дослідження достовірності та точності, а також аналіз впливу малих відхилень значень зсувів критичної температури крихкості на результат визначення коефіцієнтів регресії дозових залежностей по цим двом методикам. Для трьох із чотирьох наборів даних результати порівняльних розрахунків відрізняються значною мірою.

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що використання змінного коефіцієнта ступеню у формулі залежності зсуву критичної температури крихкості ΔT_F від флюенсу може призвести до неконсервативних та недостовірних результатів.

1. *Unified Procedure for Lifetime Assessment of Components and Piping of VVER Type NPPs during Operation, VERLIFE 2003 (2008).*
2. *ПНАЭ-Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.*

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПІДГОТОВКИ ДАНИХ З УРАХУВАННЯМ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ ТЕПЛОНОСІЯ ПО РАДІУСА КАСЕТИ ТА З УРАХУВАННЯМ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ ПАЛИВА ПО ПЕРЕРІЗУ ПАЛИВНОЇ ТАБЛЕТКИ

В. В. Гальченко¹, А. А. Мішин²

¹Київський науково-дослідний

і проектно-конструкторський інститут «Енергопроект», Київ

²Національний технічний університет України «КПІ», Київ

При проведенні нейтронно-фізичних розрахунків різних станів реакторної установки дуже важливу роль відіграє питання підготовки малогрупових констант. Від того, як це було зроблено, залежить якість і точність подальших розрахунків.

Макроскопічні перерізи взаємодії визначаються в залежності від композиції палива, вигорання палива, положення органів регулювання, густини теплоносія, температури теплоносія, температури палива та концентрації рідкого поглинача. Методика підготовки даних полягає в осередненні вказаних параметрів палива і теплоносія по перерізу ТВЗ. Проводиться велика кількість розрахунків, в яких окремо змінюється величина температури палива, температури теплоносія та інших параметрів. Отримані таким чином набори залежностей макроскопічних перерізів взаємодії від параметрів палива і теплоносія апроксимуються відповідними функціональними залежностями, які є вхідними даними для подальших розрахунків з використанням кодів тривимірної кінетики, для розрахунку як стаціонарної задачі (визначення характеристик паливного завантаження) так і для аналізу різних перехідних процесів, які можуть мати місце в реакторних установках.

Зазвичай досліджуються вплив різних розрахункових методів, які знайшли своє застосування в різних програмних продуктах і лише останнім часом, з покращенням можливостей обчислювальної техніки, стало можливим вивчати вплив просторового розподілу цих характеристик на зміну макроскопічних величин. На сьогодні такі роботи проводяться достатньо активно.

В роботі проведено порівняльний аналіз підготовки малогрупових констант з урахуванням нерівномірного розподілу параметрів палива і теплоносія в ТВЗ та з використанням їх осереднених значень. Розподіл температури теплоносія по радіусу касети було отримано за допомогою моделювання процесів протікання та нагріву теплоносія, радіальний розподіл температур паливної таблетки було отримано з використанням рівняння теплопровідності.

Результати засвідчують, що урахування розподілу температури теплоносія по перерізу ТВЗ суттєво не вплинуло на гомогенізовані макроскопічні характеристики системи в «тепловій» області енергій, але показало вплив на характеристики в «швидкій» області енергій нейтронів і на деякі ефекти реактивності.

Показано вплив урахування нерівномірного розподілу температури паливної таблетки та просторового розподілу резонансного поглинання в таблетці на накопичення ізотопів плутонію та величину температурного ефекту реактивності за температурую палива.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТВЭЛОВ ЛЕГКОВОДНОГО РЕАКТОРА

С. Н. Пельх, М. В. Максимов

Одесский национальный политехнический университет, Киев

Синтезирована математическая модель изменения свойств твэла в нормальных условиях эксплуатации легководного реактора, отличающаяся использованием соотношений энергетического варианта теории ползучести (ЭВТП), моделированием размещения и вертикального перемещения органов регулирования (ОР) в активной зоне (АКЗ), изменения мощности реакторной установки (РУ) и перестановок тепловыделяющих сборок (ТВС), что дало возможность разработать ЭВТП-метод расчета поврежденности оболочки твэла, характеризующийся учетом ползучести как главного физического механизма разрушения оболочки твэла и всех факторов ее нормальной эксплуатации.

Установлено, что наиболее сильно влияющими факторами, детерминирующими поврежденность оболочки в нормальных условиях эксплуатации легководного реактора (ДФ), являются максимальная линейная мощность в твэле и температура теплоносителя на входе РУ. Учитывая размещение ОР в АКЗ для У-алгоритма и перестановки ТВС в АКЗ в ходе четырехлетней кампании РУ с ВВЭР-1000, аксиальный сегмент твэла, расположенный между координатами $z = 1,8$ и $2,7$ м, характеризуется наибольшей поврежденностью оболочек.

Разработана критериальная модель эффективности управления свойствами твэлов, отличающаяся минимизацией количества контролируемых параметров и варьируемых ДФ, а также определением преимущества одной совокупности ДФ над другой на основе принципа аддитивности. Разработана вероятностная модель расчетных параметров нормальной эксплуатации легководного реактора, отличающаяся учетом интервалов неопределенности в знании основных ДФ, что дало возможность учесть неопределенность в знании условий эксплуатации оболочки.

Синтезирован метод управления свойствами твэлов, отличающийся учетом ползучести как основного физического механизма разрушения оболочки твэла и всех факторов ее нормальной эксплуатации, а также учетом ограничивающих требований одновременно к безопасности и эффективности эксплуатации твэла, позволяющий снизить размерность векторов контролируемых параметров и варьируемых ДФ, что позволило учесть влияние всех наи-

более значимых ДФ, максимально снизить размерность пространства случайных величин, описывающих свойства твэлов, а также предложить алгоритм управления свойствами твэлов легководного реактора на основе итерационного процесса задания главных ДФ на стадиях проектирования и эксплуатации РУ.

**ВНЕСОК НАВЧАЛЬНОГО ЦЕНТРУ З ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ,
ОБЛІКУ ТА КОНТРОЛЮ ЯДЕРНОГО МАТЕРІАЛУ
В ДІЯЛЬНІСТЬ З ФОРМУВАННЯ КУЛЬТУРИ ЗАХИЩЕНОСТІ
НА УКРАЇНСЬКИХ ЯДЕРНИХ УСТАНОВКАХ**

**В. І. Гаврилюк, А. В. Гаврилюк-Буракова, С. С. Драпей,
В. В. Пархоменко, Д. В. Проскурін, О. П. Романова**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У доповіді розглядаються питання навчально-методичної та організаційної діяльності Навчального центру (НЦ) щодо формування, впровадження та розвитку культури захищеності на українських ядерних установках.

Культура захищеності є одним з основоположних принципів фізичного захисту ядерного матеріалу та ядерних установок. Відповідно до законодавства України, культура захищеності є однією з засад державної політики з фізичного захисту, а спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади у сфері державного регулювання фізичного захисту має розробляти і здійснювати заходи щодо формування культури захищеності. Президентом України було доручено центральним органам виконавчої влади за участі НАН України активізувати роботу щодо формування культури захищеності на підприємствах, діяльність яких пов'язана з використанням ядерної енергії. Координацію діяльності з формування культури захищеності, активна стадія якої розпочалася у 2009 р., здійснює Держатомрегулювання України.

У 2010 р. при Держатомрегулюванні України було створено Робочу групу з формування, розвитку та підтримання культури захищеності в організаціях, що здійснюють фізичний захист. До складу робочої групи увійшли представники ядерних установок, експлуатуючих організацій, підрозділів з охорони, органів державного регулювання та управління, а також фахівці НЦ.

Міністерство енергетики США через НЦ здійснює методичну та фінансову допомогу в справі формування, впровадження та розвитку культури захищеності на ядерних установках України.

Протягом 2010 - 2012 рр. НЦ організував та провів ряд засідань Робочої групи, нарад та семінарів з питань культури захищеності, 4 навчальних курси з культури захищеності для українських фахівців з фізичного захисту, обліку та контролю ядерного матеріалу, персоналу підрозділів з охорони, представників державних органів. Перші 2 курси були прочитані американськими викладачами, 2 наступних курси були розроблені та прочитані фахівцями НЦ.

НЦ також розробив проекти 2 нормативно-правових актів, що стосуються питань формування, впровадження і розвитку, а також критеріїв оцінки рівня культури захищеності на установках, переклав на українську мову та розповсюдив на ядерних установках Керівництво МАГАТЕ з впровадження культури захищеності, розробив серію плакатів з культури захищеності.

Завдяки співпраці фахівців НЦ та представників ядерних установок на сьогодні на установках здійснено такі заходи з культури захищеності: зроблено заяви керівництва щодо політики в сфері фізичного захисту, створено робочі групи з культури захищеності, призначено осіб, відповідальних за впровадження та розвиток культури захищеності, розроблено наочні засоби агітації, питання культури захищеності включено до програм підготовки персоналу в навчально-тренувальних центрах.

Зараз НЦ розробляє пам'ятки з культури захищеності для персоналу ядерних установок, а також навчальний курс для координаторів з культури захищеності, який планує провести у 2013 р.

ВПЛИВ РАДІАЦІЙНОГО ПОШКОДЖЕННЯ НА МІЦНІСТЬ СТАЛІ КОРПУСУ РЕАКТОРА ВВЕР-1000

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

Інститут ядерних досліджень НАН України,

Загальновідомо, що нейтронне опромінення корпусної сталі призводить до зміни її фізичних і механічних властивостей і, як наслідок, до окрихчення металу. Останнім часом все більше уваги приділяється впливу опромінення на зміцнення сталі [1]. У роботі І. В. Гориніна та ін. [2] викладені результати досліджень механічних властивостей сталі 15Х2МФА у вихідному стані та після нейтронного опромінення при 260 - 280 °С до флюенсу $F \sim 10^{24}$ нейтр/м². Висновок, який був зроблений за результатами цих досліджень, такий, що радіаційне пошкодження не спричиняє помітного впливу на здатність сталі до деформаційного зміцнення, так як рівномірне видовження і відношення ($R_{p0,2}/R_m$) після опромінення майже зберігаються на початковому рівні. Даний висновок був зроблений як для випробувань при кімнатній температурі (20 °С), так і при підвищених температурах (350 °С).

Проте слід зазначити, що заданий флюенс був досягнутий шляхом прискореного опромінення із щільністю потоку нейтронів (ЩПН) від $3 \cdot 10^{17}$ до 10^{18} нейтр/м²/с, що перевищує ЩПН в промислових реакторах типу ВВЕР-1000 на 3 - 4 порядки. Оскільки вплив прискореного опромінення при ЩПН більше, ніж 10^{16} нейтр/м²/с ще залишається вивченим не повністю, то ця обставина може вплинути на залежність деформаційного зміцнення від флюен-

су швидких нейтронів для сталей корпусів реакторів ВВЕР-1000.

В останні роки з'явилась можливість проаналізувати ступінь зміцнення корпусної сталі в умовах довготривалого нейтронного опромінення шляхом випробування зразків-свідків (ЗС), вивантажених з реактора, що накопичили флюенс близький до проектного. Флюенс та швидкість набору флюенсу для такого реактора є типовими для промислових реакторів, що експлуатуються в Україні, тому дані випробувань ЗС будуть найбільш точно характеризувати міцність металу КР після опромінення. Цікавим є також порівняння цих даних із результатами досліджень, наведеними в [2].

У даній роботі розглянуто зміну коефіцієнта деформаційного зміцнення m зі збільшенням флюенсу нейтронів для ЗС металу корпусу реактора ВВЕР-1000 одного з енергоблоків, що експлуатується в Україні. Показано, що з накопиченням флюенсу для основного металу та металу зварного шва значення m спадає. Випробування на одновісний розтяг проводились при кімнатній температурі та при температурі 350 °С. Для обох випадків спостерігається подібна залежність.

Окрім цього, побудована кореляційна залежність експериментально визначеного коефіцієнта m від відношення границі текучості до границі міцності ($R_{p0,2}/R_m$). Оскільки при опроміненні ділянка рівномірної пластичної деформації зразка стає більш пологою і значення $R_{p0,2}$ наближається до R_m , то залежність $R_{p0,2}/R_m$ від величини m слід було б очікувати обернено пропорційною, що підтверджується спостереженнями. Форма цієї кореляційної залежності виявилася лінійною. Таким чином, можна говорити про те, що співвідношення $R_{p0,2}/R_m$ непрямо характеризує коефіцієнт деформаційного зміцнення.

Якщо порівнювати ступінь зміцнення сталі внаслідок прискороного опромінення у дослідницьких реакторах та довготривалого опромінення в умовах експлуатації промислових реакторів, то слід відмітити, що величина зміни відношення $R_{p0,2}/R_m$ практично однакова в обох випадках, проте можна говорити про помітний вплив опромінення, оскільки спостерігається стійкий ріст $R_{p0,2}/R_m$ та падіння коефіцієнта m з накопиченням флюенсу, особливо для матеріалів КР з високим ступенем радіаційного зміцнення.

1. *Chaouadi R., Guard R.* Neutron flux and annealing effects on irradiation hardening of RPV materials // *J. of Nuclear Materials.* - 2011. - Vol. 418(1 - 3). - P. 137 - 142.
2. *Радиационное повреждение стали корпусов водо-водяных реакторов /* Под ред. И. В. Горынина. - М.: Энергоиздат, 1981. - 192 с.

ПРО ДІЯЛЬНІСТЬ НАВЧАЛЬНОГО ЦЕНТРУ З ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ, ОБЛІКУ ТА КОНТРОЛЮ ЯДЕРНОГО МАТЕРІАЛУ З ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ФАХІВЦІВ З ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ

**В. І. Гаврилюк, А. В. Гаврилюк-Буракова, С. С. Драпей,
Д. В. Проскурін, О. П. Романова**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У доповіді розглядається процес становлення Навчального центру (НЦ), його роль у забезпеченні професійного навчання фахівців з фізичного захисту.

В сучасних умовах збільшення терористичної загрози роль людського фактора помітно зростає. Тому вимоги до кваліфікації фахівців, що працюють у сфері фізичного захисту, є дуже високими та адекватними існуючим загрозам. Важливим засобом забезпечення необхідного рівня кваліфікації персоналу, його професійного розвитку є підвищення кваліфікації.

НЦ здійснює свою діяльність на підставі ліцензій МОНмолодьспорту України та Держатомрегулювання України. НЦ має матеріально-технічну та науково-методичну базу, що відповідає сучасним вимогам до навчального процесу.

Базовим інструментом НЦ з підготовки фахівців є системний підхід до навчання. НЦ провів оцінку потреб у навчанні у 2005 та 2010 роках. За результатами оцінок були розроблені навчальні матеріали за 14 темами з фізичного захисту.

За 15 років у НЦ було проведено майже 100 національних навчальних курсів, на яких підвищили кваліфікацію більше 2 тисяч фахівців у сфері фізичного захисту, які працюють в органах державної влади, експлуатуючих організаціях, на ядерних установках, об'єктах, призначених для поводження з радіоактивними відходами, а також організаціях, що проектують, будують, монтують і налагоджують системи фізичного захисту - всього 74 установи і організації України.

Крім того, НЦ зробив значний внесок в забезпечення нормативним регулюванням професійного навчання з фізичного захисту в Україні.

ФРАКТАЛЬНАЯ ПРИРОДА ПРОЦЕССОВ ДЕЛЕНИЯ В ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

В. В. Рязанов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Нейтрони в ядерних реакторах (ЯР) розмножуються посредством цепочек деления. Исследование такого рода структур является междисциплинарным и объединяет в себе идеи фрактальной геометрии, статистической механики и

теории фазовых переходов, теории протекания. Существует тесная связь между фрактальными явлениями и статистическими распределениями. Траектории движения нейтронов в ЯР образуют структуру деревьев. Если к их описанию применить теорию перколяционных кластеров и соотношения фрактальной размерности, то такой подход позволит глубже понять физическую природу нейтронных процессов в ЯР и детализировать поведение процессов вблизи критического режима. Из полученных соотношений могут быть определены такие важные для практики эксплуатации ЯР величины, как, например, эффективная скорость распространения возмущений.

Основной задачей применения фрактальных соотношений к теории ЯР является, видимо, определение возможностей отклонения от значений классических индексов при эффектах, аналогичных взаимодействию цепочек деления (возмущения ЯР и т.д.). Можно указать и другие фрактальные характеристики, которые могут оказаться эффективными для решения различных задач эксплуатации и исследования особенностей поведения ЯР. Критическое состояние ЯР во многом сходно с явлениями, происходящими, например, при фазовом переходе жидкость-пар, и многие закономерности этих процессов справедливы для ЯР.

Фрактальную размерность имеют притягивающие аттракторы в хаотических режимах. Это описание применяется к диагностике состояний ядерного реактора. Хаос может наблюдаться для различных величин, характеризующих поведение ядерного реактора. С точки зрения математического описания траектория хаотической системы представляет собой сложный математический объект, обладающий фрактальными свойствами (хотя в настоящее время не ясно, являются ли свойства фрактальной траектории и хаотичности движения всегда взаимообусловленными, но во всех известных до сего времени системах это так).

ПРИНЦИПИ ВИБОРУ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

С. І. Азаров¹, В. Л. Сидоренко², С. А. Єременко²

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

*² Інститут державного управління у сфері цивільного захисту
МНС України, Київ*

Вирішальна роль атомної енергетики у підвищенні енергетичної безпеки країни, сталого енергозабезпечення зростаючої вітчизняної економіки, будівництва нових енергоблоків АЕС, покращання екологічної і радіаційної безпеки - такі стратегічні завдання постають перед атомно-промисловою галуззю згідно з Енергетичною стратегією нашої держави. З одного боку ця стратегія передбачає подальший розвиток атомної енергетики в Україні, з іншого боку

- зростає значимість охорони довкілля від негативних радіаційних впливів, особливо після Чорнобильської катастрофи. У зв'язку з цим виникає необхідність переробки наукових основ обґрунтованого вибору потенційних майданчиків (ПМ) для будівництва нових АЕС з врахуванням ряду критеріїв екологічної безпеки.

Питання щодо необхідності вибору ПМ для розміщення об'єктів атомної енергетики з екологічних критеріїв розглядалися у працях провідних вчених у всьому світі, у санітарних правилах проектування і будівництва АЕС та інших нормативних документах, але необхідно визначити єдине обґрунтування екологічної безпеки шляхом визначення меж безпечної експлуатації АЕС на основі побудови багатокритеріальних функцій корисності, а також вимог до радіоекологічної безпеки, що встановлені нормативно-технічними документами.

Крім того, одним із завдань екологічного вибору майданчику для АЕС є захист населення й екосистем не тільки від радіаційного, але й від можливих інших негативних нерадіаційних факторів. При оцінці прийнятності майданчика для розміщення АЕС можуть бути розглянуті екологічні аспекти, такі як вплив АЕС на довкілля у випадку надзвичайних обставин, оцінка можливого відчуження земель і впливу АЕС на земле- і водокористування, можливе збільшення дозових навантажень на населення, а також на об'єкти навколишнього середовища (НС) при можливій міграції і нагромадженні в них радіонуклідів, наявність цінних біологічних ресурсів, які використовуються або можуть бути використані під час експлуатації АЕС, наявність рідких видів, заповідників, унікальних пам'яток природи, інакше кажучи, облік моральних і етичних вимог стосовно НС, комплексні еколого-економічні показники кожного ПМ розміщення АЕС. Загалом, для оцінки прийнятності необхідно враховувати три групи критеріїв природокористування: екологічні, радіоекологічні та еколого-економічні взаємозалежні.

Для ранжування майданчиків за інтегральним екологічним критерієм можуть бути корисні приватні критерії вибору майданчиків для АЕС з погляду охорони і раціонального використання природного середовища. При цьому кожному розглянутому екологічному фактору i на майданчику S_j приписується вага W_i і ранг X_{ij} . Повний ранг $Y(S_j)$ майданчика визначається за формулою: $Y(S_j) = \sum_i W_i X_{ij}$.

Після ранжирування майданчиків за величиною повного рангу визначаються домінуючі майданчики, що найбільш відповідають вимогам охорони НС. Це дозволить урахувати гадану велику розмаїтість екологічних показників уже на першому етапі відбраковування потенційних пунктів при аналізі літературних матеріалів.

Таким чином, більш поглиблене екологічне обґрунтування вибору ПМ для АЕС допоможе значно зменшити можливі витрати на природоохоронні заходи, зменшити ризик зникнення рідких видів, зберегти для раціонального використання біологічні ресурси регіону, розробити рекомендації з більш ефективного використання теплих вод, що скидають, підтримці природної рівноваги екосистем. Важливе значення має і підготовка суспільної думки як до будівництва енергоблоків АЕС, так і після пуску (в процесі роботи) та зняття їх з експлуатації.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МАКЕТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА LR-0

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

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Современные методики определения радиационной нагрузки корпуса реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000, как правило, включают расчеты переноса нейтронов в околокорпусном пространстве реактора. Для выполнения таких расчетов в мировой практике используются различные программные комплексы, в большинстве случаев основанные на методе дискретных ординат или методе Монте-Карло.

Экспериментальные данные, позволяющие исследовать изменение характеристик поля нейтронов от активной зоны до внешней поверхности корпуса реакторов типа ВВЭР, были получены в ходе макетных экспериментов на исследовательском реакторе нулевой мощности LR-0 Института ядерных исследований г. Ржеж (Чешская республика). В отчетах по этим экспериментам кроме экспериментальных данных, представлены также и результаты сравнения экспериментальных и расчетных значений, полученных рядом научно-исследовательских организаций.

Анализ представленных результатов сравнения экспериментальных и расчетных значений для макетов реактора ВВЭР-440 показывает относительно большое расхождение расчетных значений, полученных различными организациями, чего не наблюдается для макета реактора ВВЭР-1000.

Исследование литературных источников показало, что при выполнении расчета переноса нейтронов в макетах реактора ВВЭР-440 в ряде организаций не учитывается наличие трубы в дисплейсере. Проведенный анализ и представленные в работе результаты, полученные с помощью пакета программ собственной разработки, показывают, что такое упрощение и является причиной наблюдаемых различий.

АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ТА ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК НИЗЬКИХ ЕНЕРГІЙ НА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Т. В. Ковалінська, І. А. Остапенко, В. І. Сахно, В. О. Желтоножський

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Розглядаються можливості залучення низькоенергетичних іонізуючих випромінювань до вирішення проблем функціональної радіаційної діагностики кабелів та електрообладнання АЕС. Визначаються особливі вимоги до характеристик радіаційних полів, необхідні для формування експертних висновків про функціональну придатність електричного обладнання до експлуатації на ядерних об'єктах. Показано, що радіація є багатокомпонентний фактор негативного впливу на функціональні показники електрообладнання. Цей фактор залежить від типу іонізуючого випромінювання, його енергетичного складу, потужності експозиційної дози та поглинутої (нагромадженої) енергії цього випромінювання. Визначено перелік найбільш значимих ефектів, які погіршують надійність роботи електричних кабелів при експлуатації в радіаційних полях. Встановлено, що найменш дослідженими є процеси, що відбуваються при опромінюванні в низько енергетичному діапазоні. Докладно розглянуто і систематизовано опубліковані матеріали про вплив низькоенергетичного випромінювання на стан та функціонування кабелів, ізоляційних матеріалів та виробів з них. Показана важливість урахування процесів, що відбуваються не тільки в товщі конструкційних матеріалів ізоляції, але і на поверхнях ізоляційних виробів та кабелів. Останні є найбільш значимі для дії іонізуючого випромінювання низьких енергій. Обговорюються проблеми оцінки впливу цих процесів на надійність роботи виробів та ресурс їх експлуатації на ядерних енергетичних установках. Окреслюється перелік процесів і перспективних напрямків досліджень з іонізуючими випромінюваннями енергією до 0,5 МеВ. Показано, що такі дослідження повинні охоплювати електростатичні процеси на поверхнях ізоляторів, радіаційно-хімічні процеси модифікації ізоляційної органіки, радіолізу газів оточуючого середовища, процеси утворення і рекомбінації аероіонів.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ БАЗИ РАДІАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ІЯД НАН України

Т. В. Ковалінська, І. А. Остапенко, В. І. Сахно, І. М. Вишневіський

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Експериментальна база радіаційних технологій ІЯД в даний час базується на радіаційній установці з електронним прискорювачем з середньою енергією

4 МеВ. Її параметри в даний час вже не повністю задовольняють експериментаторів, в першу чергу через обмеження мінімальної енергії випромінювань на рівні 2,5 - 3 МеВ. Водночас, регламентований Міжнародними нормативними актами діапазон технологічного опромінювання передбачає залучення до промислових процесів іонізуючих випромінювань в діапазоні від 20 - 30 кеВ до 5 МеВ (для гама-випромінювання) та 10 МеВ (для електронів). Тому розширення енергетичного діапазону іонізуючих випромінювань на експериментальній базі ІЯД є перспективною задачею. Її вирішення дозволить суттєво збільшити обсяги прикладних досліджень і технологічних розробок. Отримані результати є важливими для прогресу сучасної економіки і можуть забезпечити пріоритет ІЯД в області прикладних ядерних досліджень та радіаційних технологій.

Такий шлях розвитку експериментальної бази ІЯД дозволить активізувати дослідження з радіаційної фізики і розробки нових матеріалів, створювати нові технології утилізації полімерних матеріалів та виробів, розробляти ефективні методи промислової стерилізації широкої гами нових сучасних полімерних пакувальних виробів, сприяти прогресу технології напівпровідників, розробляти ефективні методи карантинної обробки сільськогосподарської продукції і імпортованих харчів, створювати нові матеріали для ядерної енергетики. В обґрунтуванні планів удосконалення технічної бази ІЯД НАНУ наводяться результати попередніх експериментальних досліджень таких процесів авторами розробки.

Обговорюється проект створення на базі радіаційної установки ІЯД НАН України сучасного комплексу технологічних досліджень з іонізуючими випромінюваннями 30 - 4000 кеВ.

ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ АЕС УКРАЇНИ

А. Г. Зелінський, Т. В. Ковалінська, І. А. Остапенко, В. І. Сахно

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

На сьогоднішній день для українських АЕС важливим є питання продовження терміну їх експлуатації [1]. Однією з основних частин Національної програми [2, 3] по продовженню терміну експлуатації діючих енергоблоків є кваліфікація обладнання.

Згідно існуючих нормативних документів [2, 3, 4], в результаті оцінки поточного рівня кваліфікації для обладнання АЕС встановлюється кваліфікаційний термін - гарантія безпеки АЕС на протязі цього періоду часу.

У відповідності з вимогами державних стандартів та міжнародних рекомендацій [4, 5], оцінка стану кваліфікації включає в себе аналіз впливу ефектів старіння. При аналізі впливу ефектів старіння необхідно враховувати радіацію, як ключовий фактор деградації обладнання [6, 7].

Експлуатація конструкційних матеріалів, таких як бетон, гума, пластики, діелектрики в сильних радіаційних полях супроводжується процесами утворення сполук, які можуть створити проблеми у випадках не тільки кризових режимів роботи ядерних об'єктів, але і в нормальних режимах [8]. При тривалому опроміненні матеріалів звичайні процеси старіння накладаються на процеси радіаційного старіння.

Особливості старіння матеріалів в умовах експлуатації на АЕС вивчені досить мало. Для вирішення цієї проблеми необхідно здійснити великий обсяг експериментальних досліджень і отримати додаткову інформацію про специфічні процеси, якими супроводжується експлуатація матеріалів на ядерних об'єктах.

Такі дослідження вимагають спеціальної техніки. Ядерна енергетика України не має такої техніки і зараз кваліфікація здійснюється на застарілих засобах за недосконалими методиками. В цих дослідженнях неможливо виділити дані, які б з необхідною точністю відображали реальний стан і ресурсні можливості обладнання.

В СРТ проблеми створення радіаційної техніки спеціального призначення вивчаються у продовж більше 20 років. Створено радіаційну установку максимально наближену до вимог кваліфікаційних та функціональних досліджень, яка поки що не має аналогів. В даний час визначено перелік засобів, які необхідно доопрацювати найближчим часом з метою створення в ІЯД НАН України радіаційного дослідницького комплексу, що буде відповідати усім вимогам для вирішення поставлених задач.

В переліку невідкладних – доповнення радіаційного комплексу ІЯД НАН України потужним низькоенергетичним джерелом електронів для досліджень радіаційностимульованих поверхневих ефектів при експлуатації АЕС.

В доповіді розглядається розроблений варіант такого додаткового джерела та його узгодження з загальною структурою існуючого радіаційного дослідницького комплексу СРТ ВСЯ.

Тези доповідей з радіаційної фізики та радіаційного матеріалознавства

ВІДГУК КРЕМНІЄВИХ ДІОДІВ ПРИ СИНХРОТРОННОМУ ОПРОМІНЕННІ

І. Є. Анохін, О. С. Зінець

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Кремнієві діоди широко використовуються для діагностики та дозиметрії синхротронного випромінювання. Велика інтенсивність та імпульсний характер синхротронного випромінювання потребує врахування нелінійних ефектів в кінетиці процесів генерації-рекомбінації надлишкових носіїв заряду.

Розглянуто залежності часу життя та біполярного коефіцієнта дифузії від густини надлишкових носіїв заряду, генерованих синхротронним випромінюванням. Розраховано відгуки кремнієвого діода при опроміненні фотонами з енергією 20-100 кеВ від джерела синхротронного випромінювання в залежності від інтенсивності пучка та характеристик діода. Розглянуто режим «короткого замикання», коли домінує збирання заряду з дифузійної області. Отримано розв'язки дифузійного рівняння для різних граничних умов, що відповідають «довгим» та «коротким» детекторам. Показано, що при високій інтенсивності пучка, поряд з моделлю рекомбінації Шоклі - Ріда, треба враховувати рекомбінацію Оже.

Результати можуть бути використані для вимірювання поглинутої дози при рентгенівському опроміненні від синхротронного джерела.

АКТИВАЦІЯ ПОВІТРЯ ТА ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ РОБОТІ МЕДИЧНОГО ПРИСКОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОНІВ

**О. А. Безшийко¹, Б. М. Бондар^{1,2}, Л. О. Голінка-Безшийко¹,
І. М. Каденко¹, Я. В. Кметюк², К. Г. Кошарський², Є. Л. Момот¹,
А. О. Нагай¹, Я. О. Безшийко¹**

¹ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

² *Всеукраїнський центр радіаційної хірургії клінічної лікарні «Феофанія», Київ*

Рак займає одне з провідних місць серед захворювань населення більшості економічно розвинутих країн світу. Незважаючи на позитивні тенденції, рак – у всіх його проявах – продовжує підривати глобальну охорону здоров'я. У 2008 р. було 12700 тис. нових випадків захворювання на рак та 7,6 млн випадків смерті відповідно до American Cancer Society (ACS). До 2030 р. Всесвітня організація охорони здоров'я прогнозує, що ми стикнемося з більш ніж 21 млн нових випадків захворювання на рак та 13 млн випадків смерті в рік.

Це обумовлює актуальність і важливість пошуку нових методів лікування онкологічних захворювань.

Лінійні прискорювачі електронів набули широкого використання в променевої терапії при лікуванні пацієнтів хворих на рак. Під час проведення лікувальної процедури з використанням лінійного прискорювача окрім опромінення самого пацієнта відбувається опромінення стовпа повітря між хворим і прискорювачем та конструкційних елементів голови прискорювача та процедурної. При використанні для опромінення високих енергій гамма-квантів (вище 10 МеВ) окрім утворення озону відбувається також активація компонентів середовища та матеріалів (можуть відбуватись реакції з утворенням різних радіоактивних ізотопів, які створюють додаткову дозу в приміщенні, де проводиться лікування) і як наслідок існує небезпека опромінення персоналу, в тому числі внутрішнього опромінення за рахунок активації компонентів повітря.

У роботі наведено результати розрахунків з використанням методу Монте Карло для оцінки активації повітря в залежності від форми гальмівного спектра гамма-квантів медичних лінійних прискорювачів електронів. Також наведено результати вимірювань залишкового радіоактивного фону в бункері лінійного прискорювача після процедур опромінювання. Обговорюється можливий вплив нейтронів, які утворюються в результаті фотонейтронних реакцій.

СТВОРЕННЯ, РУХ ТА ПІДСИЛЕННЯ ІМПУЛЬСІВ КОНДЕНСОВАНИХ ЕКСИТОННИХ ФАЗ В НЕОДНОРІДНИХ ПОЛЯХ У КВАНТОВИХ ЯМАХ НАПІВПРОВІДНИКІВ

О. І. Дмитрук¹, В. Й. Сугаков²

¹ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

У даній роботі вивчені рух та підсилення екситонного імпульсу, створеного лазерним імпульсом в подвійній квантовій ямі в неоднорідному потенціалі. При наявності зовнішнього електричного поля, перпендикулярного площині квантових ям, електрон і дірка, що належать екситону, знаходяться в різних ямах, їх взаємна рекомбінація загальмована. Тому екситон має тривалий час життя і може зміститись в неоднорідному полі на велику відстань. Такі екситони називаються непрямыми, а їх властивості передбачається використати в електронних системах, в яких керування процесами відбувається не з допомогою електричного поля, а лазером [1]. У роботі розглянуто одновимірний рух нечастиць екситонів в потенціалі, що лінійно залежить від координат. Розраховане нелінійне рівняння для густини екситонів, яке в моделі Ландау описує вільну енергію екситонів, а також враховує скінченний час життя екситонів. Показано, що екситонний імпульс зростає з часом, проте

не розпливається і максимум екситонної густини в імпульсі залишається сталим протягом часу життя екситонів, якщо імпульс сформований саме з конденсованої фази [2], на противагу імпульсу сформованого з газової фази екситонів. Шлях, який пройде імпульс зі сталим значенням густини в максимумі, може бути збільшений накладанням додаткового лазерного імпульсу на систему. Ці результати були підтверджені для екситонів реальної системи [3] в подвійних квантових ямах в напівпровіднику, розміщеному між двома металевими електродами з отвором у вигляді щілини у верхньому електроді. Таким чином, розглядувана система може бути використана для передачі даних в електронних системах через екситонну конденсовану фазу.

1. High A.A., Novitskaya E.E., Butov L.V., Gossard A.C. // Science. - 2008. - Vol. 321. - P. 229 - 231.
2. Dmytruk O.I., Sugakov V.I. // Phys. Lett. - 2012. - Vol. A376. - P. 44.
3. Sugakov V.I. // J. Phys.: Condens. Matter. - 2009. - Vol. 21. - P. 275803.

ВПЛИВ МЕТАЛІЧНИХ НАНООБОЛОНОК НА ЗБИРАННЯ СВІТЛА LH2 КОМПЛЕКСОМ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ БАКТЕРІЙ

І. Ю. Голіней, В. Й. Сугаков, Г. В. Верцімаха

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Теоретично досліджено вплив присутності золотої наноболонки поблизу периферичного світлозбирального комплексу (LH2) фотосинтетичних бактерій на ефективність процесів фотосинтезу. Визначений сумарний ефект, зумовлений співвідношенням підсилення поглинання світла у смузі B850 внаслідок сильної взаємодії екситонів LH2-кільця та станів поверхневих плазмонів і додаткового гасіння збуджень поблизу металу. Враховано залежність затухання плазмонних станів від розмірів наноболонки.

Визначено діапазон параметрів гібридної системи, для яких присутність золотої наноболонки веде до підвищення ефективності збирання світла. Незважаючи на те, що частота поверхневого плазмону для золотої наночастинки ближча до частоти поглинання світла для B850-зони LH2 комплексу, ніж для подібної срібної наноболонки, кількісно ефекти підсилення поглинання світла близькі для обох металів. Це пов'язано з сильним затуханням плазмонних станів в золоті. Перевагою використання золотої наноболонки є більш широкий діапазон товщин наноболонки, для яких можливо підсилення поглинання світла.

Проаналізовано залежність ефекту підсилення оптичного поглинання від взаємного просторового розташування срібної наноболонки та молекулярного кільця в гібридній світлозбиральній системі. Чисельні розрахунки з використанням параметрів, типових для подібних структур, показують, що підсилення поглинання світла, зумовлене перекачкою інтенсивності плаз-

монного дипольного переходу до екситонного переходу, залишається істотним при зсуві сферичної наночастинки в площині мембрани на відстань, близьку за величиною до радіусу наносфери. Для наночастинок малого радіусу (близького до радіусу кільця) при несиметричному розташуванні наносфери відносно кільця поглинання може додатково підсилюватись за рахунок появи переходів, заборонених у випадку симетричного розташування.

СПЕКТР НЕПРУЖНОГО РОЗСІЯННЯ ЕЛЕКТРОНІВ НА СИСТЕМІ ДИПОЛЬ-ПРОВІДНА НАНОЧАСТИНКА

І. Ю. Голіней, Є. В. Оникієнко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Побудована квантово-механічна теорія непружного розсіяння електронів на системі, що складається з металевої нанокुльки і молекули, актуальна в зв'язку з дослідженням плазмонів за допомогою методу спектроскопії енергетичних втрат електронів.

Показано, що існує резонансне підсилення розсіяння електронів на молекулі, поміщений неподалік від металевої наночастинки за рахунок взаємодії молекули з локалізованими плазмонами, для яких характерний дуже великий дипольний момент. Як наслідок резонансного змішування збудженого електронного стану молекули й плазмонного стану наночастинки й зумовленого ним позичання сили осцилятора, розсіяння електрона на молекулі підсилюється на кілька порядків.

Унаслідок взаємодії плазмонних мод з молекулою імовірність збудження молекули швидкими електронами зростає до 12 порядків. Це відкриває можливість спостерігати в електронний мікроскоп окремі молекули на поверхні наночастинок.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЗРАЗКІВ-СВІДКІВ НА УСТАНОВЦІ LECO GDS 500

М. Г. Голяк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Програма супроводу працездатності металу корпусів діючих в Україні ядерних енергоблоків базується на дослідженні зразків-свідків з основного металу і зварних з'єднань. Дуже важливо знати фактичні дані хімічного складу металу, оскільки саме концентрація деяких хімічних елементів (особливо P, Cu, Ni, Mn, Si, S) впливає на фізико-хімічні властивості металу, головна з яких радіаційне окрихчування. В новій редакції документу МАГАТЕ VERLIFE-2011 розрахунок параметрів радіаційного окрихчування пропону-

ється проводити з урахуванням вмісту таких елементів як нікель, марганець, кремній.

Під назвою фотоелектричний спектральний аналіз ми розуміємо фізичний метод аналізу хімічного складу речовини, заснований на дослідженні спектрів випускання і поглинання атомів або молекул. Ці спектри визначаються властивостями електронних оболонок атомів і молекул, коливаннями атомних ядер в молекулах і обертанням молекул, а також впливом маси і структури атомних ядер на положення енергетичних рівнів, крім того вони залежать від взаємодії атомів і молекул з навколишнім середовищем.

Метою роботи є опис реалізації методу фотоелектричного спектрального аналізу на установці LECO GDS 500, а саме таких переваг, як точність, економічність та відсутність впливу самого аналізу на фізико-механічні властивості досліджуваних зразків.

Метод **Glow Discharge-Optical Emission Spectrometry** (GD-OES) заснований на збудженні атомів елементів сталі електричним розрядом, подальшому розкладанні випромінювання в спектр, вимірі аналітичних сигналів, пропорційних інтенсивності або логарифму інтенсивності спектральних ліній, і наступному визначенні масових часток елементів за допомогою градуйованих характеристик.

ЕФЕКТИ САМООРГАНІЗАЦІЇ РАДІАЦІЙНИХ ДЕФЕКТІВ У КРЕМНІІ, ОПРОМІНЕНОМУ НЕЙТРОНАМИ

А. А. Гроза¹, В. І. Варніна¹, П. Г. Литовченко¹, Л. С. Марченко¹,
Л. О. Матвєєва², П. Л. Нєлюба², М. Б. Пінковська¹,
М. І. Старчик¹, Г. Г. Шматко¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

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

Наші дослідження опроміненого нейтронами кремнію методом інфрачервоної спектроскопії показали існування двох типів областей розупорядкування (вакансійного і міжвузловинного). Метою даної роботи є отримання додаткових даних про фізичні процеси, які відбуваються в кремнії при опроміненні та відпалі, застосовуючи метод електровідбивання світла (ЕВ).

В спектрі кремнію, опроміненого нейтронами флюенсом 10^{18} см^{-2} і невідпаленому, виявлено два максимуми сигналу електровідбивання в спектральній області прямого електронного переходу E_g при 3,325 та 3,404 еВ. Факт появи розщеплення сигналу електровідбивання ($\Delta E_g = 80 \text{ мєВ}$) прямого електронного переходу E_g не тільки підтверджує існування в опроміненому кремнії двох типів областей розупорядкування, але й наочно ілюструє ефект самоорганізації власних радіаційних дефектів, який в наших дослідженнях кремнію, опроміненого високоенергетичними легкими іонами, проявлявся у вигляді надгратки "стінок дефектів", розташованих перпендикулярно напрямку опромінення.

В спектрі електровідбивання зразка кремнію, опроміненого $\Phi = 10^{18} \text{ см}^{-2}$, з'являлись високоенергетичні осциляції, які зазвичай спостерігаються в ефекті Франца - Келдиша при наявності вбудованого електричного поля і свідчать про існування в ньому локальних електричних полів. В спектрах електровідбивання відпалених зразків, неопроміненого і опроміненого, також з'являлись високоенергетичні осциляції, зумовлені внутрішнім ефектом Франца - Келдиша.

Встановлено умови виникнення ефекту Франца - Келдиша та квантово-розмірного ефекту залежно від обробки зразків (нейтронне опромінення, термічний відпал та хімічне травлення).

Ці ефекти знаходять пояснення в межах синергетичного підходу і є важливими при побудові сучасної теорії взаємодії високоенергетичного опромінення з речовиною.

ПРО ДЕЯКІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ, ЯКІ ВИЯВЛЯЮТЬСЯ МЕТОДАМИ НЕЙТРОННОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ І РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ

М. В. Курик¹, Л. С. Марценюк²

¹Інститут фізики НАН України, Київ

²Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Поведінка води в надмалих об'ємах, стінки яких не змочуються водою, дуже цікавить фахівців в різних галузях - від геологів і біологів до розробників нових матеріалів. Найбільш незвичні властивості, як впливає з [1, 2], має вода, яка вміщена у вуглецеві нанотрубки розміром 1,4 нм в поперечнику і довжиною 10 тис. нм. Дослідження поведінки води, як в нанотрубках, так і в пористих матеріалах проводились групою Колесникова (лабораторія Арізони) методами нейтронної спектроскопії [1, 2].

Виявилось, що вода в нанотрубках знаходиться в новому стані, не схожому ні на рідке, ні на газоподібне агрегатні стани. Скоротилася середня кількість водневих зв'язків, що зв'язують молекулу води з сусідніми (так зване координатне число) з 3,8 до 1,86. Внаслідок цього підвищилася рухливість молекул. «Нова вода» не замерзає навіть при температурі, що всього на вісім градусів відрізняється від абсолютного нуля. Середньоквадратичні відхилення атомів водню в нанотрубковій воді при температурі

8 К в чотири рази перевищують ці значення для льоду і делокалізація атомів водню складає близько 0.2 Å; не фіксується для такої води методами нейтронної спектроскопії наявність ковалентних зв'язків. Незвичайно високу рухливість виявляє також вода в пористих матеріалах.

З позиції отриманих даних виявляється можливим осмислити процеси, що приводять до виникнення ефекту індукції надпровідності в матеріалах $\text{FeTe}_{0,8}\text{S}_{0,2}$ і SrFe_2As_2 [3, 4]. У них, як впливає з [3, 4], дифундована вода

утворює одиничні шари між основними шарами матеріалів.

Зміни властивостей цих матеріалів при дифузії в них води досліджувалися методами рентгеноструктурного аналізу і автори, що аналізували ці зміни, не змогли однозначно встановити причину виявленого ними ефекту.

На підставі аналізу експериментальних результатів згаданих вище робіт, а також теоретичних розробок Е. Препарата [5] по конденсації води (з позиції квантової електродинаміки) пропонується модель, що описує процеси індукування водою надпровідності в з'єднаннях $\text{FeTe}_{0,8}\text{S}_{0,2}$ і SrFe_2As_2 . Вказується на деяку аналогію процесів, що приводять до переходу в стан надпровідності в цих з'єднаннях, і процесів в живих організмах [6].

1. *Kolesnikov A.I. et al. Neutron Spectroscopy of Water in Carbon Nanotubes // Phys. Rev. Lett. - 2004. - Vol. 93. - P. 035503.*
2. *Kolesnikov A.I. et al. Anomalous Behavior of Proton Zero Point Motion in Water Confined in Carbon Nanotubes // Phys. Rev. Lett. - 2006. - Vol. 97. - P. 247801.*
3. *Hidenori Hiramatsu, Takayoshi Katase, Toshio Kamiya et al. Water-induced superconductivity in SrFe_2As_2 // Phys. Rev. - 2009. - Vol. B80. - P. 052501.*
4. *Mizuguchi Y., Deguchi K., Tsuda S. et al. PhyMoisture-induced superconductivity in $\text{FeTe}_{0,8}\text{S}_{0,2}$ // Phys. Rev. - 2010. - Vol. B81. - P. 214510.*
5. *Preparata G. QED Coherence in Condensed Water. - Singapore: World Sci., 1995. - 236 p.*
6. *Курик М.В., Марценюк Л.С. Фізичні основи життя. LAP LAMBERT. - Germany: Academic Publishing. 2012. - 174 с.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

В. В. Михайловский

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Углеродные нанотрубки - протяженные частицы цилиндрической формы, образованные из одного или нескольких графитовых слоев. Они отличаются широким разнообразием физико-химических свойств и сочетают в себе свойства молекул и твердого тела. Возможность использования углеродных нанотрубок в качестве прочных и жестких элементов наноэлектромеханических систем, в которых может быть реализовано управляемое движение нанообъектов, является мощным стимулом для исследований в этой области.

В работе приведены результаты моделирования сжатия и растяжения однослойных нанотрубок. Показаны структурные изменения нанотрубок при деформации, показан разрыв нанотрубки. Моделирование проведено методом молекулярной динамики, ковалентные связи описываются потенциалом Терзофа.

Также приведены результаты моделирования двухслойных нанотрубок. Показаны колебания под действием ван-дер-ваальсовых сил между слоями графита. Рассмотрен случай вращения одного из слоев и передачи вращательного момента от одного слоя к другому. Показано, что передача вращательного момента происходит медленнее, чем колебания нанотрубок, а наличие вращения уменьшает скорость затухания колебаний.

ВПЛИВ РАДІАЦІЙНИХ ДЕФЕКТІВ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОСФІДО-ГАЛІЄВИХ СВІТЛОДІОДІВ

**О. І. Власенко, В. П. Велещук, П. Г. Литовченко, Є. В. Малий,
І. В. Петренко, М. Б. Пінковська, В. П. Таргачник**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Для в'яснення можливості покращення експлуатаційних параметрів промислових фосфідо-галієвих світлодіодів з допомогою радіації вивчався вплив швидких електронів на електричні характеристики приладів. Досліджувались АЛ 102 зелені р-п-структури, вирощені методом подвійної рідинної епітаксії на підкладинці, одержаній методом Чохральського. Опромінення електронами з $E = 2 \text{ MeV}$ проводилося на прискорювачі трансформаторного типу при температурі не вищій кімнатної.

Спектри електролюмінесценції вимірювалися спектрометром МДР-23 при 300К, свічення мікоплазм реєструвалося фотокамерою Canon Power Shot A480.

Виявлено, що опромінення електронами $\Phi = 2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ до $5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ зелених фосфідо-галієвих світлодіодів призводить до зменшення ємності р-п-переходу, зворотних струмів, зростання зворотних напруг та падіння інтенсивності свічення мікоплазм (МП). Спостерігається звуження площ МП; межі зон їхнього свічення стають розмитішими, дрібні МП зникають повністю. Насамперед гаснуть центри точкового свічення поблизу великих яскравих плям. Области свічення великої площі можуть розщеплюватись на дрібніші. Очевидно, що у неопроміненому зразку МП великих розмірів є наслідком висвічування близько розташованих шнурів струму. Зростання дози опромінення $\Phi = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ приводить до зменшення числа, переважно дрібних МП, зменшується також площа великих областей.

ТРИВИМІРНА ПОЛІМЕРНА ФАНТОМНА ДОЗИМЕТРІЯ

О. Ч. Туренок¹, О. В. Дяченко¹, М. Є. Альохіна², О. А. Безшийко²,
Л. О. Голінка-Безшийко², І. М. Каденко²

¹ Концерн «Сакура», Київ

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Терапія з використанням іонізуючого випромінювання – важлива ланка лікувального процесу при онкологічних захворюваннях. Точне визначення отриманої пацієнтом дози при променевої терапії є не тільки бажаним, але і обов'язковим елементом контролю якості процедури та забезпечення її максимальної ефективності. Важливо не тільки довести до ракової пухлини величину дози, яка гарантовано стерилізує цю зону, але при цьому мінімально опромінити здорові тканини. Для розробки таких ефективних методик необхідно попередньо відпрацювати їх на фантомах. Також такі фантоми можуть бути ефективними для контролю стабільності роботи систем опромінення з часом. Для отримання повної картини розподілу дози необхідно використовувати тривимірні фантоми - в об'ємі яких формуються неоднорідності, пропорційні величині доведеної дози. За останні роки використання 3D фантомів для визначення дози при променевої терапії розвивається швидкими темпами, з'являються нові види таких дозиметрів.

У роботі зроблено спробу провести критичний огляд сучасного стану систем тривимірної дозиметрії, розглядаються і порівнюються їх переваги, недоліки, технологічні особливості. Розглядаються різні системи – від вже класичних феросульфатних дозиметрів (Фріке) до добре відомих, але ще не в повній мірі досліджених полімеризаційних дозиметрів та достатньо нових радіохромних твердотільних ланцюгових тривимірних дозиметрів.

ФОРМУВАННЯ ВПОРЯДКОВАНОЇ ДЕФЕКТНОЇ СТРУКТУРИ В МОНОКРИСТАЛІЧНОМУ КРЕМНІІ, ОПРОМІНЕНОМУ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПРОТОНАМИ І АЛЬФА-ЧАСТИНКАМИ

В. І. Варніна, А. А. Гроза, П. Г. Литовченко, Л. С. Марченко,
М. І. Старчик, Г. Г. Шматко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Оптичними і рентгеноструктурними методами досліджена дефектна структура кремнію, опроміненого флюенсами $1 \div 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ протонів ($E_p = 6,8 \text{ MeV}$) і α -частинок ($E_\alpha = 27,4 \text{ MeV}$).

Встановлений граничний флюенс зміни структури дефектів із-за їх великої концентрації і взаємодії, що приводить до впорядкування і самоорганізації дефектів. Обговорюються можливі механізми цих процесів.

ЗМІНА СОРБЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНІ НЕОРГАНІЧНИХ СОРБЕНТІВ ПІД ДІЄЮ Г-КВАНТІВ РІЗНИХ ЕНЕРГІЙ

**Г. В. Васильсва¹, І. І. Гайсак¹, А. П. Осипенко¹,
В. І. Яковлєв², Ю. М. Килівник²**

¹ *Ужгородський національний університет,
кафедра теоретичної фізики, Ужгород*

² *Інститут сорбції і проблем ендоекології НАН України, Київ*

Експериментально досліджено вплив опромінення гамма-квантами ($E_{\text{max}} = 24\text{Мев}$) на властивості поверхні неорганічних сорбентів. З цією метою було використано Бетатрон Б-25, встановлений на Кафедрі теоретичної фізики Ужгородського національного університету. Сорбенти - фосфат титана та цирконій силікат, є синтетичними аморфними матеріалами із добре розвиненою поверхнею (близько $290\text{м}^2/\text{г}$), синтезовані в Інституті сорбції і проблем ендоекології, Київ. Контролювали такі характеристики сорбентів, як питома поверхня, об'єм пор та їх радіус.

Встановлено, що при опроміненні змінюються усі вказані параметри фосфату титану та цирконій силікату. Досліджено процес сорбції іонів барію вказаними сорбентами до та після опромінення. Показано, що сорбційна здатність досліджуваних матеріалів відносно іонів барію після опромінення знижується.

ПРОБЛЕМИ ОПТИМІЗАЦІЇ ОПРОМІНЮВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБІВ

**Т. В. Ковалінська, І. А. Остапенко, В. І. Сахно,
А. Г. Зелінський, Н. В. Халова**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Аналізуються різні методи промислового опромінювання матеріалів та виробів. Наводяться характеристики традиційних структур систем випуску пучка на промисловій радіаційній техніці. Зазвичай вони базуються на принципах випуску пучка електронів через вікно з металеві фоліги. Запобігання руйнування фоліги пучком забезпечується сканування його по поверхні випускного вікна магнітним полем. Для радіаційної установки ІЯД НАНУ зроблено і використовується оригінальний метод промислового опромінювання матеріалів і виробів.

Наведена технологічна схема опромінювання, що включає усі складові процесу - формування радіаційного поля, транспортування виробів на опромінення, стабілізація і отримання необхідних поглинутих доз випромінювання. Обґрунтовуються технічні і економічні переваги цього методу радіаційної

обробки. Аналізуються найближчі перспективні напрямки розвитку нових промислових технологій опромінення, в першу чергу удосконалення електронних автоматизованих систем технологічної дозиметрії.

Обговорюються реально досягнуті результати технологічного опромінювання за новими методами різноманітних промислових виробів, отримані на установці ІЯД НАНУ. Показано, що запропонований метод радіаційної обробки надає можливості здійснення методик опромінення з високою точністю навіть у таких напрямках, як радіаційних технологіях харчових продуктів, фармацевтичних засобів, медицині.

ПРОБЛЕМИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОЗИМЕТРІЇ РАДІАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

**Т. В. Ковалінська¹, А. Г. Зелінський¹, В. І. Сахно¹,
І. А. Остапенко¹, Н. В. Халова¹, В. В. Шлапацька²**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Державне підприємство "РАДМА"*

Інституту фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України, Київ

Розглядаються шляхи вирішення проблем метрології опромінювання та поширення опромінених матеріалів при радіаційних технологіях. Аналізуються вимоги до цих заходів у різних галузях промислового виробництва та перспективних напрямках їх розвитку. Розглянуто традиційні методи дозиметрії промислових процесів. Обговорюються існуючі проблеми метрології опромінення на технологічних промислових лініях реального виробництва. Обговорюються перспективні шляхи удосконалення метрології опромінення промислових виробів. Запропоновано і обґрунтовано нову структуру технічних засобів для їх реалізації.

Пропонується поєднати електронні методики дозиметрії та удосконалити традиційні методи візуального контролю за опроміненням хімічними дозиметрами-свідками. Обговорюються шляхи удосконалення електронних методів дозиметрії для різних типів промислової радіаційної техніки. Показані проблеми електронної дозиметрії на імпульсних пучках електронів великої потужності. Визначено шляхи створення оперативних методів по типу дозиметрів-свідків опромінювання промислових виробів та можливості удосконалення засобів хімічної дозиметрії.

Наводяться конструкції технічних засобів електронної дозиметрії, розроблені і випробувані на радіаційній установці ІЯД НАНУ. Обговорюються результати їх випробувань та експлуатації. Наведено оригінальні способи та результати нетрадиційного використання хімічних дозиметрів-свідків для технологічних вимірювань.

ІСТОРІЯ, СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РАДІАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ІЯД НАН УКРАЇНИ

І. М. Вишневський, Т. В. Ковалінська, В. І. Сахно

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Обговорюється широке коло досліджень, що є традиційними для ІЯД НАНУ і мають на меті залучення ядерної енергії для практичних цілей. Наведено найбільш вагомні результати прикладних досліджень, здійснені на потужному експериментальному комплексі Інституту, який включає атомний дослідницький реактор, циклотрон У-120, самий крупний в Європі універсальний ізохронний циклотрон У-240, прецизійний тандем-генератор ЕГП10. Ці ядерно-фізичні установки, є не тільки єдиними в Україні, але поки що і унікальними і для європейської ядерної науки в області низьких і середніх енергій. На цій технічній базі вже з 50-х років минулого століття традиційно проводяться дослідження і розробки радіаційних технологій для промислового використання. Вони охоплюють 5 основних напрямків:

- радіаційні технології для сільського господарства;
- радіаційні технології для медицини;
- радіаційні технології напівпровідників;
- радіаційні технології для харчової промисловості;
- радіаційні технології для промислової індустрії.

Уже в 60-х роках було створено ряд оригінальних прикладних технологій.

У доповіді наведено розробки 60 - 90-х років методів нейтронної терапії та оригінальних методів селекції зернових на У-120, розробки тритієвих аеропонних генераторів та досвід їх випробування на Семиполковській птахофабриці і інших промислових підприємствах, прикладні дослідження з радіаційного легування кремнію для виробництва силових вентилів тягових підстанцій та розробки технологій радофармізотопів на У-240, радіаційні технології безвідходної перероби гідробіонтів в обсязі Національної морської програми України. Розглядається сучасні етап досліджень і розробок радіаційних технологій в індустрії комбікормів для тваринництва, пікохвильові технології пастеризації харчових продуктів, нові типи ядерних наномембран, оригінальні радіаційні технології нових матеріалів (гума, бетон, асфальт).

КОНФИГУРАЦИОННЫЕ ПЕРЕХОДЫ ДИВАКАНСИЙ В КРЕМНИИ И ГЕРМАНИИ

А. П. Долголенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Облучение ядерными частицами является эффективным методом исследования в физике твердого тела. К настоящему времени стала очевидна необходимость уточнения электронных уровней дивакансии в запрещенной зоне

кремния. Высокоомные образцы п, р - Si, выращенные методом бестигельной зонной плавки были облучены быстрыми нейтронами реактора при $T = 320$ К. Измерение проводимости и постоянной Холла были выполнены методом Van der Pauw до и после изохронного отжига в температурном интервале $(150 \div 600)$ °С в течении 30 - 60 мин. Теоретический расчет энергетического положения в запрещенной зоне кремния радиационных дефектов и их концентраций выполнен обычным методом [1]. Результаты эксперимента и расчетные кривые после некоторых температур изохронного отжига представлены на рисунках. В области температур $(230 \div 250)$ К дивакансии меняют конфигурацию: экспериментальные значения лежат выше теоретической кривой. Дырки не успели захватиться на уровень $E_V + 0.365$, а на уровень $E_V + 0.21$ эВ еще рано. При малых флюенсах облучения высокоомного кремния дивакансии после изохронного отжига $(200 - 325)$ °С переходят из первой во вторую конфигурацию даже при комнатной температуре. Приведены примеры конфигурационных переходов не только в кремнии, но и в $Si_{0.5}Ge_{0.5}$ [2]. Так медленные центры с активационным сечением захвата электрона на уровень $E_c - 0.17$ эВ является конфигурационным переходом дивакансии с уровня $E_c - 0.261$ эВ. Отсутствие непрерывности, когда $V_2(-/0)$ в SiGe после пересечения середины запрещенной зоны, наблюдался разрыв $\sim 0,07$ эВ как раз и связан с конфигурационным переходом дивакансии из Q_1 конфигурации в Q_2 .

Энергетическое положение уровней дивакансии в различном зарядовом состоянии в кремнии в зависимости от атомной конфигурации

Атомная конфигурация	$E_c - E_a$, эВ		$E_V + E_d$, эВ		ΔE , эВ
	$=/-$	$-/0$	$0/+$	$0/0$	
D_{3d}	0.261	0.426	0.365	0.53	0.165
C_{2h}	0.17	0.42	0.20	0.45	0.25

Нейтральный уровень дивакансии $E_V + 0.45$ эВ во второй конфигурационной яме подвержен реакции перезарядки $VV^0 \rightarrow VV^- + VV^+$, т.е. выступает как обычный рекомбинационный центр, который при температуре выше комнатной захватывает электроны, а ниже - дырки. Уровни различных зарядовых состояний дивакансии в кремнии в зависимости от конфигурации Q_1 и Q_2 представлены в таблице. Расчет методом молекулярных орбиталей [3] полностью подтвердил представление о двухъямном потенциале дивакансии в кремнии в нейтральном и заряженных состояниях. Рост концентрации дырок в валентной зоне кремни при отжиге связан с акцепторным уровнем, возможно, с гексовакансией [4].

1. *Dolgolenko A.P.* // Phys. Stat. Sol. (a). - 2000. - Vol. 179. - P. 179.
2. *Larsen A. Nylandsted, Hansen A. Bro, Mesli A.* // Mater. Sci. Eng. - 2008. - Vol. B154 - 155. - P. 85 - 89.
3. *Моливер С.С.* // ФТТ. - 1999. - Т. 44(3). - С. 404.
4. *Долголенко А.П.* // ВАНТ. - 2012. - Т. 5(81). - С. 13 - 20.

ЭЛЕКТРОННЫЕ УРОВНИ КОНФИГУРАЦИЙ ДИВАКАНСИЙ В ГЕРМАНИИ

А. П. Долголенко

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Облучение ядерными частицами является эффективным методом исследования в физике твердого тела. К настоящему времени стала очевидна необходимость уточнения электронных уровней дивакансии в запрещенной зоне не только в кремнии, но и в германии. Расчет методом молекулярных орбиталей [1] полностью подтвердил представление о двухъямном потенциале дивакансии в кремнии в нейтральном и заряженных состояниях. Известно, что при больших дозах облучения быстрыми нейтронами реактора уровень Ферми близок к середине запрещенной зоны кремния и расположен на нейтральном уровне дивакансий в первой конфигурации с сильной дисторсией [2]. Облучение монокристаллического германия р-типа большими дозами γ -квантов ^{60}Co и быстрыми нейтронами реакторного спектра показало, что предельное положение уровня Ферми изменилось от $\sim E_v + 0,24$ эВ до $E_v + 0,125$ эВ соответственно. Получение толстослойных релаксированных кристаллов $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ [3] позволило определить энергетические уровни дивакансий и других дефектов в запрещенной зоне в зависимости от концентрации Ge в Si n-, p-типа. В работе [4] экспериментально показано, что с увеличением концентрации германия в кремнии уровни радиационных дефектов как акцепторные так и донорные понижают свою энергию в запрещенной зоне (ΔE). Энергия Hubbard между уровнями дивакансии $V_2(=/-)$ и $V_2(-/0)$ при увеличении концентрации германия в кремнии сохраняется $\approx 0,2$ эВ. Дивакансия в отрицательно-заряженном состоянии в верхней половине запрещенной зоны $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($x < 0,25$) привлекательна для захвата электрона, а в нижней половине запрещенной зоны ($x > 0,25$) привлекательна для захвата дырки. Наблюдалось отсутствие непрерывности $\sim 0,07$ эВ в положении $V_2(-/0)$ уровня дивакансии, когда он пересекает середину запрещенной зоны. Наблюдаемый разрыв $\sim 0,07$ эВ как раз и связан с конфигурационным переходом дивакансии из Q_1 конфигурации в Q_2 . Зная положение уровней радиационных дефектов в запрещенной зоне в $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($x = 0,5$) были определены их положения в германии. Из таблицы видно, что у радиационных дефектов в Ge отсутствуют донорные уровни, а энергия Hubbard у дефектов такая же как и в Si. Уровень дивакансии $V_2(-/0)$ в Q_1 конфигурации $E_v + 0,085$ эВ определяет концентрацию дырок в валентной зоне p-Ge $2,2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и положение уровня Ферми $E_v + 0,125$ эВ в кластерах дефектов, созданных быстрыми нейтронами в Ge. Концентрация дефектов $\sim 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ в кластерах образуют примесную зону около валентной зоны шириной 0,08 эВ.

К настоящему времени стала очевидна необходимость экспериментально уточнить электронные уровни дивакансий, А – центров, Е – центров в запрещенной зоне германия.

$V_2(Q_1)$, эВ	$V_2(Q_2)$, эВ	PV, эВ	VO ₁ , эВ	VOI _{Ge} , эВ	I _{Ge} , эВ	I _{Ge} , эВ	V, эВ	Зарядовое состояние
Ev+0.25	Ec-0.30	Ec-0.37			Ev+0.13	Ec-0.30	Ec-0.27	≡/-
Ev+0.085	Ev+0.11	Ev+0.10	Ec-0.20	Ec-0.23		Ev+0.20	Ev+0.06	-/0
0.17	0.13	0.105	0.025	0.025	0.18*	0.15*	0.18*	ΔE, эВ
0.165	0.25	0.195				0.165	0.33	E _H , эВ

* отсутствуют надежные значения.

1. *Моливер С.С.* // ФТТ. - 1999. - Т. 44(3). - С. 404.
2. *Долголенко А.П.* // ВАНТ. - 2012. - Т. 5(81). - С. 13 - 20.
3. *Larsen Arne Nylandsted, Mesli Abdelmadjid* // Physica. - 2007. - Vol. B401 - 402. - P. 85 - 90.
4. *Larsen A. Nylandsted, Hansen A. Bro, Mesli A.* // Mater. Sci. Eng. - 2008. - Vol. B154 - 155. - P. 85 - 89.

НОВІ ЯДЕРНІ МЕМБРАНИ

**А. Є. Борзаковський¹, К. Г. Гусакова², А. Г. Зелінський¹,
В. І. Сахно¹, О. М. Файнлейб²**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, Київ*

Обговорюється створена фахівцями НАН України (ІЯД та ІХВМС) технологія наноматеріалів для ядерних мембран нового покоління. Такі мембрани створені на основі новітніх полімерних сполук, розроблених в Україні і захищених патентами. Технічні характеристики цих органічних матеріалів суттєво перевищують попередні покоління мембран (лавсан, тефлон) і дозволяють створювати промислові та побутові мікрофільтруючі системи підвищеної надійності. Технології виготовлення мембран базуються на традиційних трекових методах формування нанодфектів, їх сенсibiliзації та хімічному травленні. Але, на відміну від попередніх методів опромінювання важкими іонами чи осколками поділу трансуранових елементів, використовуються більш доступні види радіаційної обробки.

Обговорюється розроблена і випробувана радіаційна технологія наномембран, за якою для утворення треків поліціануритові плівки завтовшки 30 - 50 мкм опромінюється α-частинками 12 МеВ на циклотроні У-120, а сенсibiliзація опромінених зразків здійснюється гальмівними гама-квантами з широким енергетичним спектром. Нова технологія створює перспективу успіш-

ного подальшого виробництва наномембран на існуючій в ІЯД НАН України та ІХВМС НАН України технічній базі і не потребуватиме залучення дорогих і відносно дефіцитних джерел важких іонів.

Обговорюються результати випробувань нової технології та отримані характеристики ядерних наномембран з поліціануритів.

Тези доповідей з теорії ядерного синтезу та фізики плазми

ХОЛЛІВСЬКИЙ МЕХАНІЗМ ГЕНЕРАЦІЇ ОБЕРТАННЯ ПЛАЗМИ В ПЛАЗМІ z-ПІНЧА

А. А. Гурін

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

На основі дворідинного розширення МГД теорії, що враховує ефект Холла, розвинуто теорію гвинтових коливань циліндричного z-пінча з довільними розподілами компонент магнітного поля, $B_\theta(r)$ та $B_z(r)$, й течії плазми, $V_\theta(r)$ та $V_z(r)$, які задовольняють умові рівноваги плазми, створюваної й підтримуваної довільним струмом. В наближенні холодної ідеальної плазми, яке дає можливість розглянути ефекти надтеплого обертання плазми, одержано рівняння другого порядку для величини електронного зміщення, яке узагальнює класичну крайову задачу Хайна - Люста [1] без обертання, та [2] – з обертанням стандартної МГД теорії. З метою визначення радіальних розподілів $V_\theta(r)$, $V_z(r)$ досліджено рівняння азимутальної й повздожньої рівноваги плазми, усередненні по коливанням усіх МГД величин, обчислюючи квадратичні по амплітудам складові, нехтуючи радіальним переносом та зіткненнями в плазмі. Показано, що в цьому наближенні саме врахування холлівських ефектів робить умови нерадіальної рівноваги змістовними, й дозволяє визначити середні величини гідродинамічних швидкостей в межах кожної магнітної поверхні через співвідношення величин $\langle \delta B_r(r) \delta B_{\theta,z}(r) \rangle$ та $\langle \delta V_r(r) \delta V_{\theta,z}(r) \rangle$. Обчислення зроблені на прикладі кінків пінча з малим запасом стійкості, $q \ll 1$, й не занадто високих значень холлівського параметра $\Pi = (\omega_{ci}/\omega_A)^2 = 40 \div 50$, характерних для сучасних пінчів з оберненим полем в “квазіодномодовому” стані коливань. Методом стрільби визначено нестійкі кінк-моди в нерухомій плазмі, які для даних величини Π характеризуються низькими в альфвенівській шкалі частотами. Рівняння балансу сил дають основу для визначення швидкості течії плазми, за умови якої стабілізується обертання плазми. Досліджено особливості локалізації швидкості течії плазми для резонансних “внутрішніх” мод. Запропоновано квазілінійну холлівську ідеальну МГД модель, яка ілюструє “spin-up” процес та стабілізацію плазми її власним, генерованим коливаннями обертанням, через вплив радіальних розподілів $V_\theta(r)$, $V_z(r)$ на дисперсію глобальних мод.

1. Hain K., Lust R. // Z. Naturforsch. - 1958. - Vol. 13a. - P. 936.
2. Wang C., Blockland J.W.S., Keppens R.K., Goedbloed J.P. // J Plasma Phys. - 2004. - Vol. 70. - P. 651.

ПОГЛИНАННЯ ВЧ-ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В ГЕЛІКОНОВОМУ ПЛАЗМОВОМУ ДЖЕРЕЛІ ІОНІВ В УМОВАХ НИЖНЄГІБРИДНОГО РЕЗОНАНСУ

О. В. Алексенко, В. І. Мирошніченко, С. Н. Мордик

Інститут прикладної фізики НАН України, Суми

Проведені чисельні оцінки оптимального поглинання потужності ВЧ – електромагнітного поля в приосевій області розрядної камери геліконового джерела для певних геометричних розмірів розрядної камери та збуджуючої антени, типу збудженої моди, тиску робочого газу. Зроблено оцінку інтегральної поглинальної потужності, просторового розподілу поглинання потужності при резонансі, максимально можливого іонного струму. Для розрахунків обрано параметри джерела іонів, що використовується як інжектор ядерного мікрозонду ПФ НАН України.

Вважається, що циліндричне джерело плазми знаходиться в зовнішньому поздовжньому однорідному магнітному полі. Збудження електромагнітних хвиль у джерелі відбувається поперек зовнішнього магнітного поля. Робоча частота ω збуджуючої антени дорівнює $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ (*рад/сек*), $f = 27,12 \text{ МГц}$, та задовольняє діапазону $\omega_{ci} < \omega < \omega_{ce} < \omega_{pe}$, при цьому $\omega < \omega_{LH}$.

МЕХАНІЗМ ПРИСКОРЕННЯ ГЕЛІКОННОЇ ПЛАЗМИ ПОНДЕРОМОТОРНИМИ СИЛАМИ, ЩО ГЕНЕРУЮТЬСЯ ПОЛЯМИ ГІБРИДНИХ МОД

М. А. Бєлошенко¹, К. П. Шамрай¹, Ш. Шінохара²

¹Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

²Токійський університет сільського господарства і технологій, Токіо, Японія

Запропоновано і теоретично проаналізовано новий механізм прискорення геліконної плазми, основою якого є пондеромоторні сили, що продукуються полями специфічних гібридних мод неоднорідного плазмового циліндру. Ці моди сформовані зв'язаними геліконними і квазіпотенціальними (Трайвеллпс-Гулдівськими, ТГ) хвилями і, на відміну від звичайних геліконних мод з приосевою локалізацією, локалізовані в периферійній області плазмового стовпа, між його краєм і поверхнею взаємної трансформації геліконів і ТГ хвиль. Найнижчі радіальні гібридні моди слабо загасають і можуть поширюватись вздовж плазмового стовпа, формуючи дальнє поле антени. Такі найнижчі моди мають сильні ВЧ поля, значно більші за поля звичайних геліконних мод, завдяки присутності потенціальної складової та ефекту поляризації не-

однорідної плазми. При достатньо високих амплітудах полів генеровані ними пондеромоторні сили здатні прискорювати плазму в напрямку поширення моди завдяки двом ефектам. Перший з них зобов'язаний прямій дії поздовжньої компоненти пондеромоторної сили. Інший ефект виникає в певному діапазоні параметрів завдяки компресії плазмового стовпа поперечною складовою пондеромоторної сили, наслідком чого в розбіжному магнітному полі є прискорення плазми в поздовжньому напрямку. Ефекти прискорення були проаналізовані для геометричних і фізичних параметрів, придатних для розробки плазмового двигуна з тягою в мН діапазоні.

ГАЗОДИНАМІЧНЕ І ХІМІЧНЕ КЕРУВАННЯ РІВНЕМ НЕІЗОТЕРМІЧНОСТІ ПЛАЗМИ ПОПЕРЕЧНОЇ ДУГИ

**В. Я. Черняк, І. В. Присяжнєвич, В. В. Юхименко,
О. А. Недибалюк, Є. В. Мартиш, Т. Є. Лиситченко**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
радіофізичний факультет, Київ*

Виходячи з енерговитратності процесу конверсії вуглеводневих палив найбільш прийнятним напрямком можна вважати підтримуване плазмою часткове окислення палив. Але при цьому не можна виключати процеси не тільки ендотермічні, але й екзотермічні, пов'язані з стимулюванням плазмою повного спалення частини палива. Питання реального впливу енерговиділення при хімічних процесах на рівень нерівноважності плазми практично не досліджене, хоча й піднімалось Л.С. Полаком вже в перших роботах з нерівноважної плазмохімії [1]. Без відповіді на дане питання сьогодні не можна будувати ефективні великомасштабні плазмові технології риформінгу вуглеводневих палив в синтез-газ.

В дослідженнях даного напрямку були використані газові розряди атмосферного тиску з найвищим на сьогодні рівнем нерівноважності плазми, а саме: електрична дуга, що обдувається поперечним потоком газу (повітря, суміш повітря + етанол) і електричний розряд в повітряному каналі з рідкою паливною стінкою.

Виявлено ефективні механізми керування рівнем нерівноважності плазми електричних розрядів: зменшення рівня за рахунок стимульованого плазмою багатоканального екзотермічного процесу повного окислення етилового спирту в умовах сильно збідненої паливної суміші (етиловий спирт / повітря ~ 1/33), коли спирт є незначною домішкою до вихідного плазмоутворюючого газу, і збільшення рівня за рахунок поперечного газового обдуву плазмового стовпа.

Так експериментальні дослідження плазми поперечного дугового розряду показали, що введення додаткової енергії за рахунок спалення в розряд приводить тільки до підвищення кінетичної температури і температури заселен-

ня обертальних рівнів при відносному внеску в розряд енергії від спалення $\geq 10\%$. У межах похибок вимірювань температур заселення внутрішніх станів нейтральних частинок плазми ніякого впливу на температури заселення кovalьних і електронних рівнів при цьому не помічено.

Для плазмово-рідинної системи з розрядом в повітряному каналі з рідкою паливною стінкою виявлено, що в плазмі швидкість процесів реформування палива в синтез-газ та легкі вуглеводні суттєво перевищує швидкість спалення, що забезпечує високу ефективність реформування в плазмі такого розряду на рівні комплексних систем (плазма + високотемпературний піроліз). У той же час при наявності палива в рідині плазма стає ізотермічною за рахунок додаткового підведення хімічної енергії до важкої компоненти плазми за рахунок повного спалення частини палива і переважного збільшення саме газокінетичної температури нейтральної компоненти.

Робота була зроблена за часткової підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень, Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Національної академії наук України, Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

1. *Полак Л.С.* Плазмохимическая кинетика // Очерки физики и химии низкотемпературной плазмы. – М.: Наука, 1971. – С. 302 - 387.

АЛЬФВЕНІВ КОНТИНУУМ ТА КОНТИНУУМ ГЕОДЕЗИЧНОЇ АКУСТИЧНОЇ МОДИ У ТОКАМАКАХ З ВИСОКИМ ТИСКОМ ПЛАЗМИ

О. П. Фесенюк, Я. І. Колесниченко, Ю. В. Яковенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Встановлено, що властивості спектру альфвенових коливань у токамаках докорінно змінюються при підвищенні тиску плазми та коефіцієнту безпеки токамаку. Зокрема, показано, що загальноновживані вирази для частоти геодезичної акустичної моди та характерних частот щільні континууму є справедливими лише при дуже малому тиску плазми. Отримано узагальнені вирази для цих частот. Знайдено, що альфвенів континуум у центральній області плазми токамаків з порожнистим профілем струму та сферичних торів з великим тиском плазми описується рівнянням $\text{Mat}'\epsilon$. З нього випливає, що у цих випадках названі частоти збираються в групи, в кожній з яких вони майже збігаються, внаслідок чого майже весь розглянутий частотний діапазон являє собою щільну континууму.

Названі результати стосовно токамаку з круглим перерізом плазми опубліковано в [1] та було використано у доповіді на запрошення в [2]. Останнім часом здійснено узагальнення цих результатів на випадок токамака з некруглим перерізом, про що дає уявлення таблиця.

Позначення: $\epsilon_{g2} = (\kappa^2 - 1)/(\kappa^2 + 1)$, $\check{\beta} \equiv 2\bar{\beta}/(\kappa^2 + 1)$, $\bar{\beta} \equiv 2\beta_s/[(1 + \beta_s)]$, $\beta_s = c_s^2/v_A^2$, $\mathcal{D}_{GAM} \equiv 1/q^4 + \check{\beta}\epsilon_{g2}(1 + \epsilon_{g2})/q^2 + \check{\beta}^2(1 + \epsilon_{g2})^2/2$, $\mathcal{D}_{TAE} \equiv 2\mathcal{D}_{GAM} - (1 - 3\epsilon_{g2}^2/4)/q^4$.

ω_{GAM}	$\left\{ \frac{2+1/q^2}{1-\epsilon_{g2}^2/2} \left[\check{\beta} \left(1 + \frac{\epsilon_{g2}}{2} \right) + \frac{1}{q^2} - \sqrt{\mathcal{D}_{GAM}} \right] \right\}^{1/2}$
ω_{TAE}	$\left\{ \frac{1}{1-\epsilon_{g2}^2/4} \left[2\check{\beta} \left(1 + \frac{\epsilon_{g2}}{4} \right) + \frac{5}{4q^2} \left(1 + \frac{3}{20}\epsilon_{g2} \right) - \sqrt{\mathcal{D}_{TAE}} \right] \right\}^{1/2}$
$\omega_{EAE}^{lower/upper}$	$\left[\frac{(1 \pm \epsilon_{g2}/2)/q^2 \pm \check{\beta}(1 + \epsilon_{g2})}{1 \mp \epsilon_{g2}/2} - 2\check{\beta} \right]^{1/2}$

1. *Fesenyuk O.P., Kolesnichenko Ya.I., Yakovenko Yu.V.* Plasma Phys. Control. Fusion. - 2012. - Vol. 54. - P. 085014.
2. *Kolesnichenko Ya.I., Yakovenko Yu.V., Fesenyuk O.P.* Invited talk I-06 // Int. Conf.-School on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion (Alushta-2012): Book of Abstracts. - Alushta, 2012. - P. 8.

ДВОЦІЛИННИЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ВТРАТ ШВИДКИХ ІОНІВ У ТОКАМАКАХ-РЕАКТОРАХ

В. Я. Голобородько¹, В. Кіптілий², Ф. Сесіл³

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Калемський науковий центр з керованого синтезу, Калем, Великобританія

³ Школа шахт, Колорадо, США

На багатьох існуючих токамаках (JET (Англія), ASDEX (Німеччина) та ін.) встановлені та ефективно працюють детектори втрачаємих швидких іонів. Серед них слід відзначити сцинтиляційні детектори, що дають інформацію про енергетичні та пітч-кутові розподіли швидких іонів, та Фарадеївські детектори, що дають інформацію про енергетичні спектри втрачаємих іонів. Зважаючи на важливість інформації про утримання швидких іонів в токамаці-реакторі ІТЕР, що споруджується міжнародною спільнотою у м. Кадараш (Франція), постає нагальна необхідність розробки відповідних детекторів швидких іонів для цієї установки. Існуючі детектори не зможуть працювати в умовах плазмового розряду на токамаці ІТЕР, де очікуються потоки швидких іонів та нейтронів на порядок вищі за рекордні величини найкрупнішого на сьогодні токамака-реактора JET (Англія). В даній доповіді представлено проект модернізації одного з встановлених на токамаці JET Фарадеївських детекторів та перетворення його у двоцилінний спектрометр швидких іонів. Представлено також розроблений в ІЯД НАНУ числовий пакет для оптимізації геометрії запропонованого детектора. Показано, що такий детектор може мати задовільну роздільну здатність як по енергіях швидких іонів, так і по їх пітч-кутах. При цьому, такий детектор зможе працювати в жорстких умовах токамака-реактора ІТЕР. Для тестування нового детектора, планується його встановлення на діючому токамаці-реакторі JET у 2013 р.

ФОКУСУВАННЯ ПУЧКІВ ВІД'ЄМНОЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОЮ ПЛАЗМОВОЮ ЛІНЗОЮ ПРОСТОРОВОГО ЗАРЯДУ

А. Гончаров¹, А. Добровольський¹, І. Літовко², В. Гушенец³, Е. Окс³

¹ *Інститут фізики НАН України, Київ*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

³ *Інститут сильнотривової електроніки СВ РАН, Томськ, Росія*

У представлений роботі було побудовано та апробовано фізичну та математичну моделі процесів, що сприяють накопиченню іонної хмари просторового заряду в об'ємі лінзи та впливають на процеси фокусування пучків, що проходять крізь неї. Розроблено чисельну модель процесу створення динамічної хмари об'ємного заряду у електростатичній плазмовій лінзі та фокусування пучків частинок з від'ємним знаком заряду хмарою просторового заряду, що дозволяє розраховувати процес накопичення просторового заряду у плазмовій лінзі та взаємодію створеної хмари просторового заряду з пучком заряджених часток, що проходить крізь апертуру лінзи з урахуванням процесу постійного надходження нових додатних іонів до хмари. Тестові розрахунки показують відповідність одержаних на основі моделі результатів з відомими з літератури, а також з одержаними в експерименті; Отримані результати добре узгоджуються з експериментом.

Чисельний експеримент підтвердив важливість врахування магнітного поля в об'ємі лінзи і критичність його величини для розділення електростатичного та магнітного фокусування та показав важливість дотримання правильного співвідношення між об'ємними зарядами лінзи та пучка, що фокусується. У випадку перевищення об'ємним зарядом пучка такого в лінзі, фокусуєчий режим роботи плазмової лінзи порушується.

Проведено дослідження електростатичних характеристик зразка плазмової лінзи, а також фокусування пучка електронів як малих, так і великих струмів електростатичною плазмовою лінзою. Було встановлено: що плазма хмари об'ємного заряду стабілізує роботу джерела електронів та разом з фокусуєчими можливостями лінзи дозволяє стиснути 100 амперний, широко апертурний (початковий діаметр 6 см) пучок до розміру 1 см. та отримати густину струму пучка більшу за 100 А/см². Експериментально показано можливість побудови плазмової лінзи з динамічним просторовим зарядом, що не має провалу плаваючого потенціалу на вісі лінзи, обумовленого закруткою іонів хмари у магнітному полі лінзи.

ЕНЕРГІЯ СПОРІДНЕНОСТІ ТРИПЛЕТНОГО СТАНУ НЕГАТИВНОГО ІОНА АТОМАРНОГО ВОДНЮ У МЕТОДІ ГІПЕРСФЕРИЧНИХ КООРДИНАТ

І. І. Гайсак¹, М. І. Гайсак^{1,2}, М. М. Пішта¹

¹ *Ужгородський національний університет, Ужгород*

² *Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород*

Наведені результати досліджень енергії спорідненості негативного іона атомарного водню у триплетному стані у рамках адиабатичного підходу методу гіперсферичних координат (ГСК) в одновимірному просторі. Відомо, що для тричастинкових атомних систем важливим є внесок кореляційного руху електронів, який тісно пов'язаний із симетрійними властивостями хвильової функції системи. Наприклад, для атому гелію гамільтоніан системи відрізняється від негативного іона атому водню лише зарядом та масою ядра. Існують зв'язані як синглетні, так і триплетні квантові стани. Наявність триплетного стану у негативного іона атому водню не встановлено, навіть існує точка зору Гіллерасса [1], що його ймовірно зовсім не існує у природі. Однак існування такого стану має важливе значення для фізики та астрономії [2].

Розрахунки, проведені у даній роботі та у попередніх публікаціях [3, 4], показують, що енергія спорідненості для триплетного стану негативного іона атомарного водню приблизно у чотири рази менша за відповідну величину енергії для синглетного стану, яка добре узгоджується із експериментальними даними (~ 0.75 eВ).

1. *Hylleraas E.A. // ApJr. - 1964. - Vol. 9, No. 32. - P. 345.*
2. *Rau A.R.P. // J. Astrophys. Astr. - 1996. - Vol. 17. - P. 113.*
3. *Гайсак М., Чундак М. // Вісник УжНУ. Серія Фізика. - 2009. - Т. 24. - С. 57.*
4. *Гайсак І., Гайсак М., Ламер І. // Вісник УжНУ. Серія Фізика. - Т. 30. - С. 195.*

ПЛАЗМОВО-РІДИННА СИСТЕМА З ІМПУЛЬСНИМ РОЗРЯДОМ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТА ФОКУСУВАННЯ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЬ

**В. В. Юхименко¹, В. Я. Черняк¹, Є. В. Мартиш¹, О. А. Федорович²,
О. А. Недибалюк¹, Є. Ю. Гаврилюк¹, Т. Є. Лиситченко¹**

¹ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
радіофізичний факультет, Київ*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

Плазма в хімії розглядається як хімічно активне середовище, хімічна активність якого забезпечується великою кількістю активних частинок: іонів,

електронів, радикалів, збуджених частинок та ін. Ціною такої високої активності плазми є низька селективність плазмово-хімічних перетворень. Необхідність підвищення селективності зараз є дуже актуальною, це пов'язано з переходом від хімічної промисловості до "зеленої хімії": виключення шкідливих відходів і використання нетоксичних і шкідливих речовин.

Для зеленої хімії є перспективними процеси в надкритичних флюїдах (води, вуглекислого газу). Вода в надкритичних умовах необмежено змішується з киснем, воднем і вуглеводнями, полегшуючи їх взаємодію один з одним. Наприклад, в надкритичній воді значно збільшується швидкість окислення, така вода може бути використана не тільки для ефективного знищення небезпечних хімічних речовин, а також для гідролізу, гідратації, створення або руйнування зв'язків вуглець-вуглець, і так далі. Отримати такі надкритичні умови в рідинах можна в плазмово-рідинних системах з імпульсним розрядом. Використання імпульсного електричного розряду в рідині зумовлює появу нових чинників: сильне ультрафіолетове випромінювання, акустичні або навіть ударні хвилі. Крім того, акустичні коливання в таких системах можуть бути використані в якості додаткового механізму впливу на хімічні перетворення.

Можливо, найбільш перспективним методом використання акустичних хвиль є їх генерація за допомогою осьового імпульсного електричного розряду із наступним відбиттям від ідеальної циліндричної поверхні, що може забезпечити кращу симетрію стиснення збіжної акустичної хвилі, як в газі так і в рідині. Дослідженням такого підходу присвячена дана робота.

В роботі використовувався плазмово-хімічний реактор циліндричної геометрії з осьовим імпульсним розрядом створеного за умови, щоб характерний радіус плазмового каналу - r був набагато меншим, ніж радіус циліндричного реактору R . Радіус циліндра набагато більший, ніж висота циліндра - H : $R/H = 13,5$.

Досліджено різні параметри системи: виміряні осцилограми струму та напруги, а також осцилограми оптичного випромінювання розряду. Використовувались різні робочі рідини: дистиллят, етанол та інш. Реалізувались режими роботи системи з одиночними імпульсами, подвійними імпульсами та серіями імпульсів різної частоти. Досліджено збіжні та розбіжні акустичні хвилі, що утворювались розрядом. Виміряні швидкості розповсюдження акустичних хвиль. Проведено вимірювання залежностей амплітуд акустичних сигналів від енергії, що вкладалась в розряд. Досліджено виділення тепла в системі залежно від вкладеної енергії в розряд. Виміряно та досліджено радіальний розподіл амплітуди акустичного сигналу. Досліджено реформування пального в такій системі.

Ця робота була зроблена за часткової підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень, Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Національної академії наук України, Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

ДЕСТАБІЛІЗАЦІЯ ГЕОДЕЗИЧНОЇ АКУСТИЧНОЇ МОДИ ЕНЕРГІЙНИМИ ІОНАМИ У ПЛАЗМІ ТОКАМАКІВ З ВИСОКИМ ТИСКОМ

Я. І. Колесниченко, Б. С. Лепявко, В. В. Луценко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Нестійкості плазми, пов'язані зі збудженням $n = 0$ -моди (n - тороїдальне хвильове число) - так званої «геодезичної акустичної моди» (ГАМ) - енергійними іонами, спостерігалися як на токамаках, так і на стелараторах. Зокрема, на токамаці JET нестійкість виникла внаслідок прискорення іонів при іонному циклотронному нагріванні плазми [1]. У токамаці DIII-D нестійкість збуджувалася при інжекції пучків енергійних нейтральних атомів, причому частота коливань була значно меншою від ГАМ-частоти [2]. Пояснення цьому факту було дано в [3], де було показано, що зміна частоти в DIII-D відбувалася за рахунок внеску енергійних іонів у дисперсійне рівняння, тобто спостерігалася «ГАМ-мода енергійних частинок», ЕГАМ. У названих експериментах параметр β (β - відношення тиску плазми до тиск магнітного поля) був дуже низьким, приблизно 0.4 %, у центрі плазми. Питання про ГАМ-нестійкість у плазмі з більш високим β , тобто у плазмі, яка являє інтерес для термоядерної проблеми, до цього часу не вивчалася. З іншого боку, як показано у нещодавній публікації [4], властивості ГАМ-континуума, а також альфвенового континуума, значно змінюються при збільшення добутку βq^2 (q - коефіцієнт безпеки токамака). Це стимулювало виконання даної роботи, де розглянуто дестабілізацію ГАМ-моди у плазмі з високим тиском ($\beta q^2 \leq 1$) пролітними енергійними іонами. Розглянуто як випадок відносно малого тиску енергійних іонів, коли $\beta_h \ll \beta$ (β_h - відношення тиску енергійних іонів до тиску магнітного поля), так і випадок з $\beta_h \sim \beta$. У першому випадку аналіз проведено аналітично за допомогою методу теорії збурень. Вивчення другого випадку, тобто ЕГАМ нестійкості, проведено числовим методом.

1. Boswell C.J. et al. // Phys. Lett. A. – 2006. - Vol. 358. – P. 154 - 158.
2. Nazikian R. et al. // Phys. Rev. Lett. – 2008. – Vol. 101. - P. 185001.
3. Berk H.L., Zhou T. // Nucl. Fusion. – 2010. – Vol. 50. - P. 035007.
4. Fesenyuk O.P., Kolesnichenko Ya.I., Yakovenko Yu.V. // Plasma Phys. Control. Fusion. – 2012. – Vol. 54. - P. 085014.

ГЕОДЕЗИЧНА АКУСТИЧНА МОДА У ТОКАМАКАХ З ВИСОКИМ ТИСКОМ ПЛАЗМИ

Я. І. Колесниченко, В. В. Луценко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Геодезична акустична мода (ГАМ) - низькочастотні звукоподібні коливання у тороїдній плазмі, які є симетричними відносно головної осі тору (тороїдальне хвильове число $n = 0$) [1]. При таких коливаннях звичайна причина збудження низькочастотних нестійкостей – просторова неоднорідність розподілу частинок, а точніше, залежність функції розподілу частинок (F) від їх канонічного кутового моменту (P_ϕ) – не впливає на стійкість, тому ГАМ збуджується або енергійними іонами з інверсним енергетичним розподілом [$\partial F(\varepsilon, \mu, P_\phi) / \partial \varepsilon > 0$, де ε та μ - енергія та магнітний момент частинок, відповідно] або мікротурбулентністю плазми. Слід відзначити, що у переважній більшості публікацій використано локальне наближення, що дає лише континуумну частоту. Крім того, переважна більшість робіт стосується плазми з дуже низьким β (β - відношення тиску плазми до тиску магнітного поля). Між тим, як показано в [2], властивості ГАМ-континуума, а також альфвенового континуума, докорінно змінюються у плазмі з великим тиском. Це поставило на порядок денний питання про власні ГАМ-коливання та збудження цих коливань у плазмі великим тиском. Перше з них розглянуто у цій роботі, а друге – в [3].

У цій роботі виведено рівняння, що описують ГАМ-коливання у плазмі з енергійними іонами. Показано, що β -зачеплення домінуючої Фур'є гармоніки $\Phi_{0,0}$ з гармонікою $\Phi_{2,0}$ [$\Phi_{m,n}$ - (m, n) -гармоніка скалярного потенціалу електрромагнітних збурень, m - полоїдальне хвильове число] дозволяє вирішити питання про існування власних та вимушених ГАМ-мод у тороїдній плазмі. Тим самим вказано на можливий механізм формування радіальної структури цих мод (відмінний від запропонованого у [4]). Створено числовий код, який розв'язує виведені рівняння. Код спрямований на пошук власних частот та визначення радіальної структури $\Phi_{0,0}$, $\Phi_{2,0}$, а також величин, що характеризують стисність плазми. Проведено конкретні розрахунки й знайдено власні ГАМ-коливання у токамаках з оберненим широм магнітного поля. Показано, що навіть при монотонному профілі коефіцієнту безпеки токамаку $q(r)$ ГАМ-континуум може мати екстремум, а отже, є можливими власні ГАМ-коливання; це може пояснити експериментальні спостереження на JET. Знайдено, що інжекція енергійних іонів у напрямку струму у плазмі має стабілізуючий ефект, тоді як інжекція проти струму є дестабілізуючою, що узгоджується з експериментом.

1. Winsor N., Johnson J.L., Dawson J.M. // Phys. Fluids. - 1968. - Vol. 11. - P. 2448.
2. Fesenyuk O.P., Kolesnichenko Ya.I., Yakovenko Yu.V. // Plasma Phys. Control. Fusion. - 2012. - Vol. 54. - P. 085014; also, at this Conference (Fesenyuk's presentation).
3. Колесниченко Я.І., Лепякко Б.С., Луценко В.В. Доповідь на цій конференції.
4. Fu G.Y. // Phys. Rev. Lett. - 2008. - Vol. 101. - P. 185002.

ЧИ ПОВ'ЯЗАНІ КОЛАПСИ ПИЛЧАСТИХ КОЛИВАНЬ У ТОКАМАКАХ ЗІ СТОХАСТИЗАЦІЄЮ МАГНІТНОГО ПОЛЯ?

Я. І. Колесниченко, Ю. В. Яковенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Пилчасті коливання, що проявляються як чергування швидких теплових колапсів у центральній частині плазми з інтервалами повільного нагрівання плазми, є однією з найпоширеніших форм МГД-активності плазми в токамаках. Окрім того, що вони помітним чином впливають на утримання плазми, вони можуть бути спусковим гачком для інших небезпечних нестійкостей. Незважаючи на давність відкриття цього явища, важливі аспекти його природи досі залишаються загадкою. Найвідоміша модель пилчастих коливань - модель Кадомцева [1] - пояснює колапс перезамкненням магнітних поверхонь. Однак пізніші спостереження виявили низку фактів, які свідчать, що перезамкнення гвинтового магнітного потоку під час колапсу, всупереч цій моделі, є неповним. У кількох роботах було зроблено спроби пояснити це або наявністю другого перезамкнення, яке частково ліквідує наслідки першого [2], або тим, що перезамкнення є неповним, а власне колапс викликається стохастизацією силових ліній [3, 4] або турбулентністю якоїсь природи (напр., [5, 6]). Наразі з'ясування механізму колапсу залишається важливою задачею.

Ця робота присвячена аналізу можливості того, що колапс викликається стохастизацією силових ліній (цей варіант останнім часом набув популярності). Проведено теоретичний аналіз стохастизації магнітних силових ліній при перекритті вторинних резонансів, а також числове моделювання. Показано, що стохастизація не здатна істотно вплинути на перенесення енергії, якщо коефіцієнт безпеки на осі перевищує 0.8 (це відзначалось і в самих роботах [3, 4]). Механізм стохастичної дифузії, що розглядається в роботі [3], є надто повільним, щоб пояснити колапс, а стохастизація магнітного поля в роботі [4] є, схоже, наслідком похибки обчислень.

1. Кадомцев Б.Б. // Физика плазмы. - 1975. - Т. 1. - С. 710.
2. Kolesnichenko Ya.I. et al. // Phys. Rev. Lett. - 1992. - Vol. 68. - P. 3881.
3. Lichtenberg A.J. // Nucl. Fusion. - 1984. - Vol. 24. - P. 1277.

АЗИМУТОНИ В ЧАСТКОВО ІОНІЗОВАНІЙ ПЛАЗМІ З ТЕПЛОВОЮ НЕЛІНІЙНІСТЮ

В. М. Лашкін

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Чисельно знайдені нові нелінійні розв'язки системи рівнянь, описуючих частково іонізовану плазму з зіткненнями та нелокальною тепловою нелінійністю. Знайдені розв'язки являють собою нові нелінійні структури з складною просторовою модуляцією фази - азимутони. Вони несуть ненульовий кутовий момент та характеризуються чотирма параметрами: нелінійним зсувом частоти (або амплітудою) μ , кутовою частотою обертання ω , топологічним зарядом m_{tot} та числом піків N . В певному діапазоні параметрів азимутони виявляються стійкими та еволюціонують без зміни форми багато десятків періодів обертання.

ПРИГНІЧЕННЯ АЛЬФВЕНОВИХ КАСКАДІВ ПРИ НАГРІВАННІ НА ЕЛЕКТРОННОМУ ЦИКЛОТРОННОМУ РЕЗОНАНСІ

В. С. Марченко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Горизонтальна поляризація плазми при нагріванні на електронному циклотронному резонансі спричиняє потужне гамування тепловими іонами так званих альфвенових каскадів – мод дискретного спектру, які локалізовані в області мінімуму коефіцієнта безпеки в розрядах з немонотонним профілем струму. Якщо темп квазілінійної дифузії електронів у просторі швидкостей, спричиненої циклотронними хвилями, становить величину порядку частоти зіткнень електронів з іонами, то декремент гамування, нормований на частоту моди, може сягати десятків відсотків. Цей механізм може бути відповідальним за пригнічення альфвенових каскадів на токамаку DIII-D, коли профіль циклотронного нагрівання збігався з мінімумом коефіцієнта безпеки.

1. Van Zeeland M.A. et al. // Plasma Phys. Cont. Fusion. - 2008. - Vol. 50. - P. 035009.

ПЛАЗМОВИЙ КАТАЛІЗ КОНВЕРСІЇ ВУГЛЕВОДНІВ У ПОТОЦІ ПОВІТРЯ/СО₂

О. А. Недибалюк¹, О. В. Соломенко¹, В. Я. Черняк¹,
Д. Л. Чернолуцький¹, Є. В. Мартиш¹, Т. Є. Лиситченко¹,
Л. В. Симончик², В. І. Архипенко², А. А. Кириллов², А. І. Ліптуга³,
С. В. Драгнєв⁴, Д. С. Левко⁵, О. М. Цимбалюк⁶

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

² Інститут фізики ім. Б. І. Степанова, Мінськ, Білорусія

³ Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова, Київ

⁴ Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

⁵ Університет Поля Сабатьє, Тулуза, Франція

⁶ Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, Луганськ

Значна частина енергії, яка споживається в наш час, видобувається з викопних видів палива. Саме тому, за рахунок виснаження традиційних видів викопного палива, сьогодні зростає інтерес до зеленої енергетики, тобто ефективного використання відновлюваних джерел енергії (наприклад біоетанол, біодизель). Біоетанол та біодизель можна отримати з відновлюваної біомаси. Однак, біоетанол потребує додаткової активації горіння, а для сучасних технологій виготовлення біодизелю, характерним є великий відсоток відходів (біогліцерол) ~10 %.

У даній роботі досліджувалось реформування вуглеводнів у плазмово-рідинній системі зі зворотно вихровим потоком газу типу “торнадо” з рідким електродом (“ТОРНАДО-РЕ”). Робочим газом була суміш повітря з СО₂. В якості модельних вуглеводнів було використано біоетанол та біогліцерол. Дана плазмово-рідинна система складається з області де генерується плазма та реакційної (піролітичної) камери в яку інжектуються активні частинки.

Досліджено вольт-амперні характеристики розряду за різних робочих газів та рідини, а також залежність пульсацій струму від напруги розряду. Плазма досліджувалась за допомогою методу емісійної спектроскопії. За емісійними спектрами визначені відносні концентрації та температури заселення електронних T_e^* коливальних T_v^* та обертальних T_r^* рівнів компонент плазми. Для дослідження газових продуктів на виході із системи використовувались методи газової хроматографії, мас-спектроскопії та інфрачервоної спектрофотометрії. За допомогою цих методів було визначено які компоненти і в якому співвідношенні присутні у газі на виході із плазмово-рідинної системи. Проведено порівняння експериментальних даних та результатів числового моделювання основних компонент газової суміші на виході із системи у випадку робочої рідини – біоетанолу.

Ця робота була зроблена за часткової підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень, Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Національної академії наук України, Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

ПЛАЗМОВА СИСТЕМА З ОБЕРТАЛЬНОЮ КОВЗНОЮ ДУГОЮ З ТВЕРДИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

**О. А. Недибалюк, О. В. Соломенко, В. Я. Черняк, Є. В. Мартиш,
І. І. Федірчик, Т. Є. Лиситченко**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Важливою задачею для плазмових технологій є створення та дослідження плазмових систем, які б працювали за високих тисків, генерували нерівноважну плазму та мали великий ресурс роботи.

У даній роботі досліджено динамічну плазмову систему з обертальною ковзною дугою з твердими електродами. Електроди виготовлені з міді та нержавіючої сталі. Дану систему можна використовувати, як джерело активних частинок, які інжектуються в реакційну камеру. Оскільки, дуга ковзає по металевому електроду під дією потоку газу, то ресурс роботи такої системи повинен бути набагато більшим ніж за відсутності ковзання та обертання.

Досліджено вольт-амперні характеристики даного розряду залежно від величини потоку газу та режиму роботи (різної полярності електродів). За допомогою високошвидкісної камери досліджено поведінку обертальної ковзної дуги від величини потоку газу та струму розряду. Діагностика плазми проводилась за допомогою методу емісійної спектроскопії. Емісійні спектри реєструвалися за допомогою спектрального приладу S-150-2-3648 USB в діапазоні довжин хвиль 200 - 1000 нм. Визначено температури заселення збуджених електронних, коливальних і обертальних рівнів та їх розподіл вздовж плазмового факелу залежно від величини потоку газу та струму. Обчислено відносні концентрації компонент плазми, які спостерігалися на емісійних спектрах плазми, та побудовано їх залежності від величини потоку газу та потужності, яка вкладається в розряд.

Ця робота була зроблена за часткової підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень, Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Національної академії наук України, Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

ПЛАЗМОВИЙ КАТАЛІЗ ГОРІННЯ В'ЯЗКИХ ВУГЛЕВОДНІВ

**О. А. Недибалюк¹, О. В. Соломенко¹, В. Я. Черняк¹, Є. В. Мартиш¹,
О. Ю. Вергун¹, С. Г. Орловська², А. І. Ліптуга³, Л. В. Симончик⁴,
В. І. Архипенко⁴, А. А. Кириллов⁴, С. В. Драгнєв⁵, Т. Є. Лиситченко¹**

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

² Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, Одеса

³ Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова, Київ

⁴ Інститут фізики ім. Б. І. Степанова, Мінськ, Білорусія

⁵ Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

Під час спалювання та реформування вуглеводнів із високою в'язкістю виникає проблема їх розпилення. Традиційні газодинамічні форсунки не підходять для вирішення даних задач. Тому створення нових плазмово-рідинних систем, які б дозволяли ефективно розпилювати вуглеводні із високою в'язкістю, є важливим і перспективним напрямком.

В даній роботі досліджено плазмовий каталіз горіння вуглеводнів із високою в'язкістю. Для розпилення вуглеводнів із високою в'язкістю використовується плазмова форсунка. Джерелом плазми була обертальна ковзна дуга та поперечна дуга. Плазмова система складалася з області де утворюється плазма, області де відбувалася часткова конверсія вуглеводнів в синтез-газ та камери згорання в яку інжектувалася плазма з вуглеводнями і продуктами їх реформування. Досліджено вольт-амперні характеристики розряду за наявності та відсутності вуглеводнів в системі. Діагностика плазмового факелу та полум'я відбувалась за допомогою емісійної спектроскопії. Емісійні спектри реєструвалися за допомогою спектрального приладу S-150-2-3648 USB в діапазоні довжин хвиль 200 - 1000 нм. Визначено температури заселення збуджених електронних, коливальних і обертальних рівнів та їх розподіл вздовж плазмового факелу залежно від величини потоку газу та струму. Визначено температури за суцільним спектром випромінювання та побудовано їх аксіальний розподіл в полум'ї під час плазмового каталізу горіння вуглеводнів. Досліджено вплив камери згорання та її розмірів на ефективність плазмової системи.

Ця робота була зроблена за часткової підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень, Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Національної академії наук України, Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

ПЛАЗМОВО-РІДИННА СИСТЕМА З ОБЕРТАЛЬНОЮ КОВЗНОЮ ДУГОЮ З РІДКИМ ЕЛЕКТРОДОМ

**О. А. Недибалюк, В. Я. Черняк, О. В. Соломенко, Є. В. Мартиш,
Д. Л. Чернолуцький, І. І. Федірчик, Т. Є. Лиситченко**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Важливою задачею для плазмохімії є створення та дослідження плазмових систем, які б працювали за високих тисків та мали великий ресурс роботи. В даній роботі розроблено плазмово-рідинну систему з обертальною ковзною дугою з рідким електродом та досліджено її властивості. Дана плазмово-рідинна система є прототипом плазмово-рідинної системи зі зворотно-

вихровим потоком газу типу “торнадо” з рідким електродом (“ТОРНАДО-РЕ”). Однак, на відміну від “ТОРНАДО-РЕ”, один кінець дуги, обертаючись, ковзає по верхньому металевому електроду. Це дозволить збільшити ресурс роботи верхнього електроду і системи в цілому. Рідкий електрод відновлюється за допомогою неперервної подачі рідини, а металевий електрод витрачається набагато менше за рахунок того, що дуга ковзає по ньому. Вимірні вольт-амперні характеристики даного розряду для двох режимів роботи „твердий” та „рідкий” катод. Досліджено вплив величини потоку газу, під дією якого дуга обертається та ковзає по верхньому електроду, на вольт-амперні характеристики розряду. Досліджено залежність пульсації струму від напруги розряду.

В даній плазмово-рідинній системі реалізується дві області плазми: в проміжку між поверхнею рідини та верхнім металевим електродом; в плазмовому факелі на виході із верхнього металевого електроду. Було досліджено емісійні спектри плазми між електродами та у плазмовому факелі залежно від величини потоку газу та струму розряду. Емісійні спектри плазми реєструвалися за допомогою спектрального приладу S-150-2-3648 USB в діапазоні довжин хвиль 200 - 1000 нм. Визначено температури заселення збуджених електронних, коливальних і обертальних рівнів та їх розподіл вздовж плазмового факелу залежно від величини потоку газу та струму. Обчислено відносні концентрації компонент плазми, які спостерігалися на емісійних спектрах плазми, та побудовано їх залежності від величини потоку газу та потужності, яка вкладається в розряд.

Ця робота була зроблена за часткової підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень, Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Національної академії наук України, Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

РАДІАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ В ТУРБУЛЕНТНІЙ ПЛАЗМІ З АНІЗОТРОПІЄЮ ІОННОЇ ТЕМПЕРАТУРИ

В. М. Павленко, В. Г. Панченко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Відомо, що вивчення процесів розсіяння і трансформації хвиль в плазмі є важливим для дослідження властивостей матерії, плазмової діагностики, механізмів трансформації хвиль, вимірювання ефективності дисипації енергії високочастотної накачки тощо.

Вельми актуально зрозуміти роль, яку відіграють флуктуації в процесах розсіяння і трансформації. Очевидно, що інтенсивність цих споріднених процесів буде значно зростати в нерівноважній плазмі, де амплітуда турбулентних флуктуацій суттєво перевищуватиме рівень теплових шумів, характерний

для випадку спокійної плазми.

У роботі на базі кінетичної теорії флуктуацій розглянуто процеси випромінювання в турбулентній плазмі з анізотропією іонної температури, коли має місце трансформація довільної ленгмюрівської хвилі в поперечну електромагнітну. Хвиля накачки, яка діє на плазму, розпадається на дочірню нижньогібридну хвилю та іонно-циклотронні коливання, що поширюються в плазмі, коли температури іонів в напрямках вздовж і поперек магнітного поля різні. Відзначимо, що анізотропний розподіл іонів за температурами є типовим для плазм, що утримуються в адіабатичних схованках.

Обчислено коефіцієнт трансформації в запороговій області параметричної нестійкості і показано, що домінуючий вклад визначається членом, залежним від поля накачки. Отримано залежність інтенсивності випромінювання електромагнітних хвиль від ступеня іонної анізотропії:

$$I \sim \left(\frac{T_{\parallel i}}{T_{\perp i}}\right)^{3/2} \frac{1}{T_{\perp i}^{3/2}} \exp\left(\frac{q}{T_{\parallel i}}\right).$$

Тут стала q не залежить від іонних температур.

Таким чином, змінюючи співвідношення між іонними температурами $T_{\perp i}$ і $T_{\parallel i}$, можемо збільшити чи зменшити інтенсивність випромінювання енергії електромагнітних хвиль із плазми.

Результати роботи дозволяють прояснити вплив анізотропії іонної температури на радіаційні процеси в космічній і лабораторній плазмі.

ПРО СТІЙКІСТЬ ТА КОНВЕРГЕНЦІЮ НАБЛИЖЕНЬ МЕТОДУ ГРЕДА ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ТРАНСПОРТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕРМІЧНОЇ ПЛАЗМИ

П. В. Порицький

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Транспортні коефіцієнти є важливими характеристиками газоплазмових сумішей. Якщо іонізація газів не дуже висока, то їх властивості можна розрахувати в лоренцевому наближенні припустивши домінування окремого виду зіткнень. Електронний перенос при цьому буде найбільш вагомим. Проте із підвищенням температури потрібно брати до уваги зіткнення різних типів важких частинок з електронами так й між собою, що призводить до ускладнення процедури розрахунків.

У кінетичній теорії газів за локальної термодинамічної рівноваги побудовані методи розрахунків транспортних коефіцієнтів. Наразі для розрахунків транспортних властивостей найбільш широко вживаним є метод Чепмена -

Енскога, його деталі добре розроблені. Проте громіздкість обчислень за цим методом швидко зростає зі збільшенням номеру наближень. Крім того, проміжні результати не мають безпосереднього фізичного змісту, тому їх складно контролювати. Зазначених вад позбавлений метод моментів Греда, який виступає альтернативою до методу Чепмена-Енскога. Розрахункова процедура методу Греда значно більш структурована та проміжні стадії легко можна контролювати за допомогою спрощень, наприклад, лоренцевого наближення для плазми.

В доповіді розглянуті особливості розрахунків за методом Греда: стійкість до зміни початкових даних, зокрема транспортних інтегралів; конвергенцію наближень зі збільшенням їхнього номера; вплив певних припущень на точність розрахунків електронних коефіцієнтів залежно від типу газового середовища. Розглянуто розрахунок за наявності в середовищі ефекту Рамзауера - Таунсенда. Показано застосовність методу Греда до розрахунків транспортних властивостей багатокомпонентної термічної плазми. Також, проведено порівняння із відповідною розрахунковою процедурою методу Чепмена - Енскога.

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАЗМИ ІМПУЛЬСНИХ РОЗРЯДІВ У ВОДІ

П. В. Порицький, П. Д. Старчик

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Поширені уявлення про розрядні процеси у плазмі імпульсних розрядів в рідині базуються на аналогії з розрядами у газовому середовищі. Вважається, що плазмовий канал після утворення монотонно розширюється завдяки виділенню у ньому енергії електричного струму. Плазма каналів утворюється внаслідок випаровування та іонізації речовини, яка оточує канал, тому теплофізичні властивості плазми розрядів у воді вважаються зумовленими лише властивостями суміші водню і кисню.

У реальних умовах в плазму імпульсних розрядів у воді (ІРВ) неодмінно потрапляють домішки матеріалу електродів та провідників, які застосовуються для ініціювання розрядів із-за високих ізоляційних властивостей води. Контракція рідиною струму на електродах зумовлює появу струменевих ерозійних викидів, при цьому концентрації атомів металів у плазмі ІРВ можуть досягати досить високих рівнів. Практично суцільне заповнення розрядного каналу металеву компонентою відбувається при використанні підводних розрядів для досліджень властивостей матеріалів при екстремальних тисках і температурах. Атоми металів суттєво впливають на властивості плазми таких розрядів і викликають зміни у розподілі струмів та енерговиділення у розрядних каналах. Неоднорідний розподіл металу в плазмових каналах посилює конвективні обмінні процеси, стимулює турбулентне перемішування плазми з оточенням.

У доповіді наведені результати розрахунків теплофізичних властивостей (теплоємності, провідності, ізентропічного коефіцієнту, в'язкості, коефіцієнтів дифузії) багатокомпонентної плазми підводних розрядів в межах характерних для них температур і тисків. Тиски визначені на основі гідродинамічних характеристик розрядів в каналах, температури оцінені по інтенсивності випромінювання плазми. Головними чинниками, які визначають властивості плазми розглянутих розрядів, є вплив газової і плазмової неідеальності та вплив міжчастинкової взаємодії у багатокомпонентному середовищі. З метою урахування вказаних факторів було розроблено розширену процедуру обчислень на основі методу Греда. Перевірка достовірності розрахованих термодинамічних та електричних характеристик плазми виконано шляхом порівняння отриманих результатів з наявними літературними даними та розрахунками за лоренцевим наближенням.

ПРОНИКНЕННЯ ОБЕРТОВОГО ПОТЕНЦІАЛЬНОГО ПОЛЯ В ГУСТУ ПЛАЗМУ: СКЕЙЛІНГ ТА ЕФЕКТ НЕОДНОРІДНОСТІ ГУСТИНИ

**Т. С. Руденко¹, К. П. Шамрай¹, Ш. Шінохара², Т. Матсуока³,
І. Фунакі⁴, Х. Нішида²**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Токійський університет сільського господарства і технологій, Токіо, Японія*

³ *Осацький університет, Осака, Японія*

⁴ *Інститут космічних і астронавтичних наук, Канагава, Японія*

Проблема ефективного введення ВЧ потенціального поля в плазму є важливою для багатьох прикладних задач, в тому числі для розробки прискорювача плазми спеціального типу (Lissajous Helicon Plasma Accelerator), на основі якого планується створити плазмовий двигун для космічних апаратів [1]. В цьому приладі збудження здійснюється системою зовнішніх електродів, ВЧ потенціали яких зсунуті по фазі таким чином, щоб генерувати обертове електричне поле. Для функціонування цих приладів необхідно забезпечити ефективне проникнення ВЧ поля в об'єм плазми, перешкодою чому може бути екранування поля внаслідок існування граничних неквазінейтральних шарів та об'ємної поляризації неоднорідної плазми. В роботі [1] було проведено моделювання проникнення поля в плазму в спрощеній 1-вимірній моделі з плоско поляризованим полем, і для випадку однорідної плазми знайдено скейлінг цього процесу. У цій роботі процес проникнення поля досліджено в наближеній до реальності циліндричній моделі з обертовим полем, яка враховує як наявність граничного шару, так і об'ємну поляризацію плазми. У разі однорідної плазми аналітично отримано скейлінг для величини поля в плазмі і показано, що умова ефективного проникнення для обертового поля значно жорсткіша, ніж для плоского, а саме, у відношення електронної цик-

лотронної частоти до частоти збудження. В разі неоднорідної плазми показано, що об'ємна поляризація може призводити до локалізації поля в периферійній частині плазмового стовпа, з його істотним послабленням в центральній області. На основі числових розрахунків отримано радіальні розподіли поля для різних профілів густини плазми і виявлено, що ефект периферійної локалізації є суттєвим навіть при помірних ступенях неоднорідності густини.

1. *Matsuoka T., Rudenko T.S., Funaki I. et al.* One dimensional modeling of radio frequency electric field penetration into magnetized plasmas // Japanese J. Appl. Phys. - 2012. - Vol. 51, No. 9. - Id. 096201.

ВПЛИВ ПОТЕНЦІАЛУ ТОРЦЕВОГО ЕЛЕКТРОДА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗРЯДУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ПЛАЗМИ ГЕЛІКОННОГО ДЖЕРЕЛА З ПЛАНАРНОЮ АНТЕНОЮ

В. М. Слободян, Л. І. Романюк, В. Ф. Вірко, К. П. Шамрай

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Невід'ємними елементами геліконних джерел плазми з планарною антеною є металева циліндрична камера та торцевий металевий електрод, який обмежує систему в поздовжньому напрямку і в технологічних пристроях виконує функцію столика для розміщення оброблюваних зразків. У той час як потенціал камери підтримується незмінним (як правило, земляним), потенціал торцевого електрода може бути плаваючим, або варіюватись в певних границях. В даній роботі з'ясовано залежності плаваючого потенціалу торцевого електрода від режиму розряду та вплив потенціалу зміщення цього електрода на характеристики розряду та властивості плазми.

Експериментальний пристрій являє собою циліндричну металеву розрядну камеру діаметром 20 см та довжиною 30 см, з одного торця обмежену кварцовим вікном, зовні якого розміщена планарна збуджувальна антена, що живиться від ВЧ генератора частоти 13,56 МГц та потужності до 2 кВт. З протилежного боку камера обмежена електродом-столиком (металевим диском) діаметром 15 см, на який подається напруга зміщення (до -100 В). Магнітне поле (до 250 Гс) створюється чотирма соленоїдами з незалежно керованими струмами. Робочий газ - аргон при тиску декілька мТор.

Досліджено залежність плаваючого потенціалу торцевого електрода-столика від величини магнітного поля при використанні антен різних розмірів. Показано, що незалежно від розмірів антени в дослідженому діапазоні магнітних полів плаваючий потенціал електрода-столика є від'ємним і досягає найнижчого рівня (~ -15 В) при високих магнітних полях в режимі з провалом профілю густини плазми на осі.

Досліджено вольт-амперні характеристики торцевого електрода-столика в широкому діапазоні розрядних умов. Показано, що при ВЧ потужності

~ 1 кВт інтегральний іонний струм насичення на торцевий електрод може досягати $1,5 \div 2$ А, що відповідає середній густині іонного струму до 10 мА/см².

Для різних конфігурацій антени показано, що подача на електрод-столик негативного потенціалу супроводжується значним (до $30 \div 50$ %) зростанням загального рівня густини плазми. Виміряні радіальні розподіли густини плазми свідчать, що зростання густини переважно локалізується саме там, де в звичайному режимі реєструється пониження плаваючого потенціалу зонда.

Отримані результати переконливо свідчать на користь того, що виявлений в попередніх експериментах аномально низький потенціал плаваючого зонда є наслідком присутності в плазмі значної популяції високоенергетичних не-максвелівських електронів, які, відбиваючись від негативно зарядженого електрода, здійснюють додаткову іонізацію в плазмовому об'ємі. Досліджене джерело здатне забезпечити інтенсивні потоки іонів на поверхню, і тому є перспективним для застосування в технологіях обробки матеріалів. Варіювання потенціалу електрода-столика може бути ефективним засобом керування параметрами плазми в технологічних пристроях на основі геліконної розрядної системи з планарною антеною.

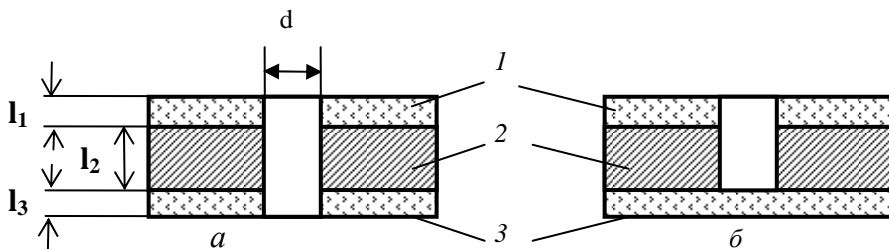
ВЛАСТИВОСТІ МІКРОРОЗРЯДНИХ СИСТЕМ

Ок. В. Соломенко, В. Я. Черняк, В. В. Лендел, І. В. Присяжневич

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Нерівноважна плазма мікророзрядів (МР) атмосферного тиску широко використовується в різних застосуваннях: як захист навколишнього середовища, біології та біомедицині, як інтенсивне джерело ультрафіолету та вакуумного ультрафіолету, для активації поверхонь тощо. Принциповою відмінністю МР від інших розрядів полягає в тому, що в даному розряді співрозмірними є довжина та діаметр розрядного каналу. Але сьогодні залишається відкритим питання, чи виконуються для МР закони подібності характерні для традиційних розрядів.

Робота присвячена дослідженню параметрів МР з різною геометрією (рис) в повітрі низького та атмосферного тиску за допомогою оптичної емісійної спектроскопії, мікроскопії та відеотехніки. Для всіх МР характерної була циліндрична форма порожнин електродів та діелектрику. Дослідження горіння МР проводилися як з порожнинами в двох електродах (рис. а), так і в одному (рис. б). Товщина l_1 змінювалась від 1 мм до 100 мкм при $l_2 - 0.5 \div 0.8$ мм, $l_3 - 1 \div 3$ мм. В якості матеріалів електродів обиралися наступні метали: Al, Cu, Nb, Mo, Ti. В якості діелектрику використовувався матеріал Al₂O₃ або ХС-22. Дослідження проводилися як при постійному струмі, так і в імпульсному режимі.



Зображення досліджуваних конструкцій електродів, де 1 та 3 - електроди; 2 - діелектрична пластина; d - діаметр отвору в 1 та 2; l1 - товщина 2.

Вивчався вплив зміни діаметру плазмового каналу (відношення висоти порожнини $l_1 + l_2 + l_3$ – Рис. а, або $l_1 + l_2$ – Рис. б до діаметру порожнини d на вольт-амперні характеристики МР, також досліджувався характер нерівноважності плазми і вплив матеріалу електродів на напруги пробую $U_{пр}$ та параметри плазми МР.

До найбільш цікавих результатів в даній роботі можна віднести:

вплив геометрії МР на рівень нерівноважності плазми мікророзрядів. Так виявлено, що рівень нерівноважності плазми вищий для мікророзрядів з двома порожнистими електродами;

помічено глибоку аналогію між мікророзрядом і дифузійним жевріючим розрядом, що була виявлена при використанні в мікророзрядній системі в якості матеріалу електроду, який за нормальних умов вкритий мікропористою плівкою.

Ця робота була частково підтримана Державним фондом фундаментальних досліджень, Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України.

ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ РЕДУКЦІЙ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕТВОРЕНЬ СИМЕТРІЇ КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ПЛАЗМИ

В. Б. Таранов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Для теоретичних моделей кінетичної теорії плазми, які базуються на інтегро-диференціальних системах рівнянь Власова - Максвелла, легко побудувати відповідну нескінченну систему рівнянь у частинних похідних для моментів функцій розподілу частинок плазми. Група симетрії одержаної системи може бути визначена безпосередньо або шляхом переходу від скороченої системи рівнянь для моментів до повної нескінченної системи. У просторово-одновимірному випадку високочастотних коливань електронної плазми такий

підхід був свого часу успішно реалізований.

У просторово тривимірному випадку був знайдений більш простий шлях визначення симетрії. Нескінченна система рівнянь для моментів спрощується до скінченної системи на певних підмножинах розв'язків. Наприклад, для холодної плазми одержуємо скінченну систему для густини, середньої швидкості компонентів плазми, електричного і магнітного полів. Досить складні рівняння для одержання симетрій такої системи легко розв'язати за допомогою стандартних програм пакету Maple. Підмножина розв'язків холодної плазми є більш симетричною порівняно із загальним простором розв'язків, що дозволяє, знаючи симетрії холодної плазми, відтворити симетрії загальної кінетичної моделі. Таким шляхом були вивчені симетрії просторово тривимірних коливань електронної плазми, електронно-позитронної плазми без магнітного поля і з урахуванням зовнішнього сталого однорідного магнітного поля, можливого збурення магнітного поля.

Іншим прикладом редукції нескінченної системи для моментів є модель водяного мішка, яка дозволяє врахувати скінченну температуру компонентів плазми. Порівняно із холодною плазмою, така модель є менш симетричною, але дозволяє визначити симетрію плазми, що знаходиться у стані з порівняно невеликим відхиленням від рівноважного просторово однорідного стану з певною температурою.

Корисною виявилась також редукція рівнянь для моментів у випадку багатопучкової електронної плазми. Група симетрії холодної електронної плазми у просторово одновимірному випадку є надзвичайно широкою, - нескінченновимірною, - але звертання до системи двох і більше пучків холодної плазми звужує симетрію до повної відповідності із загальною кінетичною теорією.

Таким чином, гідродинамічні редукції суттєво полегшують одержання перетворень симетрії кінетичної теорії плазми Власова - Максвелла і дозволяють застосувати надзвичайно швидкі програми пакету Maple.

ШИРИНА РЕЗОНАНСІВ ПРИ ВЗАЄМОДІ ШВИДКИХ ІОНІВ ІЗ МНОЖИННИМИ АЛЬФВЕНОВИМИ НЕСТІЙКОСТЯМИ

М. Г. Тищенко, Ю. В. Яковенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Просторове каналування енергії іонів – це нещодавно відкрите явище, що пояснює аномальні втрати енергії в деяких термоядерних експериментах. Зокрема, в експериментах на сферичному токамаці NSTX спостерігалось наступне: при збільшенні потужності інжекції нейтрального пучка температура в центральній області плазми не змінювалась, а подекуди навіть падала [1]. Експериментатори пов'язали підсилені втрати енергії з плазми з активні-

стю множинних високочастотних ($f \sim 1$ МГц) мод, ідентифікованих як GAE. У роботі [2] втрати енергії було пояснено просторовим каналуванням енергії швидких іонів – хвилі відбирають енергію від швидких іонів і віддають її в іншому місці. В роботі досліджуються умови, за яких перекриття резонансів частинки з кількома альфвеновими модами веде до формування широкого енергетичного діапазону, в якому рух частинки є стохастичним. У такому випадку дифузія частинки через цю зону відбудеться швидко, і частинка віддасть енергію хвилям, а не плазмі. Знайдено вираз для енергетичної ширини резонансу і оцінено кількість хвиль, яка потрібна, щоб забезпечити дифузію частинки по енергії в широкому енергетичному діапазоні. За оцінками, 5-10 мод з амплітудами $\tilde{B}/B \sim 5 \cdot 10^{-3}$ достатньо, щоб стохастизувати інтервал енергій від 45 до 90 кеВ і таким чином відібрати половину енергії в інжекттованих іонів у NSTX. Числовими методами проводиться дослідження процесу стохастизації під час перекриття резонансів у двовимірній системі, що описує рух ведучого центру швидкого іона в торіодальній плазмі під дією однієї чи кількох альфвенових хвиль.

1. *Stutman D. et al. // Phys. Rev. Lett. - 2009. - Vol. 102. - P. 115002.*
2. *Kolesnichenko Ya.I. et al. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol. 104. - P. 075001.*

ГЕЛІКОННИЙ РОЗРЯД З ЛІНІЙНОЮ ЗБУДЖУЮЧОЮ АНТЕНОЮ

В. Ф. Вірко, В. М. Слободян, Ю. В. Вірко, К. П. Шамрай

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Уперше досліджено ВЧ розрядну систему, яка збуджується сильно видо-вженою прямокутною індукційною антеною. Провідники антени розміщені в кварцових трубках, занурених у плазму і розташованих перпендикулярно до зовнішнього магнітного поля. Вимірювання просторового розподілу амплітуд та фаз ВЧ полів показало наявність поздовжніх мод стоячих хвиль між антеною та оброблюваною поверхнею. Перехід між цими модами при зміні напруженості магнітного поля супроводжується стрибками концентрації плазми, характерними для розрядів геліконного типу. В аргоні з тиском 5 мТор, при частоті 13,56 МГц та ВЧ потужності 1 кВт, густина іонного струму на відстані 10 см від антени складає 20 мА/см², що відповідає концентрації плазми 8×10^{11} см⁻³. В певних режимах було отримано плазму з високим ступенем однорідності на значній відстані вздовж індуктора (неоднорідність не гірша кілька відсотків). За умови збільшення масштабів такий розряд може бути використаний для однорідної обробки значних поверхонь шляхом їх рівномірного переміщення (сканування) перпендикулярно до осі індуктора.

О МЕХАНИЗМАХ УМЕНЬШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСПАДА ПЛОТНОЙ ПЛАЗМЫ

Л. М. Войтенко, О. А. Федорович

Институт ядерных исследований НАН Украины, Київ

Процессы распада плотной плазмы изучены недостаточно. В работах [1 - 4] было показано, что коэффициенты распада (K_p), полученные в плотной плазме импульсных разрядов в воде на несколько порядков ниже, чем рассчитанные для идеальной плазмы. Не было получено однозначной зависимости экспериментальных результатов K_p от температуры, давления в канале, концентрации атомов в плотной плазме и ее степени неидеальности. В плотной плазме экспериментальные K_p однозначно зависят только от концентрации электронов (N_e) [3].

Существенное увеличение K_p коррелирует с последовательным появлением в спектрах излучения водородно-кислородной плазмы линий водорода H_α (50 мкс), H_β (54 мкс), H_γ (63 мкс). Плазма в сплошном спектре при этом становится прозрачной, но в линии H_α - еще непрозрачная. Аналогичные результаты наблюдаются при рекомбинации вольфрамовой плазмы. На начальной стадии разряда, когда давление, концентрация электронов и температура наиболее высокие, плазма практически не рекомбинирует. При этом нет излучения в сплошном спектре и линий поглощения. С появлением линий поглощения с самыми нижними переходами (с основного состояния на первый возбужденный) начинает идти рекомбинация и увеличивается интенсивность сплошного спектра за счет появления свободно-связанных переходов. Интенсивность континуума за счет свободно-связанных переходов очень низка, так как мало расстояние между отдельными ионами и нет существенных отклонений электронов в полях близко расположенных ионов. При больших значениях (N_e) рекомбинация возможна только на невозбужденное основное состояние атома, но сечение такого процесса очень малое. Впервые на такую возможность влияния неидеальности на коэффициент рекомбинации было отмечено в работе [5]. Но расчеты по материалам работы [5] полностью не объясняют большого расхождения с полученными экспериментальными данными.

1. *Fedorovich O.A., Voitenko L.M.* Experimental Reseaches of the Decay Coefficient of Nonideal Plasma Produced at pulsed Discharges in Water // Ukrainian Journal of Physics. - 2008. - Vol. 53, No. 5. - P. 450 - 457.
2. *Федорович О.А., Войтенко Л.М.* О коэффициентах распада НП при взрыве вольфрамового проводника в воде // ВАНТ, сер. «Плазменная электроника и новые методы ускорения». - 2010. - Вып. 7, № 4, (68).
3. *Fedorovich O.A., Voitenko L.M.* The empirical formula of dependence of factor disintegration of nonideal plasma from electrons concentration // Problems of

atomic science and Technology. - 2011. - No. 1 (71). - P. 122 - 124.

4. Федорович О.А., Войтенко Л.М. Экспериментальные исследования коэффициентов распада неидеальной плазмы при концентрациях электронов не превышающих 10^{22} см⁻³ // Материалы XV междунар. науч. конф. «ФИРКС». - Николаев, 2011. - С. 66 - 69.
5. Куриленков Ю.К. О влиянии неидеальности на коэффициент рекомбинации плотной плазмы // ТВТ. - 1980. - Т. 18, № 6. - С. 1312 - 1314.

ТРАНСПОРТНІ ПРОЦЕСИ ШВИДКИХ ІОНІВ У ТОКАМАКАХ

В. Яворський

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Доповідь присвячена огляду теоретичних та експериментальних досліджень утримання швидких іонів в токамаках за відсутності МГД збурень. В незбуреній плазмі токамака утримання іонів високих енергій визначається так званими класичними транспортними процесами [1, 2], що обумовлені специфікою орбітального руху та кулонівськими зіткненнями із частинками основної плазми. Розглянуті основні механізми втрат швидких іонів пов'язані із класичними транспортними процесами: миттєві, а також дифузійні та конвективні втрати. Проведено детальне порівняння експериментальних даних по втратах іонів інжекції та заряджених продуктів реакцій синтезу із результатами моделювання на токамаках TFTR, JET, JT-60U та інших. Розглянуті також експерименти та моделювання із впливу дифузійного та конвективного переносу на процеси в плазмі токамака, що пов'язані з швидкими іонами (емісія нейтронів, гама випромінювання та нейтралів високих енергій). Проаналізовані результати сучасних прогнозних розрахунків ролі класичних транспортних процесів в утриманні іонів інжекції та заряджених продуктів реакцій синтезу в токамаці ІТЕР.

1. Kolesnichenko Ya.I. // Nucl. Fusion. 1980. - Vol. 20 (6). - С. 727 - 780.
2. Zweben S.J. et al. // Nucl. Fusion. -2000. - Vol. 40 (1). - P. 91 - 149.

Тези доповідей з радіобіології та радіоекології

ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ МИШОПОДІБНИХ ГРИЗУНІВ ІЗ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС

О. О. Бурдо¹, Д. О. Вишневський²

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² ДСП “Чорнобильський” МНС України, Чорнобиль

Оцінка антропогенного впливу на біосферу стала однією з основних тенденцій у біологічних дослідженнях, починаючи з другої половини 20-го століття. Радіоактивне забруднення являє собою відносно новий і найбільш специфічний приклад такого впливу. Воно почалося з середини 20-го століття з розвитком ядерних технологій. Його характерною особливістю є інерційність наслідків для біологічних систем, яка стосується в першу чергу генетичних ефектів. Одним із них є вплив радіаційного забруднення на цитогенетичні показники, що досліджувалось авторами.

Дослідження проводилися на чотирьох видах мишоподібних гризунів: *Apodemus flavicollis*, *Chletrionomus glareolus*, *Microtus Agrestis*, *Microtus Arvalis*. Чисельність мишоподібних гризунів досить рівномірна на всіх полігонах. Це означає, що радіаційний фактор не виявляється на популяційному рівні. У районах з найбільш високими значеннями радіаційного фактору виявлено клітини з множинними мікроядрами, що може бути інтерпретоване як генетична нестабільність. Ступінь пошкодження генома (високі показники мікроядерного тесту) збільшується з ростом радіаційного фактору (ПЕД та питомої активності радіонуклідів в організмі тварин.)

Досліджений зв'язок цитогенетичних параметрів і питомої активності ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr у тушках нориць і мишей, які були виловлені на досліджуваних полігонах.

Оцінку зв'язку між показниками проводили за допомогою кореляційного аналізу в непараметричній статистиці. Позитивні кореляції виявлені у двох видів, які виловлені на полігоні Янів, у тварин з інших полігонів кореляцій не виявлено

У жовтогорлої миші (*A. flavicollis*) з полігону Янів питома активність ¹³⁷Cs корелює з комплексом мікроядерних показників (клітини з мікроядрами, клітини з 1 МЯ, загальна кількість мікроядер у тварини), коефіцієнт кореляції у всіх випадках становив $r = 0,9$; $p < 0,05$. Також виявлено кореляцію між питомою активністю цезію и питомою активністю стронцію ($r = 0,9$; $p < 0,05$).

У руді нориці (*C. glareolys*) виявлена додатна кореляція між питомою активністю ⁹⁰Sr – мітотичним індексом ($r = 0,82$; $p < 0,05$); питомою активністю ⁹⁰Sr – кількістю двоядерних клітин ($r = 0,77$; $p < 0,05$); мітотичним індексом – кількістю двоядерних клітин ($r = 0,77$; $p < 0,05$).

Слід додати що, у руді нориці комплекс мікроядерних показників (кіль-

кість клітин з МЯ, розподіл клітин за кількістю мікроядер, загальна кількість мікроядер у тварини) не корелює з питомою активністю радіонуклідів в організмі. Кореляція виявлена між показниками, що входять до мікроядерного тесту, коефіцієнт кореляції становить від 0,8 до 0,9. $p < 0,05$.

ХРОНІЧНИЙ ВПЛИВ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ НА ССАВЦІВ ТА ЛЮДИНУ

І. П. Дрозд

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Проаналізовано науковий доробок щодо особливостей хронічної дії іонізуючої радіації (ІР) на дрібних лабораторних тварин (миші, щури) за експериментальних умов, учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) і мешканців радіаційно забруднених територій (РЗТ) у ближній та віддаленій періоди після аварії на ЧАЕС (1986 - 2012 рр.) та потерпілих від інших ядерних інцидентів.

Виявлено, що найбільш радіаційно вразливими є кровотворна, імунна, ендокринна, нервова системи та геном. За величиною радіогенних змін показників перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) за однакових ефективних доз встановлено, що відносна біологічна ефективність низькодозового хронічного опромінення є значно більшою, ніж одноразового, а внутрішнього – вищою ніж зовнішнього. Це, відповідно, відобразилось на біологічних та медичних наслідках опромінення. Так за хронічної дії ІР відбувається суттєве пригнічення процесів кістково-мозкового кровотворення. Серед потерпілих від Чорнобильської аварії спостерігається зростання частоти аутоімунних ендокринних захворювань – аутоімунного тиреоїдиту, тиреотоксикозу, цукрового діабету, деяких форм гіперкортицизму, що потенціюються регуляторними розладами імунної системи, пригніченням клітинного та гуморального імунітету. Доведено високу радіочутливість центральної нервової системи, що характеризується радіаційно-індукованими нейрозапалювальними реакціями, апоптотичною загибеллю нервових клітин та їх ушкодженням внаслідок вторинних уражень. Показано велику чутливість до хронічної дії ІР системи регуляції ПОЛ, зростання ролі мембран як координатора клітинного метаболізму та підсилення ролі ПОЛ у формуванні біологічних наслідків опромінення в малих дозах. Виявлено радіаційно індуковану дестабілізацію хромосомного апарату, що може спричинювати виникнення стохастичних (спадкова патологія, онкопатологія) та деяких нестохастичних (мультифакторіальна патологія, вроджені вади розвитку) ефектів. На РЗТ спостерігають значне зростання загальносоматичної патології різних нозологічних форм, першопричиною виникнення яких вважають гостре ураження щитоподібної залози (ЩЗ) ізотопами йоду в аварійний період. Характерним мультифакторним наслідком тривалого низькодозового опромінення є так званий “синдром хронічної втоми”.

Дуже чутливою до хронічної дії ІР є ендокринна система дітей, у яких ма-

лі дози призводять до суттєвих порушень гормонального статусу, що є дуже небезпечним у ранньому дитячому та пубертатному віці. Починаючи з 1990 р., серед дитячого контингенту, а також серед УЛНА спостерігається дозозалежне зростання захворюваності на рак ШЗ, яка до цього часу не повернулася до доаварійних значень. Особливо небезпечним є внутрішньоутробне (пренатальне) опромінення. Так, пренатальний гемопоез виявився майже на три порядки чутливішим до ІР, ніж постнатальний. Одним із наслідків пренатального опромінення головного мозку є розумова відсталість дітей. Дозовий поріг для індукування цієї патології становить лише 6 сГр за опромінення на 8 - 10-му тижнях пренатального розвитку.

ВІДНОСНА БІОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОПРОМІНЕННЯ ЗА ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІЛЬНОРАДИКАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

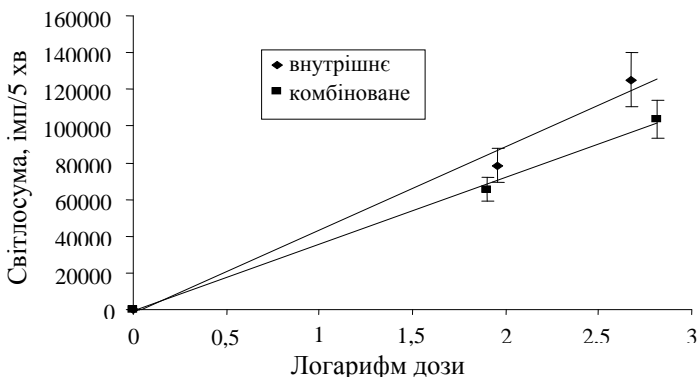
Ю. П. Гриневич, І. П. Дрозд, С. В. Телецька

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Одним із фізико-хімічних наслідків впливу іонізуючої радіації (ІР) на живі організми є активізація вільнорадикальних процесів (ВРП), що спричиняє збільшення вмісту супероксидних радикалів та інших активних форм кисню, активізації процесів перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) та окиснювальної модифікації білків. Надлишок АФК може призводити до окиснювальної деструкції клітинних органел, у першу чергу мембранного комплексу, та, у випадку недостатньої активності антиоксидантної системи (АОС), до порушень метаболічних процесів. За станом ВРП і активністю АОС крові та тканинах окремих органів можна судити про наявність та динаміку розвитку багатьох патологічних станів, пов'язаних зі зміною перебігу перекисних процесів.

Нині значний інтерес являє вивчення за показниками вільнорадикального окиснення та стану АОС відносної біологічної ефективності (ВБЕ) різних режимів опромінення в рівновеликих дозах.

У роботі представлені результати дослідження активності пероксидази у крові щурів за умов внутрішнього надходження ^{137}Cs і комбінованої дії іонізуючих випромінень (інкорпорований ^{137}Cs + γ -опромінення). Першій групі тварин вводили *per os* щоденно впродовж 45 діб по 20 кБк ^{137}Cs (сумарна доза 0,145 Гр). Іншій групі тварин впродовж цього ж терміну щоденно вводили по 10 кБк ^{137}Cs з паралельним зовнішнім опроміненням точковим джерелом ^{60}Co з потужністю дози $4 \cdot 10^{-8}$ Гр/с (сумарна доза – 0,25 Гр). Рівновеликими при цьому можна вважати дози від внутрішнього опромінення на 30 добу (7,1 сГр) та комбінованого на 15 добу (6,7 сГр), а також внутрішнього на 44 добу (14,5 сГр) та комбінованого на 30 добу (16,6 сГр). Пероксидазну активність у крові досліджували хемілюмінісцентним методом за Toledo. Виявили лінійну залежність світлосуми хемілюмінесценції від логарифму дози (рисунок), де доза – у сГр, що свідчить про лінійну залежність від дози процесів



Дозова залежність світлосуми хемілюмінесценції за різних режимів опромінення.

активізації ВРП та експоненційну зміну у часі антиоксидантних процесів. Таким чином, внутрішнє опромінення характеризується більшою ВБЕ, ніж комбіноване за однакових доз опромінення у досліджуваному діапазоні.

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ У РЯДА ПОКОЛЕНИЙ *HORMOCONIS RESINAE*

**Т. И. Тугай¹, А. В. Тугай¹, В. А. Желтоножский²,
М. В. Желтоножская², Л. В. Садовников²**

¹ *Институт микробиологии и вирусологии НАН Украины, Киев*

² *Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев*

Известно, что грибы, являются одной из постоянных и активных компонент биогеоценоза и на их долю приходится порядка 80 % от общей биомассы почвы. Увеличение в почве количества грибов с радиоадаптивными свойствами, способных обрастать «горячие» частицы и переводить находящиеся в них радионуклиды в ионообменные легкоподвижные формы может оказывать существенное влияние на скорость как горизонтальной, так и вертикальной миграции радионуклидов, что необходимо учитывать при составлении долгосрочных прогнозов транслокации радионуклидов в зоне отчуждения и на других загрязненных радионуклидами территориях. Особого внимания заслуживает изучение механизмов, лежащих в основе адаптации грибов к действию хронической радиации во времени в ряду последующих поколений после облучения. Ионизирующее излучение, как известно, является дополнительным источником активных форм кислорода, а адаптация микроскопических грибов к его действию, по-видимому, во многом определяется стратегией функционирования системы их антиоксидантной защиты.

Выявлены особенностей функционирования ферментативной антиоксидантной системы у трех субпопуляций *Hormoconis resinae*, одного из наиболее часто встречающегося видов в зоне отчуждения и проявляющего выраженные радиоадаптивные свойства. Изменения активности антиоксидантных ферментов имели значительную амплитуду, что свидетельствует о их роли в процессе адаптации, однако изменения не имели строгой периодичности в поколениях.

ВІДДАЛЕНІ НАСЛІДКИ ВПЛИВУ РАДІОАКТИВНОГО ЙОДУ НА ОРГАНІЗМ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ

М. М. Лазарєв

*Український науково-дослідний інститут
сільськогосподарської радіології НУБіП України, Київ*

У будь якого випадку, при аваріях, що супроводжуються викидом продуктів ядерного поділу у навколишнє середовище надходить велика кількість радіоактивного йоду, що обумовлює основну радіаційну небезпеку у перші тижні після аварії як для людей так і для сільськогосподарських тварин. Безпека радіонуклідів йоду у гострий період радіаційної аварії потребує термінового втручання з метою збереження здоров'я людей і захисту тварин. Саме молочне скотарство є основною критичною ланкою, щодо захисту людей від ураження радіоактивним йодом. Як вказує досвід Чорнобильської катастрофи молочний шлях надходження радіоактивного йоду зумовив у наступні роки поширення захворювань щитовидної залози і зміни у стані здоров'я, що пов'язані із розладами у функціональній активності цієї залози.

Досліди проведено на 7 групах великої рогатої худоби. Чотири групи телят, по 8 голів у кожній, у віці 3 - 4 місяці рег-ос отримували радіоактивний йод (^{131}I) у кількості 1, 3, 8, 15 мКі на тварину. Три групи лактуючих корів у віці 5 - б років, по чотири тварини у кожній, отримували відповідно 6, 39, 80 мКі того ж самого ізотопу йоду.

Основним завданням проведення експериментів було оцінка впливу радіоактивного йоду в різних дозах на фізіологічний стан ростучих і лактуючих тварин та визначення ступеню придатності до їх подальшого господарського використання.

Спостереження за телятами проводили на протязі 3 років, за коровами – два роки. У тварин проводили радіометричні виміри в області щитоподібної залози після надходження радіоактивно йоду, досліджували показники клінічного стану, продуктивності, визначали гематологічні, біохімічні, гормональні параметри, а також гістологічні зміни у деяких органах після патолого-анатомічного розтину.

Проведеними дослідженнями встановлено, що основна доза на ЩЗ після надходження радіоактивного йоду формується на протязі 3-х діб з максимумом

мом через 24 год. У гострий період (до 2 тижнів) клінічні ознаки ураження ЩЗ були відмічені лише у телят, що отримали максимальну дозу, у вигляді радіаційного тиреоїдиту.

Протягом подальшого строку спостережень за телятами відмічали зниження приросту маси тіла з максимумом до 100 кг у групі телят з максимальною дозою на ЩЗ. У більшості випадків зміни у гематологічних і біохімічних параметрах носили не постійний характер, окрім зміни у функціональній активності ЩЗ. Яскравими були зміни у стані шкіри. Відмічали порушення відтворювальних функцій.

У дослідних корів у всіх трьох груп були відсутні клінічні ознаки впливу радіоактивного йоду у перші тижні після його надходження. Найбільші зміни відмічали у динаміці лактації – зменшення добового надію, зміни у масі, порушення відтворювальних функцій. На другій рік спостережень дані зміни набули ще помітнішого вигляду включаючи втрату лактаційної функції у корів з максимальною дозою опромінення щитоподібної залози.

Таким чином проведення експериментів дозволило встановити ступінь втрати корисних господарських ознак у великої рогатої худоби після надходження різних доз радіоактивного йоду.

ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕЙКОЦИТАРНОЙ ФОРМУЛЫ И ЦИТОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭРИТРОЦИТОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ РЫБ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ

Н. Л. Поморцева¹, Д. И. Гудков¹, Н. К. Родионова², А. Е. Каглян¹

¹ *Институт гидробиологии НАН Украины, Киев*

² *Институт экспериментальной патологии, онкологии и радиобиологии
им. Р. Е. Кавецкого НАН Украины, Киев*

Анализировали показатели периферической крови карася обыкновенного *Carassius carassius* L. и окуня речного *Perca fluviatilis* L., обитающих в наиболее загрязненных радионуклидами водоемах Чернобыльской зоны отчуждения (ЧЗО). Сбор материала проводили в августе 2010 г. в оз. Глубокое, оз. Азбучин и Яновском затоне. Контролем служили рыбы тех же видов, отобранные в затоне «Щепочка» (р. Припять), а также в озерах Таращанского района Киевской области с фоновыми уровнями радионуклидного загрязнения. Мощность поглощенной дозы для исследованных видов рыб замкнутых водоемов ЧЗО регистрировали в пределах 25–240 мкГр/ч, а в рыбе контрольных водных объектов дозовая нагрузка не превышала 0,12 мкГр/ч.

Отмечено пониженное содержание лейкоцитов, а также более высокое общее количество тромбоцитов в крови рыб из водоемов ЧЗО по сравнению с рыбами контрольных водоемов. Эритроциты карася и окуня в водоемах ЧЗО оказались наиболее подвержены патологическим изменениям, как ядра, так и

самой клетки. Общее количество нарушений клеток в рыбах ЧЗО регистрировали у карася до 59,5 %, а у окуня до 22,6 %, что значительно превышает показатели нарушений для этих видов рыб из контрольных водоемов (4,1 и 2,0 %, соответственно). Обращает на себя внимание снижение процентного содержания лимфоцитов (функция которых заключается в реализации иммунологических реакций) в периферической крови карася и окуня, обитающих в ЧЗО, по сравнению с контрольными водоемами. В случае развития лимфопении (при тяжелых вариантах токсикозов) у рыб параллельно развивается тромбоцитопения, главным образом за счет круглых тромбоцитов. При этом увеличивается количество гранулоцитов. Так, в гемограмме окуня, наиболее высокое относительное содержание гранулоцитарных элементов – нейтрофилов и псевдоэозинофилов (выполняющих фагоцитарную функцию и участвующих в аллергических и аутоаллергических реакциях) отмечали в крови рыб из оз. Глубокое и Яновского затона по сравнению с контрольными водоемами. В тоже время, наблюдали отсутствие псевдобазофилов в крови окуня из всех исследуемых водоемов. Относительно высокий процент моноцитов (фагоцитирующих клеток, поглощающих бактерий, а также продукты распада клеток и тканей) у окуня из оз. Глубокое свидетельствует об увеличении количества поврежденных клеточных элементов. Обычно нарастание моноцитов в крови совпадает с усилением распада не только клеток красной крови, но и с гибелью самих лейкоцитов.

РАДІОПРОТЕКТОРНА ДІЯ NO НА СТОВБУРОВИЙ ПУЛ КРОВОТВОРЕННЯ ЩУРІВ ЗА УМОВ ФРАКЦІОНОВАНОГО ОПРОМІНЕННЯ В МАЛИХ ДОЗАХ

Н. К. Родіонова, Л. І. Маковецька, О. Б. Ганжа, Н. М. Рябченко, Б. І. Герашенко, О. А. Главін, П. М. Михайленко, І. І. Музальов, М. О. Дружина, В. М. Михайленко

*Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології
ім. Р. Є. Кавецького НАН України, Київ*

В експерименті на білих нелінійних щурах (розводки віварію ІЕПОР ім. Р. Є. Кавецького НАН України) проведено дослідження поєднаної дії оксидів азоту (ОА) та фракціонованого опромінення в малих дозах (МДП). Опромінення в дозі 0,1 Гр проводили на апараті РУМ-17 два рази на тиждень (потужність дози 0,89 Гр/хв), 10 сеансів, сумарна поглинена доза - 1,0 Гр. Інгаляційне введення ОА (впродовж 1 місяця, 12 год на добу, 150 мг/м³ повітря по NO). У групі ОА + МДП тварин опромінювали після інгаляційного навантаження ОА за схемою, що наведена вище. Обстеження тварин проводили після закінчення дії екзогенних чинників на 1-у, 12-ту та 18-ту доби.

Досліджено зміни стовбурового пулу системи кровотворення за методом селезінкового колонієутворення (Till et McCulloch), утворення метгемоглобі-

ну за методом ЕПР-спектроскопії, зміни окисного метаболізму із застосуванням хемілюмінесценції та біохімічних методів визначення ферментів антиоксидантного захисту. Встановлено, що дія ОА, МДПР призводить до порушень в системі крові зі зниженням стовбурових потенцій кровотворення, порушенням проліферативної активності, та співвідношень між окремими пулами кровотворення, які зберігаються впродовж тривалого часу. За дії фракціонованого опромінення рівень ураження кровотворення був найбільшим, це проявлялось у зниженні кількості колонієутворюючих одиниць селезінки (КуОС) (до 40 % від контролю), відсутності відновлення клітинного складу гранулоцитарного та еритроїдного рядів гемопоезу впродовж 18 діб спостереження, що зумовлює зниження компенсаторно-захисних можливостей організму. За більшою кількістю КуОС в кістковому мозку та темпами відновлення кровотворення у щурів групи ОА + МДПР порівняно з окремим опроміненням виявлено радіопротекторний ефект ОА. Можливими механізмами модифікуючої дії ОА є – розвиток гіпоксії в органах і тканинах тварин завдяки утворенню метгемоглобіну; змінам окисного метаболізму з конкурентним утворенням активних радикалів; активації репараційних процесів; підвищенню рівня апоптотичної загибелі клітин з сублетальними пошкодженнями.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВКЛАДА ПИГМЕНТОВ СВЕТЛООКРАШЕННЫХ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБОВ В ФОРМИРОВАНИЕ ИХ АДАПТАЦИИ К ДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

Т. И. Тугай¹, А. В. Тугай¹, А. И. Василевская¹,
М. В. Желтоножская², М. Л. Садовникова²

¹ *Институт микробиологии и вирусологии НАН Украины, Киев*

² *Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев*

При изучении микроскопических грибов, выделенных из радиоактивных почв, лесной подстилки зоны отчуждения и поверхности стен внутренних помещений объекта «Укрытие» было показано, что в последние годы (с 1989 г.) количественно и в видовом составе светлопигментированные виды грибов преобладали над темнопигментированными (Жданова и др., 2005). Нами было выдвинуто предположение, что светлопигментированные виды грибов адаптировались к действию ионизирующей радиации и о возможности присутствия в них меланиновых пигментов. В доступной нам литературе подобные данные отсутствуют.

Объектами нашего исследования были штаммы светлопигментированных видов грибов *Penicillium steckii*, *P. hirsutum*, *P. westlingii*, *P. lanosum*, *P. roseopurpureum*, *Paecilomyces lilacinus*, *Aspergillus versicolor*. Из биомассы грибов общеизвестным методом (в нашей модификации) были получены препараты, которые в результате комплексного анализа отнесены нами к меланиновым пигментам.

Таким образом, нами впервые у ряда светлопигментированных видов микромицетов получены меланиновые пигменты и установлена их важная роль в проявлении направленного роста этих грибов к действию источников ионизирующей радиации. По нашему мнению, такие грибы могут принимать активное участие в процессах биотрансформации “горячих частиц” в почве.

ГЕМАТОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЛАБОРАТОРНИХ ЩУРІВ ЗА ОДНОРАЗОВОГО ПЕРОРАЛЬНОГО НАДХОДЖЕННЯ РАДІОНУКЛІДА ^{131}I

Т. В. Циганок, Л. В. Тарасенко, Л. К. Бездробна, В. І. Федорченко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Дослідження показників периферійної крові після надходження до організму відносно невеликих активностей радіонукліда ^{131}I є важливим у зв'язку з радіоекологічними ситуаціями, що виникають у перші дні після масштабних аварій на АЕС (Чорнобильська, Фукусіма).

Дослідження виконано на лабораторних щурах лінії Вістар віком 3 - 3,5 міс з вихідною масою тіла – 190 - 210 гр. Радіонуклід ^{131}I у вигляді розчину натрію йодиду (^{131}I) вводили перорально одноразово з активностями 3,3 кБк і 19,16 кБк на тварину. Показники периферійної крові досліджували за 1 добу до введення препарату – вихідні дані, і через 1, 3, 7, 14 та 30 діб після його введення. На кожний термін досліджено по 6 тварин. Паралельно досліджували контрольну групу інтактних щурів (5 тварин), які не отримували радіойод. Кров для дослідження брали з хвостової вени. Визначали кількість еритроцитів, лейкоцитів і лейкоцитарну формулу загальноприйнятими методами.

У результаті проведеного дослідження не виявлено вірогідних кількісних змін в еритроцитарній ланці периферійної крові щурів при достатньо вираженій кількісній реакції лейкоцитарної ланки. Введення радіойоду з активністю 3,3 кБк на тварину викликало вірогідне підвищення кількості лейкоцитів у ранні терміни (1 і 3 доби) спостереження з наступною їх нормалізацією у подальшому. Підвищення кількості лейкоцитів відбувалося, в основному, за рахунок і відносної, і абсолютної кількості лімфоцитів та еозинофілів. Збільшення активності радіойоду до 19,16 кБк на тварину викликало суттєво більший ступінь вірогідного підвищення кількості лейкоцитів упродовж всього експерименту за рахунок абсолютної кількості лімфоцитів і на 1 - 7 добу – еозинофілів. При цьому відносна кількість окремих форм лейкоцитів не змінювалась.

У ранні терміни спостереження після введення радіойоду (^{131}I) з відносно невеликими активностями зміни в лейкоцитарній ланці периферійної крові, ймовірно, мають характер перерозподілу, а у подальші терміни – свідчать про посилення проліферації лімфоїдного ряду кровотворення.

КІНЕТИКА ФОТОІНДУКОВАНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПЕРЕХОДІВ У НАНОСТРУКТУРАХ БАКТЕРІАЛЬНИХ РЕАКЦІЙНИХ ЦЕНТРІВ

М. А. Драпиковський, М. А. Заболотний

Національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

У роботі досліджувалась кінетика та проводився аналіз структурних змін, що супроводжуються кінетикою електронного транспорту при фотозбудженні комплексів хлорофілвісних мембранних білків фотосинтетичних реакційних центрів *Rhodobacter sphaeroides* (РЦ).

Аналіз основних факторів, визначаючих швидкість таких реакцій, важливий як у фундаментальному плані, так і з точки зору створення штучних систем накопичення і перетворення енергії. Встановлено, що ПЕ в біологічних системах відбувається у вигляді послідовного ПЕ в структурі білків між металовмісними центрами або органічними донорно-акцепторними групами на відстані 5 - 25 Å.

Система первинних процесів має надзвичайно важливу властивість, що відрізняє її від інших біологічних систем. Система “включається” світлом, і її можна тестувати з допомогою дельта-подібних (лазерний спалах) чи прямокутних (включення постійного світла) імпульсів.

Було проведено ряд досліджень у яких РЦ засвілювались, після чого спостерігали стан відновлення системи. Послідовність прямих реакцій переносу електрона між компонентами РЦ була встановлена за допомогою спектральних ефектів, оскільки при його освітленні відбуваються зворотні зміни спектру поглинання, що характеризують окислений стан пігменту і відновлення станів кофакторів. Одержані криві релаксації перевірялись за допомогою вейвлет-аналізу.

З проведених досліджень зроблено наступні висновки:

1. Кінетика мікрошвидкостей переходу електрону з донора на акцептор і з акцептора на донор розчинів РЦ *Rhodobacter sphaeroides*, залежить від часу та інтенсивності освітлення. При збільшенні часу чи інтенсивності процеси відновлення йдуть повільніше, що може свідчити про вплив ефектів поляризації на процеси електронного внутрішньомолекулярного транспорту.

2. Отримані залежності оптичного поглинання та кількісні параметри кінетики окислення реакційних центрів при різних режимах фото збудження дозволили розділити кінетику оптичного поглинання на дві частини: швидку та повільну. Швидка характеризує лише електронний транспорт, а повільна – електронний транспорт та повільні конформаційні зміни РЦ.

3. Вейвлет-аналіз виявляє особливості експериментальних кривих реакцій, які залежать від інтенсивності та часу експозиції. Він показує що відновлення і поглинання розчинів РЦ є нестационарним у часі процесом. Тобто, можемо зробити припущення, що експоненти в релаксаційних кривих не діють одночасно, а включаються по черзі.

4. При виключенні збуджуючого світла значення оптичного поглинання розчину повертається у вихідний стан, що доводить те, що фотоіндуковані зміни в молекулярному комплексі РЦ – оборотні. Вимірювання показника заломлення цього розчину методом голографічної інтерферометрії показує, що зміна об'єму молекулярного комплексу РЦ, при його освітленні, становить 0,1 - 1 %. Така зміна об'єму РЦ може бути викликана зміною кута між зв'язками М, L, Н глобул РЦ, які є найбільш лабільними.

ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО И ОСТРОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ У ПРЕСНОВОДНОГО МОЛЛЮСКА *LYMNAEA STAGNALIS L.*

Е. В. Дзюбенко¹, Д. И. Гудков¹, Н. Л. Шевцова¹, Л. С. Чепига²,

¹ *Институт гидробиологии НАН Украины, Киев*

² *Национальный авиационный университет, Киев*

В 1998 - 2011 гг. анализировали эффекты хронического и острого радиационного воздействия у брюхоногого моллюска прудовика обыкновенного *Lymnaea stagnalis* L. Хроническое воздействие исследования в водоемах Чернобыльской зоны отчуждения (ЧЗО) – оз. Азбучин, Глубокое, Далекое, Яновском затоне, а также в реках Уж и Припять. В качестве контрольных водоемов для сравнительного анализа цитогенетических, гематологических, морфометрических и репродуктивных показателей использовали ряд озер с фоновыми уровнями радионуклидного загрязнения, расположенных в г. Киеве и его окрестностях. Мощность поглощенной дозы для взрослых моллюсков за счет внешних и внутренних источников облучения за период исследований регистрировали в следующих диапазонах: оз. Глубокое – 350 - 420; оз. Азбучин – 55 - 78; оз. Далекое – 35 - 58; Яновский затон – 6 - 12; р. Припять – 0,5 - 0,7; р. Уж – 0,3 - 0,5; контрольные водоемы – 0,03 - 0,04 мкГр/ч. Острое облучение синкапсул и взрослых особей моллюсков выполняли на установке ИЛУ-6 в диапазоне доз 3 - 300 Гр. Мощность поглощенной дозы составляла 0,69 Гр/с.

Выполненные цитогенетические исследования свидетельствуют о повышенном уровне аберраций хромосом у прудовиков из замкнутых водоемов ЧЗО по сравнению с моллюсками контрольных водоемов. За период исследований наибольшие значения зарегистрированы для беспозвоночных замкнутых водоемов ЧЗО, в клетках которых частоту аберраций хромосом регистрировали в пределах 18 - 27 %, что в среднем более чем в 10 раз превышает уровень спонтанного мутагенеза для водных организмов. Моллюски в реках Уж и Припять характеризовались невысоким средним уровнем аберрантных клеток, соответственно, 2,5 и 3,5 %. Для моллюсков контрольных озер этот показатель равнялся в среднем 1,5 %, с максимальными значениями до 2,3 %. Отмечена положительная корреляция между частотой аберрантных анафаз и

мощностью поглощенной дозы у эмбрионов прудовика обыкновенного в водоемах ЧЗО.

Острое экспериментальное облучение эмбрионов прудовика обыкновенного на стадии трахофоры в диапазоне поглощенной дозы 3 - 300 Гр вызывает степенной рост количества хромосомных aberrаций от 11,2 до 63,4 %. Частота aberrантных анафаз у эмбрионов моллюсков в контроле составила 1,2 % и не превышала спонтанный уровень хромосомного мутагенеза. Полулетальной для эмбрионов прудовиков на стадии трахофоры была доза облучения 30 Гр, а поглощенная доза 60 Гр вызывала полную гибель эмбрионов в течение 20 сут. после облучения. Полулетальная доза облучения для взрослых особей моллюсков составила 120 Гр.

РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ ГИДРОБИОНТОВ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ

**Д. И. Гудков¹, Н. Л. Шевцова¹, Е. В. Дзюбенко¹,
Н. Л. Поморцева¹, А. Е. Каглян¹, А. Б. Назаров²**

¹ *Институт гидробиологии НАН Украины, Киев*

² *ГСП «Чернобыльский спецкомбинат» МЧС Украины, Чернобыль*

Самоочищение водных объектов Чернобыльской зоны отчуждения (ЧЗО), характеризующиеся невысокой проточностью или ее отсутствием, происходят крайне медленно, в результате чего экосистемы большинства озер, стариц и затонов и по сей день характеризуются высоким уровнем радионуклидного загрязнения всех компонентов. Мощность поглощенной дозы для водных организмов ряда исследуемых полигонных водоемов ЧЗО на протяжении 1998 - 2012 гг. регистрировали в диапазоне $1,6 \cdot 10^{-3}$ - 3,4 Гр/год. Максимальные уровни отмечены для гидробионтов озер одамбированного участка левобережной поймы р. Припяти, минимальные – для проточных водных объектов – рек Уж и Припять. Основным дозообразующими радионуклидом для гидробионтов большинства замкнутых водоемов ЧЗО в настоящее время является ⁹⁰Sr, на долю которого приходится до 90 - 95 % внутренней дозы облучения. Цитогенетические исследования гидробионтов свидетельствуют о высоком уровне aberrаций хромосом в эмбриональных тканях моллюсков (до 26 %) и корневых меристемах высших водных растений (до 17 %) в наиболее загрязненных радионуклидами водоемах. Частота хромосомных aberrаций в тканях гидробионтов замкнутых водоемов ЧЗО многократно превышает уровень спонтанного мутагенеза, свойственный водным организмам, и может быть проявлением радиационно-индуцируемой генетической нестабильности. Анализ состава мантийной жидкости брюхоногого моллюска прудовика обыкновенного в водоемах ЧЗО свидетельствует о существенном изменении состава гемолимфы моллюсков в наиболее загрязненных озерах, проявляющемся в увеличении количества мертвых и фагоцитарных клеток и уменьшении количества моло-

дых амебоцитів. Частота мікроядер еритроцитів в периферической крові рыб из водоемов ЧЗО отмечена на уровне 0,06 - 1,41 ‰, а двуждерных эритроцитів – 0,04 - 0,33 ‰ с найбільшими показателями в рыбе озерных екосистем. Частоту нарушений ядер эритроцитів рыб в виде инвагинаций и отростков регистрировали на уровне 4,7 - 29,1 ‰. Наибольшая встречаемость нарушений ядер эритроцитів отмечена у щуки Яновского затона и оз. Азбучин. В рыбе контрольных водоемов частота инвагинаций и отростков ядер эритроцитів не превышала 0,5 ‰. Для тростника обыкновенного в водоемах ближней ЧЗО обнаружен высокий уровень поражения паразитическими грибами *Claviceps purpurea* и галлообразующими членистоногими, в особенности клещами *Steneotarsonemus phragmitidis* (иногда до 100 % растительной популяции водоема). Предполагается, что одной из возможных причин массового поражения растений может быть снижение их паразитарной стойкости в условиях хронического радиационного воздействия.

ВПЛИВ НИЗЬКОІНТЕНСИВНОГО ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ВИЩУ НЕРВОВУ ДІЯЛЬНІСТЬ ЩУРІВ З РІЗНИМ ДОСВІДОМ СОЦІАЛЬНИХ ВЗАЄМОДІЙ

В. В. Крушінський¹, М. В. Шелковський²

¹ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

² *Державна установа "Національний науковий центр радіаційної медицини
Національної академії медичних наук України", Київ*

Вплив малих доз радіації на нервову систему людини дотепер остаточно не з'ясовано. При цьому взагалі вважається, що малі дози радіації не призводять до суттєвого погіршення здоров'я людини, але епідеміологічні дані не підтверджують це, оскільки психоневрологічні розлади і захворювання нервової системи серед постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС і нині залишаються важливою медичною проблемою (Логановський К. М., 2010).

Актуальним є дослідження індивідуальної чутливості на дію іонізуючого опромінення, якщо його дія модифікується впливом психосоціального чинника (Логановський К. М., 2006). Вважалося, що реакція на опромінення мала бути однаковою для всіх індивідів, але наслідки цього впливу на функціонування нервової системи відрізняються, оскільки психологічна індивідуальна типологічна реактивність значною мірою обумовлює чутливість індивідів до дії радіаційного чинника, тобто модифікує і доповнює його вплив.

Метою даного дослідження було вивчення поведінкових реакцій щурів у човниковій камері при комбінованому впливі соціального стресу і іонізуючого опромінення в малих дозах (1 Гр).

Дослідження поведінки у човниковій камері були проведені на білих безпородних щурах-самцях що зазнавали попередньо впливу експериментально змодельованого соціального стресу.

При моделюванні соціального стресу у всіх тварин виявляли домінуючий або субмісивний статус самців. Перед початком основного експерименту у всіх тварин у човниковій камері проводили фонове тестування з метою формування врівноважених груп. Після цього тварин поділяли на: I група контроль; II переможці + опромінення; III переможені + опромінення; IV контроль + опромінення. Одноразове тотальне опромінення тварин відповідних груп проводили за допомогою терапевтичної установки “Рокус” (використовувався ізотоп Co^{60} ; потужність поглинутої дози 1,12 Гр/хв). Після опромінення тварин всіх груп щотижнево тестували у човниковій камері (загалом 9 тестувань). В кожному тестуванні пред’являлися 100 умовних звукових сигналів. Визначали та аналізували найбільш інформативні показники умовно рефлекторної діяльності.

За результатами дисперсійно-регресійного аналізу даних, одержаних з використанням поведінкової методики (човникова камера), визначена вірогідна взаємодія між впливами попереднього соціального стресу і наступним впливом іонізуючого опромінення, що призводить до модифікації його ефектів стосовно показників стану вищої нервової діяльності. Особливо ця взаємодія проявляється у 3 групі (переможені), що може свідчити про важливість індивідуальної чутливості до дії іонізуючого опромінення.

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНОТОКСИЧНОСТІ ОКРЕМОЇ ТА ПОЄДНОЇ ДІЇ ЕКЗОГЕННИХ ОКСИДІВ АЗОТУ І МАЛИХ ДОЗ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ НА КЛІТИНИ СИСТЕМИ КРОВІ

І. І. Музальов, В. М. Михайленко

*Інститут експериментальної патології, онкології та радіобіології
ім. Р. Є. Кавецького НАН України, Київ*

Інтенсифікація антропогенної діяльності призводить до зростаючого забруднення довкілля хімічними та фізичними чинниками, що негативно впливають як на стан екосистеми, так і на здоров’я людини. Біологічні ефекти цих факторів можуть значно змінюватись за сумісного впливу, що призводить до ряду негативних наслідків для здоров’я, які складно піддаються прогнозуванню. Оксиди азоту (ОА) і іонізуюча радіація (ІР) відносяться до генотоксичних канцерогенів. Розуміння типів та механізмів пошкодження ДНК визначено ключовим у інтерпретації ролі взаємодії екзогенних агентів з ендогенними процесами у індукції раку. Тому формування одно – та д্বониткових розривів молекули ДНК вважають одним з репрезентативних і перспективних до застосування біомаркерів екоотоксикологічного впливу різних чинників за їх окремої та поєднаної дії.

Метою нашого дослідження було визначення генотоксичності за окремої та поєднаної дії екзогенних ОА та малих доз іонізуючої радіації (МДІР) на лімфоцитах периферичної крові (ЛПК) і клітинах кісткового мозку (ККМ)

щурів. Пошкодження ДНК визначали методом лужного горизонтального гель-електрофорезу ізольованих клітин («ДНК-комет»). Об'єктом дослідження були ЛПК та ККМ щурів, що зазнали інгаляційної дії ОА у концентрації 150 мг/м³ протягом 30 днів та МДІР (10 разів по 0,1 Гр) з частотою 1 опромінення на 3 доби за окремої та поєднаної дії факторів.

Спонтанний рівень пошкодження ДНК у ККМ становив 4.7 ± 0.29 %, а в ЛПК цей показник дорівнював 4.85 ± 0.25 %. Інгаляційна дія ОА супроводжувалась збільшенням пошкодження ДНК у ЛПК щурів в 2,4 рази, а в ККМ цей показник перевищував відповідний контроль у 3 рази. При цьому генотоксична дія ОА на ККМ виявилася у 1,3 рази сильнішою, ніж на ЛПК.

Опромінення МДІР викликало збільшення кількості розривів ДНК у ЛПК щурів у 2,7 рази, а генотоксичний ефект у ККМ збільшився у 2,6 рази проти відповідного контролю. Пошкоджуючий ефект МДІР на ЛПК виявився у 1,1 рази сильнішим, ніж на ККМ.

Поєднана дія ОА та МДІР призвела до підвищення рівня пошкодження ДНК у ЛПК у 3,1 рази у порівнянні з контролем, що в 1,3 рази перевищувало їх індивідуальну дію. Кількість розривів ДНК у ККМ при цьому зростала у 4 рази у порівнянні з контролем. Поєднана дія обох чинників на ККМ у 1,3 рази перевищувала генотоксичний ефект на ЛПК.

Таким чином, окрема та поєднана дія ОА та МДІР на ЛПК та ККМ щурів супроводжувалась значним генотоксичним ефектом у вигляді утворення одно- та двониткових розривів ДНК. Максимальне пошкодження ДНК спостерігалось за поєднаної дії факторів, та носило адитивний характер. Пошкоджуючий ефект обох факторів в цілому проявляється сильніше на ККМ. Отримані результати засвідчують реальну можливість підвищення канцерогенного ризику за умов поєднаної дії ОА та ІР.

ВПЛИВ КОМУТАГЕНІВ НА ФОРМУВАННЯ РАДІАЦІЙНО-ІНДУКОВАНИХ ХРОМОСОМНИХ ПОШКОДЖЕНЬ У СОМАТИЧНИХ НЕМАЛІГНІЗОВАНИХ КЛІТИНАХ ЛЮДИНИ

О. П. Пилипчук, Е. А. Дьоміна

*Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології
ім. Р. С. Кавецького НАН України, Київ*

У роботі отримано нові дані стосовно якісних та кількісних особливостей формування радіаційно-індукованих перебудов хромосом в соматичних немалігнізованих клітинах людини під впливом комутагену-медичного препарату верапамілу (В). Встановлено, що комутагенний ефект В на хромосомному рівні лімфоцитів периферичної крові проявляється за дії відносно високих доз опромінення і за рахунок аберацій хромосомного типу, в тому числі дицентричних хромосом (7/100 метафаз, тобто підвищення в 2 рази порівняно з ефектом опромінення). Комбінована дія іонізуючої радіації та верапамілу

пригнічує проліферативний потенціал досліджуваних клітин тільки за дії малих доз радіації (0,3 Гр). Одержані результати доцільно враховувати з метою корекції показань для індивідуального призначення медичних препаратів з комутагенним ефектом особам, що працюють в сфері дії іонізуючих випромінювань.

РАДІАЦІЙНІ УШКОДЖЕННЯ ЗДАТНОСТІ ТКАНИН ДО ВІДНОВЛЕННЯ НА ПРИКЛАДІ ОПРОМІНЕННЯ КІСТКОВОГО МОЗКУ

О. Ф. Сенюк¹, Н. М. Білько², І. З. Борбуляк², Д. І. Білько²

*Інститут проблем безпеки атомних електростанцій
НАН України, Чорнобиль*

Національний університет «Києво-Могилянська академія», Київ

Радіаційне ураження організму ссавців в широкому діапазоні доз розпочинається з ураження клітин кісткового мозку (КМ), тому що він є критичною тканиною. Було досліджено два різновиди дистанційних впливів *in vivo* опромінених клітин КМ на неопромінені клітини цього ж виду: 1) міжклітинні дистанційні взаємодії на моделі «ефекту свідка»; 2) здатність до утворення колоній клітин КМ, імплантованих у дифузійні гелеві камери (ДГК), після їх переміщення у черевну порожнину мишей – реципієнтів. Джерелом клітинного матеріалу були миші Balb/c – інтактні і опромінені (впродовж 16 год дозою близькою до ЛД_{50/30} ~5,0 Гр і впродовж 231 доби дозою 0,290 Гр).

У пулі клітин КМ, отриманих від неопромінених мишей, після інкубації у середовищі життєдіяльності цього ж виду клітин від гостро і хронічно опромінених мишей було зареєстровано додаткову індукцію ОНР ДНК. Довготривалий вплив іонізуючих випромінювань навіть у невеликій дозі призводить до суттєвого зростання продукції факторів, що здатні викликати додаткову індукцію кількості ОНР в ДНК пулу неопромінених клітин КМ. Але, на відміну від гострого опромінення, коли на 112 день рівні ОНР в ДНК клітин майже досягли контрольних величин, при хронічній експозиції на 231 добу експозиції ще спостерігалось 20 % відносно збільшення рівнів ОНР в ДНК клітин КМ, що свідчить про зменшення ефективності адаптаційних реакцій при хронічному опроміненні.

Показано, що колонієутворююча активність (КУА) у культурах клітин кісткового мозку 7-ї і 30-ї доби після гострого опромінення була практично відсутньою, що вказувало на суттєве пригнічення функції КМ в цілому. Імплантація пулу клітин нормального КМ мозку в організм опроміненої тварини-реципієнта в 1-у добу пострадіаційного часу призводила до утворення в середньому 114 колоній і 386 кластерів. А в культурах 7-ї і 30-ї діб було неможливо розрізнити окремі колонії і кластери, що могло свідчити про потужну продукцію радіорезистентною стромою компенсаторних факторів, які стиму-

люють відновлення ураженого радіацією кісткового мозку реципієнта.

З метою оцінки ефективності дії малих доз іонізуючих випромінювань на гемопоетичні стовбурові клітини КМ їхню КУА порівнювали з ефективністю відомого цитостатика циклофосфану (ЦФ), який вводили за добу до операції у дозі 0,2 мг/г ваги.

КУА клітин КМ неопромінених мишей дорівнювала $7,0 \pm 0,4$ колоній та $40,7 \pm 2,0$ кластерів на $1 \cdot 10^5$ експлантованих клітин, тоді як цей показник хронічно опромінюваних клітин КМ опромінених мишей-реципієнтів, дорівнювали $31,7 \pm 1,6$ колонії і $59,0 \pm 2,9$, а мишей, які отримали ЦФ – $21,0 \pm 1,0$ колонії і $52,5 \pm 2,6$ кластерів на $1 \cdot 10^5$ експлантованих клітин.

Таким чином, хронічне опромінення більш ефективно впливало як на продукцію факторів, що викликали додаткову індукцію ОНР в ДНК неопромінених клітин, так і на продукцію факторів, що стимулюють відновлення стовбурових клітин опроміненого КМ.

ДИНАМІКА ЗМІН ПОКАЗНИКІВ ЛІПІДНОГО СПЕКТРА СИРОВАТКИ КРОВІ В УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС З НОРМАЛЬНОЮ ТА НАДЛИШКОВОЮ МАСОЮ ТІЛА Й ОЖИРІННЯМ У ВІДДАЛЕНОМУ ПЕРІОДІ ПІСЛЯ ОПРОМІНЕННЯ

С. М. Дмитрук

*ДУ “Національний науковий центр радіаційної медицини
НАМН України”, Київ*

Упродовж перших 10-ти поаварійних років в учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС (УЛНА на ЧАЕС), опромінених в дозах, вищих за 25 сЗв, були визначені особливості змін у ліпідному спектрі крові (П.П. Чаяло, Г.М. Чоботько, 2001).

Метою нашого дослідження було встановлення особливостей динаміки змін показників ліпідного спектру крові в УЛНА на ЧАЕС з нормальною та надлишковою масою тіла й ожирінням, які зазнали дії іонізуючого випромінювання в діапазоні малих доз, - до 25 сЗв. Ретроспективне когортне дослідження було проведене впродовж 1996 - 2007 рр. З 83 УЛНА на ЧАЕС 1986 - 1987 рр., у віці 19 - 44 роки на момент опромінення у діапазоні доз 3 - 25 сЗв, з церебро- та кардіоваскулярною патологією (основна група), були виділені 40 осіб з нормальною масою тіла, 43 особи - з надлишковою масою тіла та ожирінням. Групи порівняння були сформовані з осіб з подібною патологією, не причетних до аварії: з нормальною масою тіла - 54 особи, з надлишковою масою тіла та ожирінням - 22 особи. Були проаналізовані результати визначень концентрації загального холестеролу (ЗХС), триацилгліцеринів (ТАГ), сумарної фракції ліпопротеїнів низької (ЛПНЦ) та дуже низької щільності (ЛПДНЦ) сироватки крові.

На етапі спостереження через 10 років після аварії (1996 р.) при порівнянні даних концентрації ЗХС сироватки крові в опромінених та неопромінених осіб з нормальною масою тіла, а також між даними в таких осіб з надлишковою масою тіла та ожирінням, різниці не було визначено. При тому концентрація ЗХС виявилася достовірно вищою в осіб з надлишковою масою тіла як з числа УЛНА на ЧАЕС, так і групи порівняння. На етапі спостереження через 21 рік після аварії (2007 р.) середні показники концентрації ЗХС сироватки крові в опромінених осіб були достовірно нижчими, ніж в осіб групи порівняння. Середні показники вмісту в сироватці крові ЛПНЩ та ЛПДНЩ на етапі спостереження через 10 років після аварії не відрізнялись між відповідними показниками в опромінених та неопромінених осіб з нормальною масою тіла, при тому в опромінених осіб з надлишковою масою тіла вміст ЛПНЩ та ЛПДНЩ був достовірно вищим, ніж в неопромінених, перевищуючи межу фізіологічної норми. У подальшому для даного показника в групах УЛНА на ЧАЕС та групах порівняння спостерігались протилежні тенденції, подібні до описаних для ЗХС. Через 21 рік після аварії дані показники в групах порівняння були достовірно вищими за такі в групах УЛНА на ЧАЕС. Подібними тенденціями відрізнялась і динаміка показників концентрації ТАГ в сироватці крові УЛНА на ЧАЕС, як з нормальною, так і з надлишковою масою тіла й ожирінням, та осіб відповідних груп порівняння.

Висновок: виявлені особливості динаміки показників ліпідного спектру сироватки крові в УЛНА на ЧАЕС з реалізованою церебро- та кардіоваскулярною патологією, з нормальною та надлишковою масою тіла й ожирінням, які зазнали дії іонізуючого випромінювання в діапазоні малих доз (до 25 сЗв)

ОЦІНКА РАДІОЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ N-СТЕРОЇЛЕТАНОЛАМІНУ В ЕКСПЕРИМЕНТІ

**В. В. Талько¹, Л. П. Дерев'яно¹, Н. П. Атаманюк¹, Г. В. Косякова²,
А. М. Яніна¹, М. В. Шелковський¹, А. А. Чумак¹, Н. М. Гула²**

¹ДУ “Національний науковий центр радіаційної медицини
НАМН України”, Київ

²Інститут біохімії ім. О. О. Палладіна НАН України, Київ

Відомо, що N-стероїлетаноламін (NSE) рекомендований для застосування як лікарський засіб, що має протипухлинні властивості. Він не змінює цитостатичну дію цисплатину, проявляє антитоксичну дію в супроводжуючій протипухлинній терапії перорально у вигляді твердих, рідких або м'яких лікарських форм. У зв'язку з наявністю радіомодифікуючого ефекту у деяких протипухлинних засобів, проведені експериментальні дослідження на статевозрілих білих лабораторних щурах, результати яких свідчать, що застосування препарату N-стероїлетаноламіну в комплексі з іонізуючим опроміненням покращує показники, які характеризують променево реакцію.

Променеві реакції оцінювали за кількісним показником – індексом променевого ураження. В період індивідуального спостереження у тварин визначали індекс променевого ураження як показник міри тяжкості променевої реакції. Глибину променевих уражень оцінювали за алгебраїчною сумою балів, які нараховували за кожний факт реєстрації змін досліджуваних показників (біохімічних та гормональних), що характеризують променеві ушкодження у опроміненій тварин. Зокрема, відхилення від фізіологічної норми в біохімічних та гормональних показниках плазми крові (активності каталази, глутатіонпероксидази, концентрації 11-оксикортикостероїдів, прогестерону) оцінювали за 4-бальною шкалою: 0 – без змін; 1 – зміни, менші ніж 25 %; 2 – зміни від 25 до 50 %; 3 – зміни від 51 до 75 %; 4 – зміни, більші ніж 75 % [4].

Радіозахисну дію N-стероїлетаноламіну моделювали введенням тваринам перорально через зонд 0,5 мл водного розчину препарату із розрахунку 50 мг/кг маси тіла тварини. NSE вводили щоденно упродовж 7 діб за двома схемами, а саме: одній групі тварин – до опромінення в дозі 2,0 Гр, другій групі – після опромінення в дозі 2,0 Гр.

Активність каталази та глутатіонпероксидази після опромінення шурів у дозі 2,0 Гр достовірно знижувалась в 1,4 та 2,8 разів відносно контрольних значень. Застосування NSE після опромінення призводило до збільшення активності каталази та глутатіонпероксидази в 1,3 та в 3,7 разів відповідно, відносно показників групи опромінених тварин. При застосуванні NSE перед опроміненням тварин також відмічали достовірне збільшення активності цих ферментів відносно показників опромінених тварин, а саме: каталази в 1,2 та глутатіонпероксидази в 4,1 разів. Такі дані свідчать про те, що NSE сприяє нормалізації показників антиоксидантного захисту організму за умов дії іонізуючого випромінювання. Після опромінення шурів в дозі 2,0 Гр виявлено достовірне збільшення концентрації 11-ОКС і прогестерону в плазмі крові тварин в 1,4 та 2,7 разів відносно контрольних значень. При застосуванні NSE після опромінення тварин відмічали зниження концентрації 11-ОКС в 2,2 рази відносно показників опромінених тварин. Застосування NSE перед опроміненням тварин сприяло достовірному зниженню концентрації прогестерону і 11-ОКС в плазмі крові в 1,7 та 2,5 разів відповідно, відносно показників групи опромінених тварин. Результати досліджень вказують на наявність радіозахисних властивостей у NSE за різних схем його застосування (до- та після дії іонізуючого випромінювання).

Таким чином, при застосуванні N-стероїлетаноламіну шурам в комплексі з іонізуючим опроміненням (за різними схемами) зменшується пошкоджуюча дія іонізуючого опромінення, про що свідчить зниження індексу променевого ураження. Тому пропонується застосування N-стероїлетаноламіну за новим призначенням, а саме як радіозахисного засобу.

СПОНТАННА ЧАСТОТА АБЕРАЦІЙ ХРОСОМОМ У ЖИТЕЛІВ МІСТ КИЄВА І ЧЕРНІГОВА

Л. В. Тарасенко, Т. В. Циганок, Ю. О. Носач,
Т. В. Мельник, Л. К. Бездробна

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Спонтанний рівень хромосомних аберацій в клітинах формується під дією внутрішніх чинників організму і зовнішніх чинників довкілля, що постійно впливають на людину в процесі життя. Розвиток сучасних технологій, виникнення техногенних аварійних ситуацій поступово збільшують навантаження на довкілля і, як наслідок, на геном людини. Чорнобильська аварія суттєво погіршила радіоекологічний стан довкілля, що диктує необхідність вивчення спонтанних рівнів мутагенезу в нових умовах.

Метою дослідження було вивчення спонтанного рівня аберацій хромосом у лімфоцитах крові клінічно здорових жителів Києва та Чернігова – міст, що офіційно не відносяться до зон радіоактивного забруднення в наслідок аварії на ЧАЕС. Обстежено 51 особу із м. Києва і 9 осіб із м. Чернігова. Використано класичний метод аналізу рівномірно забарвлених хромосом. Проаналізовано 18651 метафазну пластинку.

У період через 15 - 25 років після Чорнобильської аварії в групі жителів Києва частота абераційних клітин становить $3,32 \pm 0,15\%$, всіх типів структурних аберацій хромосом – $3,47 \pm 0,16\%$, хроматидного типу – $2,20 \pm 0,12\%$, хромосомного типу – $1,27 \pm 0,09\%$, специфічних маркерів опромінення – дицентричних+центричних кільцевих хромосом – $0,11 \pm 0,03\%$ та атипових моноцентриків – $0,16 \pm 0,03\%$. Співвідношення аберацій хромосомного типу до хроматидного становить 1 : 1,7, що свідчить про деяке відхилення від класичного уявлення про спонтанний мутагенез у людини (1 : 2). Визначені рівні спонтанних пошкоджень хромосом вірогідно перевищують такі, що наведені в літературі для населення європейської частини бувшого СРСР у період 1971 - 1999 рр. За результатами нашого дослідження інтенсивність спонтанного мутагенезу не залежить від віку обстежених осіб. Ймовірно, відсутність вікової залежності хромосомних пошкоджень обумовлена встановленою відносно більшою їх спонтанною частотою у осіб, яким на час Чорнобильської аварії було до 3 років включно або 9 – 15 років (періоди інтенсивного росту, розвитку та статевого дозрівання).

За результатами паралельного обстеження у 2011р. жителів м. Києва (11 осіб) і м. Чернігова (9 осіб) однакового віку середні спонтанні рівні кількісних та сумарних структурних хромосомних аберацій, аберацій хроматидного та всіх аберацій хромосомного типу у жителів обох міст вірогідно не відрізняються. Але, спонтанна частота дицентричних + центричних кільцевих хромосом із супровідними фрагментами (специфічних маркерів триваючого радіаційного впливу) у жителів м. Чернігова вірогідно вища, ймовірно, за рахунок їх внутрішнього опромінення.

ВПЛИВ ПОЛІМІНЕРАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ ПРИРОДНОГО ПОХОДЖЕННЯ НА МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛІТИН ПРИ КОМБІНОВАНІЙ ДІЇ СПОЛУК ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ТА ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

**Г. Й. Лавренчук, Г. М. Чоботько, В. М. Оксамитний,
В. С. Асмолкова, Д. Д. Гапєєнко, Х. М. Литвинчук**

*ДУ “Національний науковий центр радіаційної медицини
НАМН України”, Київ*

Сучасна екологічна ситуація характеризується поєднаним впливом токсикантів фізичної та хімічної природи. За умов радіаційних аварій окрім безпосередньої дії радіаційного фактора можливий вплив присутніх одночасно з ним сполук важких металів. Дослідження закономірностей впливу випромінювання в умовах поєднаної дії його з важкими металами на клітинному рівні є актуальними. Разом з тим, важливе місце займає проблема пошуку і застосування засобів природного походження, які зменшують негативний вплив комплексу чинників зовнішнього середовища шляхом неспецифічної дії, спрямованої на поліпшення обміну речовин, адаптивних та саморегуляторних реакцій різних систем біологічних об'єктів.

Метою роботи було дослідження впливу полімінеральних речовин природного походження («Мінерол» та «Бента») на прояв цитотоксичності важких металів у культурі опромінених клітин.

Проведено комплексне експериментальне дослідження комбінованого впливу іонізуючого випромінювання в дозах 0,5 Гр, 5,0 Гр та 10,0 Гр, іонів важких металів (Pb^{+2} , Cu^{+2} , Ni^{+2} та Cr^{+2}) в концентраціях від 10 нмоль/л до 10 мкмоль/л у тест-системі культури клітин, встановлено характер та особливості поєднаної дії чинників фізичної і хімічної природи та виявлено можливість мінімізації негативних ефектів полімінеральними комплексами природного походження.

Показано, що застосування полімінеральних комплексів «Мінерол» та «Бента» зменшило прояв ушкоджень клітин в культурі при комбінованому впливі іонізуючого випромінювання та іонів важких металів, підвищило виживаність (у 1,5 - 2 рази) та мітотичну активність (у 2 - 6 разів) клітин при одночасному зменшенні атипичних багатоядерних клітин. Високу ефективність «Мінерол» та «Бента» проявляли в діапазоні низьких концентрацій металів та малої дози радіації. За результатами експериментальних досліджень був показаний складний полімодальний характер змін при апоптозі та в системі енергообміну.

ВПЛИВ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ПРОМЕНІВ НА КІНЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕРМАТОЗОЇДІВ ПРИ ЛОКАЛЬНОМУ ОПРОМІНЕННІ ЩУРІВ

А. В. Клепко, В. М. Булавицька, О. А. Мотрина, С. В. Андрейченко

*ДУ "Національний науковий центр радіаційної медицини
НАМН України", Київ*

Реалізація пострадіаційних ефектів у сперматогенезі в діапазоні нестерилізуючих доз, коли ще можливе відтворення потомства, тісно пов'язано з пострадіаційним відновленням в статевих клітинах, ступінь вираженості якого залежить від величини та потужності дози радіаційного впливу, його енергії, віку самців під час опромінення, сезонності та інших факторів. Виходячи з високої радіочутливості сперматогенезу та незавершеності процесів пострадіаційного відновлення, навіть при хронічних опроміненнях з малими потужностями дози відмічено різноманітні відхилення від норми в розвитку потомства, зниження репродуктивної здатності, появу вроджених вад та індукцію канцерогенезу.

Метою проведеного дослідження було з'ясування біохімічних та фізіологічних змін, які виникають у сперматозоїдах локально опромінених тварин на передфертилізаційній стадії у різні терміни після проведення опромінення.

Дослідження проводились на статевозрілих білих безпородних щурасамцях. Локальне опромінення голови тварин здійснювали на установці РУМ-17 в діапазоні доз 0,1 - 10 Гр. Все тіло тварин, окрім голови, було захищене свинцевим жилетом. Тварин декапітували відразу після опромінення та через 1, 7 і 14 діб. Одразу ж після декапітації у тварин вирізували епідидиміси та готували суспензію сперматозоїдів.

З метою тестування рухливості сперматозоїдів краплю приготовленої суспензії сперматозоїдів переносили на предметне скельце та переглядали під мікроскопом МБИ-15 на збільшенні $\times 600$ з термостатуючим столиком. Концентрацію сперматозоїдів у поживному середовищі підраховували за допомогою камери Горяєва.

Для визначення АТФазної активності використовували мембрани сперматозоїдів. Кількісно препарати характеризували за вмістом в них білку, який визначали за методом Лоурі. У виділених мембранах вивчали активність Mg^{2+} -залежних АТФаз: K^+, Na^+ -АТФази та Ca^{2+} -АТФази. Кількість неорганічного фосфору визначали за методом Фіске - Субароу. Статистичну обробку результатів експерименту проводили методами варіаційної статистики з використанням t-критерію Ст'юдента.

Проведеними дослідженнями було показано, що локальне опромінення тварин рентгенівськими променями в діапазоні доз 0,1 - 10 Гр призводить до появи зворотних змін в функціональних характеристиках сперматозоїдів в післярадіаційний період, причому при дозі 1,0 Гр початкове збільшення до-

сліджуваних параметрів, а саме рухливості, концентрації сперматозоїдів та чисельності гіперактивованих сперматозоїдів, згодом, у більш пізні терміни після радіаційного впливу, повертались до рівня контрольних значень. При дозі в 2,5 Гр відбувалась поступова нормалізація цих параметрів, тоді як при дозі в 7,0 - 10,0 Гр залишкові негативні ефекти все одно зберігались. Встановлено, що гіперактивація сперматозоїдів тварин, локально опромінених у дозах 0,5 та 1,0 Гр, відбувалась в умовах різкого зростання ферментативної активності Ca^{2+} -АТФази при одночасному збільшенні активності K^+ , Na^+ -АТФази. Виявлені зміни в активності іон-транспортних АТФаз сперматозоїдів поступово нормалізувались через 14 діб після опромінення.

Отримані результати вказують на сприятливий перебіг відновлювальних процесів в сперматогенному епітелії опромінених тварин, що призводить як до позитивної репопуляції в сім'яниках, так і елімінації дефектних статевих клітин.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ЯКОСТІ СПЕРМИ ЛЮДИНИ ВІД ВМІСТУ РІЗНИХ КЛАСІВ ПРОСТАГЛАНДИНІВ ЗА УМОВ ДІЇ МАЛИХ ДОЗ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ

**Ю. А. Кондратова, Ю-М. І. Тачинська, А. В. Чернишов,
А. В. Клепко, С. В. Андрейченко**

*ДУ "Національний науковий центр радіаційної медицини
НАМН України", Київ*

Простагландини відіграють важливу роль у процесі запліднення, регулюючи рівень ендогенного кальцію в сперматозоїдах і тим самим зумовлюючи настання гіперактивації та акросомної реакції. Крім того, було встановлено, що простагландини в значній мірі відповідають за імуносупресорні властивості сперми, оскільки здатні впливати на метаболізм цитокінів, суттєво підвищуючи рівень інтерлейкінів 8 та 10 та інгібуючи синтез інтерлейкіну 12. Відомо, що в спермі людей превалюють простагландини класів Е і Ф, причому найбільша фізіологічна активність зосереджена в метаболітах Е-простагландинів з гідроксильованою групою в положенні 19.

Мета дослідження полягала в кількісному визначенні простагландинів Е та F_{2a} у сім'яній рідині чоловіків з різних регіонів України, а також аналізі існування кореляційних зв'язків між концентрацією простагландинів, фізіологічним станом сперматозоїдів та регіональною приналежністю донорів.

Дослідження проводились у групах добровольців віком 30 - 35 років. Збір сперми здійснювали шляхом мастурбації у спеціальні пластикові контейнери, після чого проводили її розрідження 30 - 60 хв при 37 °С та визначали загальний об'єм еякуляту. Аліквоту кожного зразка використовували для мікроскопічного аналізу еякуляту, який здійснювали за протоколом, що був запропонований ВООЗ, під мікроскопом «МБИ-6» (Росія) на збільшенні x500. Кон-

центрацію ПГЕ та ПГФ_{2α} і їх 19-гідроксильованих похідних визначали хроматографічними методами.

На підставі аналізу даних спермограм чоловіків було показано, що донори з Житомирської області мали значну схильність до прояву олігозооспермії та астенозооспермії, а також зменшення об'єму еякуляту. У жителів Києва та Київської області ця тенденція знижувалась, а в донорів з Івано-Франківської та Полтавської областей спостерігалась в незначній кількості. В той же час встановлено, що концентрація Е-простагландинів в спермі за середніми значеннями поступово збільшувалась при переході від Житомирської області до Полтавської, а Ф_{2α}-простагландинів, навпаки, зменшувалась. Одночасно визначено статистично достовірне зростання рівня 19-ОН ПГЕ та зменшення концентрації 19-ОН ПГФ_{2α} в сім'яній рідині чоловіків з відносно чистих регіонів (Полтавської та Івано-Франківської областей) порівняно з радіоактивно забрудненими - Києва, Київської та Житомирської областей.

Отримані дані вказують на пригнічення синтезу ПГЕ та 19-ОН ПГЕ у мешканців регіонів з високим рівнем радіоактивного забруднення місцевості. В таких умовах спостерігалось посилення утворення ПГФ_{2α} та 19-ОН ПГФ_{2α}, що могло бути пов'язано як з активацією простагландинкеторедуктази, так і радіаційно опосередкованою трансформацією ПГЕ в ПГФ_{2α} за рахунок відновлювальних процесів. В цьому зв'язку слід зазначити, що подібна ПГЕ-ПГФ_{2α} трансформація відбувалась і при прямому радіаційному опроміненні сперми щурів.

МОДИФІКУЮЧИЙ ВПЛИВ НЕЙТРОНОЗАХВАТНИХ АГЕНТІВ НА РАДІОГЕННІ ЗМІНИ В КЛІТИНАХ *IN VITRO*

Г. Й. Лавренчук¹, Ю. Б. Шевченко², В. В. Тришин²

¹ ДУ “Національний науковий центр радіаційної медицини
НАМН України”, Київ

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Одним з найбільш перспективним, але, одночасно, і найбільш складним варіантом променевої терапії пухлин є нейтронзахватна променева терапія (НЗТ). Селективна доставка атомів ¹⁰B до пухлини дозволяє, після впливу тепловими нейтронами, розраховувати на локальне пошкодження тільки самої мішені. Багатообіцяючим напрямком є синтез ¹⁰B – , або/та ¹⁵⁷Gd – вмісних сполук, які поєднують як властивості НЗА для нейтронзахватної терапії, так і фотосенсибілізаторів (ФС) для іншого бінарного метода, фотодинамічної терапії (ФДТ), і по суті є універсальними, або нейтронно-фотонними сенсибілізаторами (НФС). Метою дослідження було в експерименті в тест-системі клітинної популяції визначити дозову залежність клітинних реакцій за умови поєданого впливу НЗА та радіації.

Дослідження виконані на культурі клітин лінії L₉₂₉. Були використані ней-

тронозахватні агенти (НЗА): 1-карба-клозо-додекарборат цезію та {5,10,15,20-тетракіс[п-(1'-карба-клозо-додекарборан-1'-іл) тетрафторфеніл]17, 18-дигідропорфірин }натрію в концентрації 0.1 мкг/мл. Опромінювали γ -квантами ^{60}Co в дозах 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 7.5 та 10 Гр. Клітинні відповіді оцінювали у різні терміни культивування клітин за загальноприйнятими показниками життєздатності: проліферативна і мітотична активність, кількість атипових полікаріоцитів, апоптоз.

У результаті експериментальних досліджень із застосуванням тест-системи культури перещеплених клітин та низки показників їх морфофункціональних характеристик були отримані залежності «доза-ефект», встановлені характер та особливості поєднаного впливу на виживаність та апоптоз клітин НЗА та γ -випромінювання, яке є супутнім для нейтронів спектру поділу, з метою прогнозування інтегральної еквівалентної дози на основі визначення та аналізу отриманих клітинних реакцій.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В 30-КИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЕ ЧАЭС

Д. М. Бондарьков, В. А. Желтоножский

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Продолжены исследования миграции радионуклидов в 30-километровой зоне ЧАЭС, которые проводятся с 1990-х годов.

В 2012 г. были отобраны пробы земли на полигонах с разным типами почв.

Проведены измерения концентрации радионуклидов до глубины 40 см. Получены распределения активностей ^{90}Sr , ^{137}Cs изотопов Pu и ^{241}Am . Показано, что наблюдается соизмеримые вклады двух компонент: аэрозольной и топливной. Во всех разрезах наблюдается возрастание скорости миграции ^{90}Sr по сравнению с ^{137}Cs . В ряде разрезов наблюдается одинаковая скорость миграции суммарной активности изотопов Pu и ^{241}Am .

Проводится обсуждение полученных данных.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОДНОВРЕМЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОСТЕЙ ^{90}Sr И ^{137}Cs В РАДИАЦИОННОЗАГРЯЗНЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

**М. В. Желтоножская, Н. В. Кулич, А. И. Липская,
В. И. Николаев, Н. В. Стрильчук**

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Проведены экспериментальные исследования и предложена нерадиохимическая методика одновременного измерения активности ^{90}Sr ^{137}Cs в образцах окружающей среды, основанная на спектрометрическом измерении элек-

тронов, супроводжуючих распад цих ізотопів. Исследования проводились с использованием β -спектрометра на основе пластикового детектора толщиной 10 мм. Для калировки ефективності β -спектрометра використовувались стандартні джерела ^{40}K , ^{90}Sr і ^{137}Cs з об'ємними характеристиками близькими к експериментальним зразкам.

Обработка експериментальних спектрів проводилась методом їх порівняння з калібровочним спектром, т.е. в даному випадку – со спектрами, отриманими на цьому ж спектрометрі з використанням стандартних джерел ^{40}K , ^{137}Cs і $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ (фантомів). Спектри калібровочних джерел і фону описувалися кубічними сплайнами і в подальшому використовувалися для описання експериментальних спектрів. Реалізація цього процесу здійснюється в програмі Beta fit.

Урахування внеску β -частиць ^{40}K в сумарну активність досліджуваних зразків дозволило підвищити точність визначення активності $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ в зразках мишевидних гризунів і зразках ґрунту. Результати спектрометричних вимірювань ^{90}Sr були підтверджені радіохімічним аналізом. В доповіді будуть представлені експериментальні результати, отримані з використанням даних методических підходів.

МОБІЛЬНІСТЬ ^{90}Sr І ^{137}Cs В КОНТРАСТНИХ ЗА ВЛАСТИВОСТЯМИ ҐРУНТАХ

Ю. О. Іванов, Ю. В. Хомутінін, С. Є. Левчук, О. М. Кадигріб

Український НДІ сільськогосподарської радіології НУБіП України, Київ

В умовах модельно-польового і вегетаційного експериментів оцінено мобільність (міграційна рухливість і біологічна доступність) ^{90}Sr і ^{137}Cs , внесені в початковій водорозчинній формі в 15 контрастних за фізико-хімічними властивостями і механічним складом ґрунтів. Ґрунти з різних кліматичних регіонів України були завезені в 1988 році на експериментальний стаціонар УкрНДІСГР у зоні відчуження, представлені широким спектром від дерново-підзолистих піщаних до чорноземів важкосуглинних.

Процеси іммобілізації радіонуклідів в різних ґрунтах протікають з суттєво різною інтенсивністю і сильно розрізняються для ^{90}Sr і ^{137}Cs . З використанням методу послідовної екстракції (Ф.І. Павлоцька) показано, що за 22 роки депонування в ґрунтах спостерігається зниження вмісту водорозчинних форм ^{137}Cs в середньому від 36 разів в ґрунтах легкого механічного складу до 18 разів у важких ґрунтах; обмінних форм радіонукліда - відповідно, в 3.9 і 2.5 рази; форм, які пов'язані з полуторними оксидами, - зниження в 2 рази у ґрунтах легкого механічного складу, збільшення в 1.5 рази у важких ґрунтах. У той же час, процеси іммобілізації ^{90}Sr протікають з суттєво меншою інтенсивністю.

Оцінено розподіл ^{90}Sr в профілях 15 ґрунтів через 23 роки після внесення

радіонукліда в початковій водорозчинній формі. Оцінено параметри вертикального перенесення ^{90}Sr і ^{137}Cs у вказаних ґрунтах. Екологічні періоди напів-виведення радіонуклідів з орних горизонтів ґрунтів змінюються в межах: ^{90}Sr - від 3.7 року в ґрунтах легкого механічного складу до 90 років у важких ґрунтах; ^{137}Cs - від 60 років в ґрунтах легкого механічного складу до 320 років у важких ґрунтах.

Оцінено коефіцієнти накопичення ^{90}Sr і ^{137}Cs багаторічними травами з 15 ґрунтів при часі знаходження радіонуклідів в ґрунті 24 роки. За 22 - 24 роки коефіцієнти накопичення радіонуклідів травами знижується в середньому: ^{90}Sr - від 3.3 рази з ґрунтів легкого механічного складу до 6.8 разів з важких ґрунтів; ^{137}Cs - від 5.5 рази з ґрунтів легкого механічного складу до 74 разів з важких ґрунтів. Раніше отримані нами оцінки показують швидке протікання процесів іммобілізації ^{137}Cs в ґрунтах (періоди напівзниження вмісту водорозчинних і обмінних форм радіонукліда становлять 0.8 - 1.4 року впродовж перших 5 років після попадання в ґрунт) і, відповідно, швидке зниження інтенсивності надходження радіонукліда в рослини в перші роки після попадання ^{137}Cs в ґрунт (Іванов, 1997).

Раніше нами було показано, що на слідах випадінь викиду ЧАЕС процеси іммобілізації радіонуклідів в ґрунтах, винесення радіонуклідів з кореневмісного горизонту ґрунту і фізичного розпаду радіонуклідів вносять різний вклад в динаміку забруднення рослин на різних фазах розвитку поставарійної радіологічної ситуації (Іванов, 2004). Слід зазначити, що динаміка параметрів забруднення рослин ^{90}Sr на легких ґрунтах після його внесення в початковій водорозчинній формі (дерново-підзолиста піщана, слабкогумусований пісок і деякі інші) обумовлена не стільки іммобілізацією радіонукліда в ґрунті, скільки винесенням радіонукліда з кореневмісного горизонту ґрунту - за 24 роки знаходження в ґрунті в орних горизонтах вказаних ґрунтів залишилося 3 - 5 % активності радіонукліда від початкового значення.

РІВНІ РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ РИБ ЗАПОРІЗЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

О. М. Маренков, Г. С. Білоконь

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Київ

На сучасному етапі існування Запорізького водосховища загальна бета-активність води досить незначна і становила 0,22 - 0,34 Бк/л, вміст цезію колювався в межах 0,03 - 0,04 Бк/л, стронцію – 0,04 - 0,06 Бк/л. Але в умовах довгострокового забруднення водою низькими концентраціями радіоізотопів, вони можуть накопичуватися організмами гідробіонтів у значній кількості. Об'єктами досліджень були наступні види риб: карась сріблястий, плітка звичайна, окунь річковий, лящ звичайний, а також молодь риб літоральних ділянок водосховища. Матеріалом для роботи слугували ікра та м'язи риб.

Плітка. Найбільший вміст ^{137}Cs спостерігався у молоді риб: у цьоголіток – $9,09 \pm 1,03$ Бк/кг, у дволіток – $10,4 \pm 1,2$ Бк/кг. Найбільший вміст стронцію відмічений у дволіток в той момент, коли в раціоні живлення плітки з'явилися моллюски р. *Dreissena* – $5,2 \pm 0,2$ Бк/кг. В м'язах промислових особин середній вміст цезію становив $5,62 \pm 0,91$ Бк/кг, стронцію – $3,33 \pm 0,3$ Бк/кг.

Встановлено, що після повного переходу на живлення моллюсками р. *Dreissena* рівень вмісту радіонуклідів в організмі плітки знаходиться на рівні $3,8 - 6,3$ Бк/кг для ^{137}Cs та $2,2 - 3,3$ Бк/кг для ^{90}Sr , а при настанні статевої зрілості (особини віком від 4+ до 5+) та закладці ікри спостерігається підвищення вмісту цезію до $8,1 \pm 0,5$ Бк/кг та стронцію до $4,63 \pm 0,6$ Бк/кг. Рівні вмісту радіонуклідів чорнобильського походження в ікрі плітки становили: ^{137}Cs – $4,5 \pm 0,5$ Бк/кг, ^{90}Sr – $3,0 \pm 0,3$ Бк/кг.

Лящ. Найбільший вміст ^{137}Cs спостерігався у молоді риб: у цьоголіток – $15,2 \pm 2,13$ Бк/кг, у дволіток – $7,14 \pm 1,8$ Бк/кг. Вміст стронцію для молоді риб коливався в межах $4,2 - 4,7$ Бк/кг. Після переходу на живлення бентосом вміст радіонуклідів в м'язах промислових особин ляща особливо не змінювався і тримався на рівні $6,26 \pm 0,7$ Бк/кг для цезію та $4,45 \pm 0,25$ для стронцію. При настанні статевої зрілості та при закладці ікри спостерігається незначне підвищення вмісту радіонуклідів, що пояснюється фізіологічною активністю організму. Вміст цезію в ікрі ляща становив $4,25 \pm 0,27$ Бк/кг, стронцію – $2,93 \pm 0,31$ Бк/кг.

Карась. Найбільший вміст ^{137}Cs спостерігався у дволіток – $37,7 \pm 7,8$ Бк/кг. Вміст стронцію для молоді риб коливався в межах від $3,0$ Бк/кг у цьоголіток до $16,2$ Бк/кг у дволіток. Найменші показники вмісту штучних радіонуклідів спостерігалися в м'язах чотирьохліток – цезію – $5,49 \pm 0,6$ Бк/кг, стронцію – $2,5 \pm 0,4$ Бк/кг. Під час настання статевої зрілості (особини віком 4+ та 5+) спостерігається поступове підвищення вмісту цезію та стронцію до рівня $15,3 \pm 1,7$ Бк/кг та $5,5 \pm 0,75$ Бк/кг відповідно. Вміст цезію в ікрі карася становив $3,3 \pm 0,6$ Бк/кг, стронцію – $1,8 \pm 0,4$ Бк/кг.

Окунь. Найбільший вміст ^{137}Cs спостерігався у молоді риб: у цьоголіток – $57,2 \pm 9,5$ Бк/кг, у дволіток – $26,9 \pm 5,4$ Бк/кг. Найбільший вміст стронцію відмічений у цьоголіток в момент переходу до живлення іншими рибами – $17,6 \pm 2,8$ Бк/кг. В м'язах промислових особин вміст цезію становив $7,16 \pm 3,9$ Бк/кг, стронцію – $2,93 \pm 1,3$ Бк/кг.

Встановлено, що після повного переходу на живлення рибою рівень вмісту радіонуклідів в організмі окуня знаходиться на рівні $4,85 - 12,1$ Бк/кг для ^{137}Cs та $2,0 - 5,5$ Бк/кг для ^{90}Sr , а при настанні статевої зрілості (особини віком від 4+ до 5+) та закладці ікри вміст цезію та стронцію становив $6,38 \pm 1,5$ Бк/кг та $2,4 \pm 0,7$ Бк/кг відповідно. Рівні вмісту радіонуклідів чорнобильського походження в ікрі окуня становили: ^{137}Cs – $4,5 \pm 0,6$ Бк/кг, ^{90}Sr – $3,2 \pm 0,4$ Бк/кг.

Узагальнюючи результати щодо вмісту радіонуклідів у промислових рибах можна побудувати наступні ряди, які характеризують накопичення ра-

діонуклідів тканинами та органами досліджуваних видів риб у порядку збільшення концентрації радіоактивних речовин: ^{137}Cs – плітка < лящ < карась < окунь; ^{90}Sr – лящ < плітка < карась < окунь.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДІВ З НЕЙТРОНОЗАХВАТНОЇ ТЕРАПІЇ

**В. А. Лібман¹, В. Ф. Разбудей¹, В. В. Тришин¹, Л. Е. Червонна¹,
Ю. Б. Шевченко¹, Г. Й. Лавренчук²,
Ю. С. Іванов³, О. Ю. Михацький³, М. Г. Сосонкін³**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Державна установа Національний науковий центр НАМН України, Київ*

³ *Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень
НАН України, Київ*

На основі існуючої опромінювальної установки для нейтронозахватної синовектомії на горизонтальному каналі № 5 дослідницького реактора ІЯД НАН України створено установку, що дозволяє здійснювати нейтронне опромінення біологічних об'єктів при заданій температурі. Для цього була зроблена система термостабілізації піддослідних біологічних зразків під час опромінення нейтронами з дистанційним контролем температури.

Шляхом створення математичної моделі установки та розрахунків за методом Монте-Карло були досліджені нейтронні поля усередині термостабілізованої камери. При цьому були враховані вихідні параметри нейтронного пучка, що змінились внаслідок переведення реактора на низько-збагачене паливо.

Спектр нейтронів був переважно тепловий, що було досягнуто розміщенням на пучку монокристалічного кремнію. Були розраховані потоки нейтронів у центрі термостату за наявності на пучку як тільки основного нейтронного фільтру з монокристалу кремнію, так і у комбінації з додатковим фільтром з металевого вісмуту, який застосовується для зниження рівня фона гамма-променів. Розраховано потужності поглинених та еквівалентних радіаційних доз всередині термоблока на позиції розташування біологічних зразків. Показано, що введення боровміщуючих сполучень у тканину, наприклад, борної кислоти, на два порядки підвищує потужність еквівалентної дози при опроміненні тепловими нейтронами. Отримані результати свідчать, що (враховуючи температурний діапазон термостата) параметри установки дозволяють проводити з її допомогою дослідження *in vitro* з нейтронозахватної терапії, гіпертермії та комбінації цих двох методів лікування.

ОСОБЛИВОСТІ МІГРАЦІЇ РАДІОНУКЛІДІВ ^{137}Cs І ^{90}Sr В ҐРУНТАХ ТА НАКОПИЧЕННЯ ЇХ РОСЛИНАМИ

**М. В. Желтоножська, Н. В. Куліч, А. І. Липська,
В. І. Ніколаєв, В. А Шитюк**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Проведено радіоекологічні дослідження на чотирьох моніторингових полігонах зони відчуження ЧАЕС. Полігони суттєво відрізняються за рівнем радіаційного забруднення і мають складну структуру розподілу радіаційних полів. На полігонах, що розташовані в ближній зоні ЧАЕС, спостерігали виражену «плямистість», а на інших – дозові поля розподілялись більш рівномірно. В місцях відбору проб ґрунту вимірювали потужність дози γ -випромінювання. Характер і величину вертикальної міграції радіонуклідів в ґрунтовому профілі досліджували до глибини 30 см. Спектрометричні дослідження зразків ґрунту зафіксували присутність наступних радіонуклідів: ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , ^{154}Eu , $^{238-240}\text{Pu}$, ^{40}K . Найбільший внесок у загальний запас радіоактивних випадінь вносять ^{137}Cs і ^{90}Sr , а вміст інших радіонуклідів у ґрунтах був відносно невеликим. На всіх дослідних територіях сумарна концентрація ^{137}Cs в ґрунті була в 1,5 - 2,7 разів вищою ніж концентрація ^{90}Sr . Проведені дослідження показали неоднорідне розподілення радіонуклідів у ґрунті.

Встановлено, що динаміка вертикальної міграції радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr добре описується експоненціальною залежністю. Показано, що для ^{90}Sr характерна більш інтенсивна міграція по профілю досліджених ґрунтів, ніж для ^{137}Cs . Слід зазначити, що незважаючи на роки, що минули після аварії, основний запас аварійних радіонуклідів головним чином знаходиться у верхніх шарах ґрунту. Отже, вертикальна міграція радіонуклідів в ґрунті проходить доволі повільно і найближчим часом не слід очікувати суттєвого очищення кореневого шару за рахунок вертикальної міграції.

Досліджено коефіцієнти накопичення радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr рослинами, виявлено міжвидові відмінності. Встановлено, що рівні накопичення рослинами на 2-3 порядки нижче, ніж у грибів, відібраних на одних і тих же ділянках. Поведінка радіонуклідів в природних екосистемах обумовлена їх фізико-хімічними властивостями, рельєфом та вологістю ґрунту.

ДИНАМІКА ВМІСТУ ^{137}Cs В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ҐРУНТУ м. УЖГОРОД

І. С. Потокі, О. О. Парлаг, В. Т. Маслюк, О. І. Лендел

Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород

Радіоактивний цезій – один з основних джерел внутрішнього та зовнішнього опромінення людей. Потрапляє в довкілля ^{137}Cs , в основному, за рахунок викидів під час вибухів ядерної зброї та аварій на підприємствах атомної промисловості. Потрапивши в біосферу, цей радіонуклід легко мігрує в ґрунті як у вертикальному так і в горизонтальних напрямках, і включається в ланцюги живлення людини [1].

Експериментальними даними доведено, що основна кількість ^{137}Cs концентрується в поверхневому шарі ґрунту (2 - 10 см). Пробовідбір проводився в 37 точках Ужгорода протягом 2006 - 2012 рр. Проводився точковий пробовідбір методом «конверта» з наступним формуванням об'єднаної проби методом квартування.

Для вимірів питомої активності ^{137}Cs у пробах ґрунтів використовувався сертифікований комплекс "SBS-40" з коаксіальним напівпровідниковим Ge(Li)-детектором, який знаходився у комбінованому захисті, що дозволяло зменшити власний фон відносно фонових умов лабораторії [2, 3]. Виміри проводилися в спеціальному контейнері ємністю 0,5 дм³. Час виміру становив 20000 с. Під час проведення вимірів проб здійснювався контроль спектрометричного комплексу по наступних параметрах: дрейф каналів; роздільна здатність; ефективність реєстрації. Зміна вказаних параметрів за час вимірів не перевищувала 1 %. Статистична похибка вимірів не перевищувала 15 %.

Середнє значення питомої активності ^{137}Cs наведено в таблиці.

Середнє значення питомої активності ^{137}Cs , Бк кг⁻¹

2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
4,8 ± 0,4	6,1 ± 0,8	6,6 ± 0,5	5,2 ± 0,5	4,3 ± 0,4	6,7 ± 0,5	6,2 ± 0,6

Відсутність аномально великих значень питомої активності у всіх точках пробовідбору за досліджуваний період свідчить про відсутність радіоактивного забруднення радіоцезієм в Ужгороді.

1. *Василенко І.Я.* Радіоактивний цезій-137 // Радіобиологія. Природа. - 1999. - Вип. 3. - С. 70 - 76.
2. *Потокі І.С.* Параметричне описання абсолютної ефективності напівпровідникових детекторів для виміру активності об'ємних зразків // Науковий вісн. Ужгородського ун-ту. Серія Фізика. - 2012. - Вип. 31. - С. 196 - 201.
3. *Парлаг О.О., Стець М.В., Маслюк В.Т. та ін.* Про спектральний склад природної гамма-активності // Вісн. Ужгородського ун-ту. Сер. Фізика. - 1999. - № 5. - С. 129 - 133.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДХОДІВ ЩОДО ВИПРАВДАНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОТИРАДІАЦІЙНИХ КОНТРЗАХОДІВ У НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ УКРАЇНИ, ЯКІ Є КРИТИЧНИМИ

Е. С. Тенкач

Національний університет біоресурсів і природокористування, Київ

При розробці стратегії реабілітації радіоактивно забруднених територій внаслідок Чорнобильської катастрофи, оптимізація проведення захисних заходів (контрзаходів) є обов'язковою. Актуальність даної проблеми зумовлена масштабністю забруднення та необхідністю проведення контрзаходів на значних територіях протягом тривалого часу, що вимагає значних матеріальних затрат.

Метою роботи є розроблення стратегії та оптимізація впровадження заходів на радіоактивно забруднених територіях, спрямованих на отримання радіологічно чистої продукції, що відповідає санітарно-гігієнічним нормам (ДР-2006) і гарантує не перевищення допустимого рівня середньорічної дози опромінення населення (1 мЗв). Для вирішення наших завдань була опрацьована система підтримки прийняття рішень ReSCA (Remediation Strategy after Chernobyl Accident - стратегія реабілітації після Чорнобильської аварії), яка є результатом регіонального проекту МАГАТЕ. Дана програма максимально враховує дані, характерні для кожного населеного пункту і дає змогу моделювати параметри при плануванні контрзаходів на рівні кожного випасу для кормівиробництва.

З метою адаптації та апробації даної програми були визначені критичні населені пункти радіоактивно забруднених регіонів України - Житомирської та Рівненської областей - за рівнями дозових навантажень на населення (вище 1 мЗв/рік) та забруднення молока (вище 100 Бк/л). Вивчення даних дозиметричної паспортизації попередніх років дало змогу виділити населені пункти, найбільш критичні не за щільністю забруднення ґрунтів радіонуклідами, а за високими дозами внутрішнього опромінення. Згідно останніх даних були виділені 7 населених пунктів в Житомирській області та 17 в Рівненській.

Попередні результати досліджень та наших розрахунків свідчать, що на даний час практично в усіх критичних населених пунктах є можливість знизити дозу опромінення місцевого населення до встановлених меж (1 мЗв/рік) за рахунок впровадження тих чи інших спеціальних заходів або їх поєднання.

НАКОПИЧЕННЯ ^{90}Sr Й ^{137}Cs ТА ФІЗІОЛОГІЧНА РЕАКЦІЯ ОЧЕРЕТУ ЗВИЧАЙНОГО В УМОВАХ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Д. Д. Ганжа¹, Х. Д. Ганжа², О. Б. Назаров³

¹ДСП “Централізоване підприємство з поводження
з радіоактивними відходами”, Чорнобиль

²Інститут гідробіології НАН України, Київ

³ДСП “Чорнобильський спецкомбінат”, Чорнобиль

Нами проведено вивчення біогеохімічної та фізіологічної реакції очерету звичайного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud) у різних умовах радіаційного забруднення екосистем деяких водойм ЗВ ЧАЕС.

Протягом 2011 р. та 2012 р. були зібрані листки очерету у літоральній зоні 6-ти водойм ЗВ ЧАЕС - оз. Азбучин, оз. Глибоке, оз. Далеке, Водойма охолодник ЧАЕС, Янівський затон р. Прип'ять у районі м. Прип'ять та р. Прип'ять у м. Чорнобиль.

Зі свіжовідібраних проб для оцінки поверхневого накопичення завислих речовин та фізіологічно-значущих іонів робили водні змиви при співвідношенні маса листя/вода (1:5) протягом 2 хв., для оцінки фізіологічної реакції рослин на якість довкілля вимірювали концентрацію іонів у водному екстракті листя (30 хв.) (Ганжа, 2011). У отриманих розчинах оцінювали концентрацію завислих речовин у нефелометричних одиницях каламутності водного розчину (NTU). Концентрацію іонів у листках оцінювали у водному екстракті (12 год.) виконаному згідно ГОСТ 26180-84. У водних змивах та екстрактах вимірювали рН, кондуктивність ($\text{мСм}\cdot\text{см}^{-1}$), концентрацію іонів (ppm) Ca^{2+} , K^{+} , Mg^{2+} та амонійного азоту (NH_4^{+}). Для вимірювань застосовано прилад контролю якості води U-10 (Horiba), іномір рХ-150МИ, кондуктометр SX-650.

Послідовну екстракцію фізико-хімічних форм радіонуклідів у рослинних препаратах проводили згідно методики (Vazquez, 1999) різними реагентами за такою схемою: 1) розчинені позаклітинні катіони - дистильованою водою; 2) сорбовані позаклітинні слабкозв'язані катіони - розчином NiCl_2 ; 3) сорбовані позаклітинні катіони - розчином EDTA; 4) внутріклітинні катіони - розчином HNO_3 (1 М); 5) катіони, зв'язані з органічною речовиною - розчином 35% H_2O_2 + HNO_3 ; 6) мінеральна фракція - розкладення малорозчинного залишку розчином концентрованої HCl . Вимірювання ^{137}Cs в пробах проводили на гамма-спектрометрі SBS-30. Радіохімічне виділення ^{90}Sr проводили за оксалатною методикою з подальшим вимірюванням питомої активності на установці малого фону УМФ-2000 його дочірнього продукту ^{90}Y (Кузьменко, 2001).

Аналізи виконано із сумарною відносною похибкою, що не перевищувала $\pm 30\%$.

За результатами досліджень знайдено, що кількість змитих із поверхні ли-

стя завислих речовин пов'язана не тільки із техногенним, але й біогенним впливом. Кореляційний аналіз показав тісний зв'язок із коефіцієнтом 0,81 між завислими речовинами сорбованими на поверхні листя очерету та розчиненими позаклітинними катіонами ^{90}Sr , які становлять від 0,5 % до 3 % загальної активності ^{90}Sr у листі очерету в місцях спостережень. Достовірного зв'язку із ^{137}Cs не встановлено.

Вихід іонів, у першу чергу - K^+ , із внутрішнього середовища листків у водний екстракт (30 хв.) збільшується на 10 - 20 % у місцях найбільшого радіаційного забруднення, що свідчить про фізіологічну реакцію листків очерету на опромінення.

Концентрація іонів у водному екстракті листків (12 год.), у першу чергу K^+ , зворотно корелює із сорбованими, внутріклітинними та зв'язаними формами нуклідів (припадає до 90 % загальної активності), утворюючи середньої сили та сильні зв'язки.

Результати проведених досліджень показали зв'язок фізіологічної реакції та біогеохімічного стану рослин із накопиченням різних форм радіонуклідів.

СИСТЕМА ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЇ ЗРАЗКІВ ДЛЯ РАДІОБІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Ю. С. Іванов¹, В. А. Лібман², О. Ю. Михацький¹,
М. Г. Сосонкін¹, Ю. Б. Шевченко²**

*¹ Міжнародний центр астрономічних
та медико-екологічних досліджень НАН України, Київ
² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

Для підтримання заданої температури біологічних зразків під час опромінення нейтронами або рідкоіонізуючим випромінюванням, була спроектована і виготовлена система термостабілізації зразків з віддаленим контролем температури. Метод термостатування – активний підігрів з релейним регулюванням. Метод передачі даних про температуру в Т-боксі вибраний найбільш перешкодозахищений - «струмова петля». Датчик температури - напівпровідникова мікросхема TMP-01.

Система складається з наступних частин: термостатований бокс (Т-бокс) з камерою для зразків; блок керування Т-боксом; пульт віддаленого контролю; УТР кабель пульта віддаленого контролю.

Основні параметри системи: діапазон робочих температур у камері +30 - +44 °С; точність підтримання температури 1 °С ; зовнішня температура +5 - +24 °С; час встановлення температури 2 год; відстань від Т-боксу до блоку керування - до 2м; відстань до пульта віддаленого контролю - до 100м.

При розробці та виготовленні Т-боксу перевага надавалась матеріалам, які не активуються, або слабо активуються в нейтронних полях: підігрівач – свинцева стрічка з перерізом 0.7×1.5 мм; корпус та клементи кріплення – з по-

ліетилену, пінополіуретану та свенцю; матеріал вікна для входу випромінювання – лавсанова плівка завтовшки 10 мкм з алюмінієвим напиленням.

Система може використовуватись як у складі експериментальної опромінювальної установки для нейтронозахватної терапії (НЗТ), так і з джерелами рідко іонізуючого випромінювання – моделювання променевої терапії (ПТ). Температурний діапазон системи дозволяє також проводити експерименти з гіпертермії та її комбінації з НЗТ або ЗПТ.

ДИНАМІКА ВПЛИВУ ВНЕСЕНИХ ДОБРИВ НА РІЗНИХ ТИПАХ ГРУНТУ НА НАДХОДЖЕННЯ ^{137}Cs У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ КУЛЬТУРИ У ВІДДАЛЕНІЙ ПЕРСПЕКТИВІ ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧАЕС

О. В. Косарчук, О. М. Кадигріб, М. М. Лазарєв

*Український НДІ сільськогосподарської радіології
Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ*

Для зниження надходження радіонуклідів у рослини існує достатньо широкий набір меліорантів, доступних і відносно дешевих для застосування у сільськогосподарському виробництві.

Дослідження впливу різних систем внесення добрив на вміст ^{137}Cs у суміші злакових трав, зеленої масі гороху, люпину та вівса проводили в умовах мікропольових дослідів на чорноземі, дерново-підзолистому та торфово-болотному ґрунтах. В якості добрив вносили NPK рекомендованих доз для різних типів ґрунту та кожної культури.

Результати досліджень показали, що застосування різних варіантів заходів у віддаленій період після аварії дещо по іншому впливають на класичні уявлення про накопичення ^{137}Cs сільськогосподарськими культурами.

На чорноземі внесення підвищених доз калійних добрив ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$, K_2SO_4) в різних варіантах, додатково до фонових значень з метою зниження накопичення ^{137}Cs вказаними вище рослинами, було мало ефективним. При цьому слід відмітити, що на даному типі ґрунту спостерігались мінімальні значення K_H ^{137}Cs . При внесенні додаткових доз азотних добрив ($Ca(NO_3)_2 \cdot 4H$, NH_4NO_3) в різних культурах відмічено підвищене накопичення ^{137}Cs .

На дерново-підзолистому ґрунті внесення підвищених доз калійних добрив при такому ж співвідношенні компонентів відмічено зниження значення K_H ^{137}Cs . При внесенні додаткових доз добрив в комплексі з азотними, навпаки, K_H збільшується в два рази для люпину, та півтора для вівса та інших культур.

Найбільша ефективність зниження K_H спостерігається на обох типах ґрунту для досліджуваних культур при застосуванні в якості добрива калій магnezій в дозі 150 % від рекомендованої під культуру.

На торфово-болотному ґрунті внесення підвищених доз калійних добрив

навіть у комплексі з азотними дає суттєве зниження K_n до 2 разів.

Додаткове внесення калійних добрив протягом кількох років на чорноземі та дерново-підзолистому ґрунтах, в комплексі з азотними добривами, замість очікуваного зниження K_n привело до його збільшення для різних видів сільськогосподарських культур. На фоні росту врожайності відмічене суттєве зростання забруднення рослин ¹³⁷Cs.

Радіологічна ефективність додаткового внесення калійних добрив спостерігається тільки для торфово-болотного ґрунту.

РЕАБІЛІТАЦІЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ, ЩО ЗАБРУДНЕНІ ВАЖКИМИ ПРИРОДНИМИ РАДІОНУКЛІДАМИ

Ю. В. Хомутінін, Ю. О. Іванов, В. К. Кириченко

*Український НДІ сільськогосподарської радіології
Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ*

Серед джерел радіаційного опромінення людини особливе місце займають важкі природні радіонукліди (ВПРН). Забруднення навколишнього середовища в районах розташування урановидобувних підприємств пов'язані з аерозольними викидами, а також з утворенням хвостосховищ (відвалів). В Україні протягом багатьох років функціонують підприємства по видобутку та переробці уранових руд, що призвело до утворення хвостосховищ із високим вмістом ВПРН. Ці підприємства та їхні відвали, як правило, розміщені в районах із розвинутим сільським господарством і є потенційними джерелами забруднення земель сільськогосподарського призначення ВПРН. Значна частина цих хвостосховищ, які сформувалися в початковий період розвитку атомної промисловості, в даний час не в повній мірі відповідають сучасним природоохоронним вимогам. У зв'язку з вище сказаним дуже важливими та актуальними є питання оцінки забруднення ВПРН от техногенно-підсиленних джерел земель сільськогосподарського призначення, які використовуються населенням для виробництва продуктів харчування, а також розробки алгоритму підтримки прийняття рішень про необхідність та доцільність втручання в радіологічну ситуацію, яка сформована ВПРН на сільськогосподарських угіддях.

На основі узагальнення фактичних даних, які отримані авторами, та висновків інших науково-дослідних робіт, пов'язаних із вивченням стану земель, що забруднені ВПРН і міграції їх в біоценозах та в харчових ланцюгах, запропоновано алгоритм підтримки прийняття рішень про доцільність втручання в радіологічну ситуацію на землях сільськогосподарського призначення, що забруднені ВПРН за рахунок техногенно-посилених джерел природного походження.

Запропонований алгоритм враховує випадковий характер вмісту ВПРН в ґрунтах, сільськогосподарських рослинах і продуктах харчування в зоні впливу

техногенно-підсилених джерел природного походження і забезпечує виконання вимог МАГАТЕ і НРБУ-97. Він був апробовано на базі сільськогосподарських полів і присадибних ділянок жителів н.п. Карнаухівка і Таромське, які знаходяться у безпосередній близькості до території проммайданчику Придніпровського хімічного заводу і його хвостосховищ. Показано, що радіологічна ситуація на сільгоспугіддях і присадибних ділянках в зоні впливу Придніпровського хімічного заводу і його хвостосховищ при забрудненні цих угідь у даний час ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U не потребує втручання.

Реалізація цього підходу дозволить мінімізувати ризик для здоров'я населення, який обумовлений споживанням сільськогосподарської продукції, що вироблена на вказаних угіддях та територіях в зоні впливу техногенно-підсилених джерел природного походження та мінімізувати соціальні наслідків.

ОЦІНКА ВПЛИВУ РОЗРОБКИ ХОТИСЛАВСЬКОГО КАР'ЄРА НА РАДІОЕКОЛОГІЧНУ СИТУАЦІЮ У ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ ШАЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ

**О. М. Волкова¹, В. В. Беляєв¹, А. М. Михалевич²,
О. О. Пархоменко¹, С. П. Пришляк¹**

¹ *Інститут гідробіології НАН України, Київ*

² *Національний університет «Києво-Могилянська Академія», Київ*

На північному заході України розташований унікальний природний комплекс – Шацький національний парк (ШНП), який об'єднує понад двадцять озер. Ці озера мають різний трофічний статус. Так, найбільше озеро Світязь - оліготрофне, деякі інші евтрофні. По території ШНП проходить Європейський водорозділ. У безпосередній близькості від ШНП планується подальший розвиток Хотиславського кар'єра, дно якого буде розташовано набагато нижче за рівень поверхневих вод. Значний об'єм ґрунтових вод з кар'єра планується відкачувати. Видалення ґрунтових вод з кар'єра може призвести до змінення озер ШНП. Тому, з огляду на можливість погіршення радіоекологічної ситуації внаслідок зміни гідрологічного стану водойм, ми визнали за необхідне спрогнозувати можливі зміни рівнів радіонуклідного забруднення води та їхтїофауни у разі зменшення рівня води в озерах. Існують моделі українських та закордонних дослідників, які досить добре описують зміну радіоекологічної ситуації у водоймах. Ці моделі базуються на значному обсязі вхідної радіоекологічної інформації, в першу чергу про особливості радіонуклідного забруднення водних мас та донних відкладів. Для більшості озер ШНП така інформація відсутня. Для оцінки впливу можливого зниження рівня води в озерах на вміст радіонуклідів у водних масах нами запропонована модель, яка базується не на використанні коефіцієнтів накопичення (розподілу), а на врахуванні зменшення об'єму озер та виходу рухливих форм радіонуклідів з осушених ділянок.

Результати моделювання показують, що зниження води на 0,2 м може призвести до підвищення концентрації ^{90}Sr у воді глибоководних озер, таких, як Світязь, Пулемецьке, Пісочне та Люцимер, на 5 - 10 %, у воді мілководних озер підвищення вмісту радіонуклідів може досягти 95 %. У разі зменшення рівня води на 1 м концентрація радіонукліда у воді мілководних озер може збільшитися в 2 - 10 разів. За прийнятими у моделі параметрами збільшення концентрації ^{137}Cs у воді озер може бути ще інтенсивнішим.

Для оцінки впливу можливого змінення озер на рівні вмісту радіонуклідів у рибах розрахунки проводилися за найбільш консервативним сценарієм. Встановлено, що зменшення рівня води оз. Світязь на 0,2 м призведе до збільшення вмісту ^{90}Sr у рибах на 5 %, на 1 м - на 26 %, збільшення вмісту ^{137}Cs становитиме 9 % та 48 %, відповідно. У рибах мілководного оз. Соминець при відповідних гідрологічних змінах вміст ^{137}Cs у рибах зростає у 2 та 10 разів.

Необхідно відзначити, що у ході реалізації програми моніторингу в зоні впливу Хотиславського кар'єра, яка була затверджена у 1994 р., радіоекологічні дослідження водних екосистем залишилися практично поза межами уваги наукової спільноти. Моделювання радіоекологічної ситуації показало, що при несприятливому збігу обставин зниження рівня води мілководних озер на 0,2 м може призвести до перевищення встановлених законодавством рівнів вмісту радіонуклідів у рибах.

АНАЛІЗ СТАНУ НОРМАТИВНО-МЕТОДОЛОГІЧНОЇ БАЗИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ОЦІНОК ВПЛИВУ ЯДЕРНО-РАДІАЦІЙНИХ УСТАНОВОК МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

О. В. Гайдар¹, В. В. Тришин¹, Т. О. Гайдар²

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Національний університет "Києво-Могилянська Академія", Київ*

На сьогодні в Україні знаходять все більш широке застосування сучасні ядерно-радіаційні методи діагностики та лікування онкологічних захворювань, які визнані у всьому світі серед найбільш дієвих та ефективних. Розробляються і вводяться в експлуатацію нові радіологічні центри, які оснащені сучасними високоенергетичними електронними прискорювачами для дистанційної радіотерапії та радіохірургії, циклотронами та радіохімічними лабораторіями для виробництва радіофармпрепаратів, у тому числі для позитрон-емісійної томографії, ведуться роботи щодо розвитку найсучасніших методів протонної та нейтронної терапії. Такі центри, як правило створюються на території існуючих майданчиків спеціалізованих клінік та інститутів, які часто знаходять в центральних, густонаселених районах великих міст з багатоповерховою забудовою. За цих умов набуває особливої актуальності питання науково-методологічної обґрунтованості методик при проведенні оцінок впливу таких установок на персонал медичних закладів, населення та довкіл-

ля. В доповіді обговорюються результати аналізу існуючої нормативно-методичної бази, прийнятої для проведення відповідних оцінок в Україні, Росії, міжнародного досвіду та рекомендацій національних та міжнародних агенцій.

ЯДЕРНО-КРИМІНАЛІСТИЧНІ БАЗИ ДАНИХ ТА БІБЛІОТЕКИ МАТЕРІАЛІВ

О. В. Гайдар, В. В. Тришин

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 02.06.2003 р. № 813 Інститут ядерних досліджень НАН України визначено як головну експертну організацію з питань дослідження та визначення характеристик радіоактивних матеріалів, які вилучено з незаконного обігу. Фахівці Інституту мають багатолітній досвід проведення ядерно-криміналістичних експертиз. Досягнуті результати цієї діяльності високо оцінюються не тільки в Україні але й міжнародним співтовариством. Свідченням цього стало проведення у Києві у 2011 р. 16-ї наради Міжнародної технічної робочої групи, яка об'єднує провідних фахівців світу в галузі ядерної криміналістики.

Ядерна криміналістична експертиза є більше, ніж аналітичне визначення характеристик вилучених ядерних та інших радіаційних матеріалів (ЯРМ). Її кінцевою метою є інтерпретація отриманих результатів та відповідь на питання: що являє собою вилучений матеріал, яким було його первинне призначення, де він використовувався і хто міг бути його останнім законним власником, яким шляхом цей матеріал міг потрапити на місце події, тощо. Це вимагає інтеграції досвіду та знань з різноманітних відповідних галузей науки, криміналістики та ядерних технологій. Однією з умов для ефективного та своєчасного вирішення поставлених задач є наявність референтних бібліотек даних та матеріалів для ядерної криміналістики. Такі бібліотеки являють собою важливий компонент національної стратегії по боротьбі з незаконним обігом ядерних матеріалів. Створення інформаційних можливостей на національному рівні та розробка механізмів для міжнародного співробітництва в сфері обміну інформацією та даними, визнаються як життєво важливі та невідкладні проблеми, що в найближчому майбутньому потребуватимуть вирішення з боку міжнародного співтовариства для боротьби з ядерним тероризмом і незаконним обігом ЯРМ.

Не тільки для України, але й для країн ГУАМ, задача створення централізованої бібліотеки з визначеною точкою доступу формулюються вперше. Ці зусилля співпадають з аналогічними роботами, які на сьогодні проводяться в Європі та США.

У доповіді обговорюються підходи та проблеми пов'язані зі створенням бібліотек даних та матеріалів для ядерної криміналістики в Україні. Створен-

ня пілотного проекту бібліотеки даних та матеріалів планується на базі ядерно-криміналістичної лабораторії в Інституті ядерних досліджень НАН України у відповідності до міжнародних рекомендацій. Пілотний проект, реалізація якого передбачає міжнародну кооперацію, буде включати в себе емпіричні дані та референтні дані з відкритих літературних джерел, відповідні інструменти для вибірок даних, а також інструменти для моделювання, статистичного аналізу та просторового аналізу.

ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ КОМПЛЕКСУ ПЕРЕРОБКИ РАВ (РЕКОНСТРУКЦІЯ) НА ЗАПОРІЗЬКІЙ АЕС

**В. В. Тришин, О. В. Гайдар, О. В. Сваричевська, О. В. Святун,
І. О. Павленко, Т. О. Гайдар, Р. В. Завада**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Однією з необхідних умов сталого розвитку нашої держави є вирішення проблеми її надійного енергозабезпечення. При всіх екологічних перевагах використання відновлювальних джерел енергетики вони, щонайменше у найближчому часі, не зможуть повністю замінити традиційні джерела енергопостачання, зокрема атомної енергетики. Однак екологічно виправдане використання атомної енергетики вимагає як підвищення рівня безпеки та надійності експлуатації самих енергоблоків, так і ретельного вибору відповідних допоміжних технологій, зокрема з мінімізації та іммобілізації радіоактивних відходів.

Фахівцями Центру екологічних проблем атомної енергетики проведена оцінка впливу на навколишнє середовище нових технологічних рішень, які плануються до впровадження на комплексі з переробки радіоактивних відходів (КПРАВ) на майданчику Запорізької АЕС (ЗАЕС). Зокрема планами з реконструкції та модернізації КПРАВ планується встановити нові установки для фрагментації великогабаритних РАВ, спалювання відпрацьованих радіоактивно забруднених мастил та твердих горючих РАВ, пресування твердих негорючих РАВ, встановлення нової системи радіаційного та хімічного моніторингу у викидах з модернізованого КПРАВ ЗАЕС.

Оцінка проведена у повній відповідності з вимогами законодавства України, зокрема ДБН А.2.2.-1-2003, та рекомендаціями міжнародних організацій.

Для обґрунтування доцільності запланованої діяльності та характеристики існуючого стану було проведено аналіз: даних щодо накопичення РАВ на майданчику ЗАЕС та існуючими потужностями для їх переробки і зберігання; інформації щодо методів поводження з РАВ, їх ефективності і впливу на довкілля у порівнянні з запропонованими для впровадження у проекті модернізації; екологічної та соціально-економічної ситуації в районі ЗАЕС за останні роки (2005-2011рр.); даних радіаційного моніторингу газо-аерозольних викидів радіоактивних речовин об'єктами ЗАЕС (6 енергоблоків ВВР-1000 та 2

спецкорпуси); тощо. При аналізі були використані сучасні методи обробки інформації у тому числі ГІС.

При оцінці впливу на оточуюче середовище модернізованих установок КППРАВ ЗАЕС було враховано як радіаційну так і хімічну складові впливів. Оцінки свідчать, що завдяки застосуванню сучасних багатоступеневих систем очистки газо-аерозольних викидів радіаційний вплив знаходиться значно менше встановленої НРБУ квоти ліміту дози (40 мкЗв/рік), а викиди хімічних забруднюючих речовин CO, HCl, SO₂, NOx, менше ГДК вже на виході з вентиляційної труби ВТ-СК1.

РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ РАДІОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ ⁹⁰Sr ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКЦІЇ У КИЇВСЬКІЙ ТА ЧЕРНІГІВСЬКІЙ ОБЛАСТЯХ

**Л. М. Отрешко^{1,2}, С. Є. Левчук², А. І. Мельник³,
В. О. Кашпаров², Л. В. Йошенко²**

¹ *Кафедра радіобіології Національного університету біоресурсів
і природокористування України, Київ*

² *Український НДІ сільськогосподарської радіології
Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ*

³ *Чернігівський центр «Облдержродючість», Чернігів*

Мережа спостережень у 2012 р. була вибрана з врахуванням попереднього досвіду по вивченню забруднення рослинницької продукції ⁹⁰Sr та рекомендацій щодо проведення моніторингу. На цих територіях (Іванківський район Київської області, Козелецький та Чернігівський райони Чернігівської області) були відібрані проби ґрунту та зернової продукції.

Метою досліджень було отримання актуальної інформації щодо радіоактивного забруднення радіостронцієм продовольчого зерна та його відповідності ДР-2006.

У зразках ґрунтів були визначені активність ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr та основні показники, які впливають на поведінку та доступність радіостронцію рослинам, а саме: кислотність, вміст фосфору та обмінного кальцію. Крім того, були розраховані коефіцієнти переходу та коефіцієнти накопичення ⁹⁰Sr в зерно. У зерні визначалась активність ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr.

Як свідчать результати досліджень, вміст ¹³⁷Cs у зерні у більшості випадків знаходився у межах 3 - 5 Бк/кг, що не перевищує допустимих рівнів, а от проведені радіохімічні дослідження вмісту ⁹⁰Sr в зернових культурах показали, що активність даного радіонукліду у зерні змінювалась від 2 до 50 Бк/кг. Загалом, близько 20 % зерна, відібраного у Чернігівській області та 85 % зерна, відібраного у Київській області не відповідало ДР - 2006 для продовольчого зерна (20 Бк/кг). Коефіцієнти переходу та коефіцієнти накопичення ⁹⁰Sr в зерно мали чітко виражену оберненопропорційну залежність від вмісту в

грунті обмінного кальцію та добре узгоджуються з отриманими раніше даними для цього типу ґрунтів.

Таким чином, проведені експериментальні роботи в 2012 р. підтвердили, що зернові культури і в даний час залишаються критичними з точки зору надходження в них ^{90}Sr .

МІКРОБІОТА І РАДІАЦІЙНА БЕЗПЕКА ОБ'ЄКТУ «УКРИТТЯ»

В. Б. Рибалка, О. Ф. Сенюк, Г. І. Петелін, В. О. Ковальов, М. І. Круль

Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, Чорнобиль

Сьогодні багато нагальних проблем експлуатації об'єкту «Укриття» тісно пов'язані з дослідженням міграції радіонуклідів у його біотопах. Це переробка його рідких радіоактивних відходів, очистка технологічних розчинів, повітряно-газових сумішей та інші.

Нами показано, що у таких системах міграція і іммобілізація радіонуклідів відбувається на тлі функціонування мікробної спільноти, представленій величезною різноманітністю видів, які в умовах постійного впливу іонізуючих випромінювань можуть змінювати властивості розчинів, призводити до обростання мікробними колоніями будь-яких іонообмінних матеріалів, зменшуючи їхню ефективність і викликаючи передчасну руйнацію. У будь-яких технологічних схемах переробки рідких радіаційних відходів мікробіоти досить швидко пристосовується до нових умов існування, прискорюючи темпи еволюції, під впливом іонізуючих випромінювань. Інтенсивне зв'язування іонів радіонуклідів як самими клітинами біоти, так і продуктами їх метаболізму, підвищує міграційні властивості сполук радіонуклідів.

У водах нижніх відміток об'єкта «Укриття» виявлено велику кількість різноманітних мікроорганізмів. Встановлено, що паливні частинки міцно утримуються бактеріальним слизом. Методом електронної мікроскопії показано, що мікроорганізми здатні розвиватись на опромінену ядерному паливі об'єкта «Укриття», використовуючи його в якості джерела мінеральних речовин. Вони розчиняють уранову матрицю, посилюючи міграційні можливості радіонуклідів.

В зразках аерозолів повітряно-газових сумішей об'єкта «Укриття» виявлено великий вміст дрібнодисперсних частинок органічного походження, які ідентифікуються як клітини мікроорганізмів і їхні спори, що здатні селективно накопичувати великі кількості радіонуклідів (по радіоцезію до 50 мг/1г біомаси) і долати більшість захисних фільтрів. Тому такі аерозолі є не тільки фактором біологічної небезпеки поза об'єктом «Укриття», але й фактором радіаційної небезпеки у самому об'єкті.

Медичний аспект проблеми полягає у тому, що культури мікроорганізмів стають не тільки більш радіостійкими, але й набувають аномально високої стійкості до дії хімічних речовин. Для умовно-патогенних та патогенних мік-

робних культур це означає можливість відповідного різкого підвищення рівня вірулентності завдяки підвищенню стійкості до імунної системи та зниження чутливості мікробів до лікарських препаратів.

Таким чином, при проведенні робіт в «Укритті» і при поводженні з його радіоактивними відходами нагальної актуальності набуває відпрацювання засобів протидії (технологічних прийомів, методик) з метою зменшення внеску біотичного чинника в посиленні екологічної небезпеки об'єкту «Укриття».

О ДИНАМИКЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ^{137}Cs У РЫБ РАЗНЫХ ВОДОЕМОВ

О. Л. Зарубин¹, А. А. Залисский², Н. Н. Осадчая³, В. В. Канивец³

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Государственное специализированное научно-производственное предприятие «Чернобыльский радиоэкологический центр», Чернобыль

*³ Украинский научно-исследовательский
гидрометеорологический институт, Киев*

В 1986 - 2012 гг. изучалась динамика содержания ^{137}Cs в мышцах рыб водоема-охладителя ЧАЭС и Каневского водохранилища. Обнаружено, что снижение содержания ^{137}Cs в мышцах рыб водоема-охладителя ЧАЭС, особенно в первые 5 лет после аварии на ЧАЭС, проходило значительно интенсивнее, чем в рыбах Каневского водохранилища.

С 1987 г. по 2010 - 2012 г. удельная активность ^{137}Cs у рыб водоема-охладителя снизилась \approx в 100 раз, в то же время у рыб Каневского водохранилища \approx в 10 раз.

Максимальное снижение удельной активности ^{137}Cs у рыб обоих водоемов характерно для рыб низких трофических уровней.

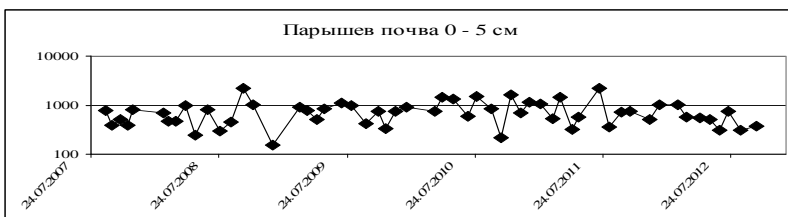
Вероятно, характеристики динамики удельной активности ^{137}Cs у рыб связаны с различиями гидрологических, гидрохимических параметров, температурного режима; возможно и физико-химической формы поступления ^{137}Cs в исследованные водоемы.

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ^{137}Cs В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

Н. Е. Зарубина

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Многолетние исследования аккумуляции ^{137}Cs в разных слоях лесных почв на территории зоны отчуждения ЧАЭС показали, что на протяжении календарного года эта величина изменяется. Колебания значений удельной активности ^{137}Cs в опаде, подстилке, почве 0 - 5 см и почве 5 - 10 см могут достигать одного порядка (рисунки).



Удельная активность ^{137}Cs в почве, Бк/кг воздушно-сухой массы, lg.

Были рассчитаны коэффициенты корреляции между содержанием ^{137}Cs в почве (послойно) и различными метеорологическими факторами - количеством осадков за разные периоды времени, предшествовавшими пробоотбору, а также температурой воздуха на момент отбора.

На всех полигонах исследований коэффициенты корреляции между исследованными параметрами находятся в пределах $-0.3 < r < 0.3$. Исходя из величины полученных коэффициентов корреляции, можно утверждать, что на величину содержания ^{137}Cs в разных почвенных слоях количество осадков и температура воздуха не влияют.

Исключением является наличие слабой связи между температурой воздуха и содержанием этого радионуклида в опаде и почве 5 - 10 см (коэффициент корреляции равен - 0.35 и - 0.33 соответственно) на полигоне «Дитятки». На этом же полигоне существует слабая положительная связь между количеством осадков за 14 дней, предшествовавших пробоотбору и содержанием ^{137}Cs в слое лесной подстилки - 0.35. На полигоне «Лелев» возможно существование слабой отрицательной связи ($r = -0.30$) между количеством осадков за 7 дней и содержанием ^{137}Cs в слое почвы 0 - 5 см.

Практическое отсутствие влияния количества осадков и температуры воздуха (абиотических факторов) на колебания содержания ^{137}Cs в почве говорит о возможном существовании мощного биологического фактора, который оказывает влияние на содержание этого радионуклида в разных почвенных слоях на протяжении календарного года.

^{137}Cs В РЫБАХ КРУПНЫХ ВОДОЕМОВ УКРАИНЫ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

**О. Л. Зарубин¹, Н. Е. Зарубина¹, Д. И. Гудков², Е. Н. Волкова²,
В. В. Беляев², А. Е. Каглян², В. А. Костюк¹, И. А. Малюк¹,
А. Б. Назаров³, А. С. Белоконь⁴, О. Н. Маренков⁴, А. А. Залисский³**

¹ *Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев*

² *Институт гидробиологии НАН Украины, Киев*

³ *Государственное специализированное научно-производственное предприятие «Чернобыльский радиэкологический центр», Чернобыль*

⁴ *Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепропетровск*

Через 25 лет после аварии на ЧАЭС уровни удельной активности компонентов водных экосистем, в том числе промысловых видов рыб, Украины значительно снизились. Вместе с тем, удельная активность ^{137}Cs в рыбах различных водоемов существенно различается между собой, и в некоторых водоемах севера Украины продолжает оставаться довольно высокой.

Исследована удельная активность ^{137}Cs в рыбах водоемов 30-ти километровой зоны: (р. Припять, старики и заливы р. Припять, озера, водоем-охладитель ЧАЭС, и др.), Киевского, Каневского, Запорожского водохранилища р. Днепр, Шацких озер, Черного моря в районе г. Судак.

Наибольшая удельная активность ^{137}Cs у рыб регистрируется в замкнутых и полужамкнутых водоемах 30-ти километровой зоны - до $n \cdot 10^4$ Бк/кг, а наименьшая - в Каневском и Запорожском водохранилищах, а также в Черном море. Обращает на себя внимание несколько повышенное, по сравнению с другими водоемами, расположенными за пределами 30-ти километровой зоны, удельное содержание ^{137}Cs в рыбах Шацких озер.

В докладе будет представлена карта пределов удельной активности ^{137}Cs у рыб крупных водоемов на территории Украины по состоянию на 2010 - 2012 гг.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПЛИВНЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ОБЪЕКТА “УКРЫТИЕ”

М. В. Желтоножская¹, А. М. Максименко²

¹ *Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев*

² *Международная радиэкологическая лаборатория, Славутич*

Продолжены исследования топливных частиц из объекта «Укрытие». Проведены α -, β -, γ -спектроскопические исследования концентрации радионуклидов в отобранных образцах. По результатам исследований выделены три различные группы топливных частиц: урановые частицы, фрагменты чернобылита и фрагменты неповрежденного ТВЭЛа. Измерены концентрации ^{90}Sr , $^{134,137}\text{Cs}$, $^{154,155}\text{Eu}$, $^{234,235,236,238}\text{U}$, $^{238-241}\text{Pu}$, $^{241-243}\text{Am}$, $^{243,244}\text{Cm}$. Оценки выгорания проводились разными методами. Проводится сравнение данных о концентрации ^{90}Sr , определенного разными методами. Полученные данные сравнивались с результатами теоретических расчетов.

ПАРАМЕТРИ БИОЛОГІЧНОЇ ДОСТУПНОСТІ ^{137}Cs У ТОРФ'ЯНО-БОЛОТНИХ ҐРУНТАХ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

С. В. Поліщук, М. І. Малоштан

*Український НДІ сільськогосподарської радіології
Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ*

Не зважаючи на те, що після аварії на Чорнобильській АЕС минуло 26 років, проблеми забезпечення радіаційної безпеки населення, що проживає на забруднених радіонуклідами територіях України, залишаються актуальними. До цього часу на території північно-західного Полісся України (Житомирській та Рівненській областях) знаходяться населені пункти, в яких середньорічні ефективні дози опромінення населення перевищують 1 мЗв/рік та споживається продукція, що не відповідає вимогам ДР-2006. Так, згідно результатів дозиметричної паспортизації 2011 р., нараховується 31 населений пункт що знаходиться у дозовому діапазоні від 1.0 до 5.0 мЗв/рік.

У даному регіоні природні ландшафти дають значну частку продукції, а доза опромінення сільського населення формується переважно за рахунок використання місцевих продуктів харчування, в основному, молока. Причина високої концентрації ^{137}Cs у молоці при порівняно невисоких рівнях забруднення ґрунту полягає в тому, що населення випасає худобу та здійснює заготівлю грубих кормів на природних неокультурених луках, ґрунти яких представлені рядом торф'яних і торф'яно-болотних відмін, коефіцієнти переходу та накопичення ^{137}Cs з яких у рослини до 100 разів вищі ніж з мінеральних.

У 2012 р. в рамках виконання фундаментальної науково-дослідної роботи «Вивчення поведінки ^{137}Cs в торф'яно-болотних ґрунтах з аномально високою біологічною доступністю» (№ д/р 0112U003002) були визначенні території з поширенням різних ґрунтових відмін торф'яно-болотних ґрунтів поблизу критичних у радіологічному відношенні населених пунктів Рокитнівського району Рівненської області, на яких було здійснено вибір та радіоекологічний опис 10 експериментальних майданчиків. В ході досліджень отримані результати щодо фізичних, фізико-хімічних та агрохімічних властивостей торф'яно-болотних ґрунтів територій експериментальних полігонів. За результатами γ -спектрометрії ґрунтових зразків встановлено, що регіон проведення досліджень знаходиться в діапазоні щільностей забруднення території ^{137}Cs від 16 до 81 кБк/м². Діапазон значень параметрів біологічної доступності ^{137}Cs ($K_{\text{П}}$, $K_{\text{Н}}$) з 20-см шару торф'яно-болотних ґрунтів в представницькі види трав'янистих рослин території досліджень має аномально високі величини, та становить: $K_{\text{П}}$ - від 19.0 для ситника гострого до 282.1 для злакових трав, $K_{\text{Н}}$ - від 0.9 до 9.7 відповідно. Варіація значень параметрів біологічної доступності ^{137}Cs між різними точками пробовідбору для *Juncus acutus* (L) становить: $K_{\text{П}}$ - близько 13 разів ($K_{\text{П}}$ від 19.0 до 241.5), $K_{\text{Н}}$ - близько 9 разів ($K_{\text{Н}}$ від 0.9 до 8.3).

З'ясування ж причин аномально високої біологічної доступності ^{137}Cs в торф'яно-болотних ґрунтах, закономірностей просторово-часової міграції в біологічних ланцюгах та розробка на їх основі контрзаходів по зменшенню переходу ^{137}Cs в рослини надасть можливість покращити радіоекологічну ситуацію в критичних регіонах, а також унеможливить споживання та виробництво сільськогосподарської продукції, яка не відповідає діючим в країні гігієнічним нормативам по вмісту радіонуклідів.

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНІКИ ДЛЯ АЕРОІОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В. І.Сахно

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Викладено результати досліджень поточного стану та перспективних шляхів створення техніки для промислового використання аероіонних технологій в галузі виробництва харчових продуктів з рибної сировини. Аналізується досвід фахівців ІЯД НАНУ у створенні низки промислових технологічних установок за останніх 20 років. Показано техніку для технологічних досліджень в переробці моресировини. Наводяться найбільш значимі результати виконаних на них досліджень. Обговорюються промислові установки для технологічних ліній переробки моресировини, впроваджені в реальне виробництво.

Обґрунтовується доцільність і актуальність створення нового покоління аероіонних технологічних установок для потреб вітчизняних виробників харчових рибних продуктів. Необхідно створити дві-три групи типової техніки - техніки для наукових і технологічних досліджень, техніки для експериментального випробування нових аероіонних технологій на реальному виробництві, а також розробляти концепції та типові конструкції промислових технологічних ліній виробництва. Розглядаються особливості техніки в цих групах, досвід створення дослідницьких установок в галузевих наукових центрах Росії, досвід здійснення технологічних досліджень українських фахівців на існуючій технічній базі.

Аналізується досвід використання в навчальному процесі, в оригінальних дослідженнях та технологічних розробках експериментальну аероіонну установку ІЯД НАНУ, де в даний час з залученням фахівців рибопереробної галузі розгорнуто масштабні дослідження шляхів використання аероіонів для виробництва харчових продуктів з прісноводних риб штучного вирощування у водоймищах України. Наведено основні позитивні результати таких розробок.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ ТА МІГРАЦІЇ РАДІОНУКЛІДІВ ¹³⁷Cs У ЛІСОВІЙ ЕКОСИСТЕМІ У ВІДДАЛЕНИЙ ПЕРІОД ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧАЕС

Г. М. Чоботько, Л. А. Райчук

Інститут агроєкології і природокористування НААН, Київ

Лісова екосистема - складна структурно-функціональна єдність біологічного комплексу з середовищем його існування. Будучи відкритою термодинамічною системою, вона тісно взаємодіє з суміжними екосистемами ландшафту. Тому моделювання обігу радіонуклідів в цій екосистемі потребує попереднього визначення компартментів, найбільш значущих у процесі міграції

радіонуклідів у самій системі і поза нею.

Відомо, що процеси міграції радіонукліда елементами екосистеми стабілізувались. Винесення забруднювача за межі системи незначне, а процес її очищення забезпечується переважно розпадом ^{137}Cs . Встановлено, що за величиною вмісту ^{137}Cs у віддалений період після аварії яруси рослинності у лісовій екосистемі утворюють такий ранговий ряд: ярус макроміцетів > ярус мохів > ярус лишайників > підріст > деревний ярус > підлісок > трав'яночагарниковий ярус.

У наведеній моделі ми враховували основні процеси, характерні для лісової екосистеми, які мають значення для міграції в ній ^{137}Cs у віддалений період після аварії. Для розрахунку сумарного вмісту радіонуклідів у лісовій екосистемі ми здійснили адаптацію узагальненої моделі лісової екосистеми, розробленої Шеллом і Лінковим (1998) для географічних і кліматичних умов Українського Полісся із використанням даних, отриманих унаслідок багаторічних польових досліджень, проведених лабораторією радіоекологічного моніторингу Інституту агроєкології і природокористування НААН. Наша модель імітує часову залежність радіоактивного забруднення в таких компартментах лісової екосистеми, як «Живий надґрунтовий покрив», «Дерево», «Підстилка», «Лабільна форма ^{137}Cs в ґрунті», «Фіксована форма ^{137}Cs в ґрунті» та «Глибокі шари ґрунту». Побудова рівнянь моделі базується на припущенні, що швидкість перенесення речовини з однієї камери до іншої пропорційна загальній кількості речовини (чи концентрації) в джерелі (кінетика першого рівня). Математична формалізація цієї моделі має вигляд системи лінійних диференціальних рівнянь першого рівня зі сталими коефіцієнтами. Розроблена модель належить до класу динамічних моделей і є детерміністичною за своїм характером. Комп'ютерна реалізація моделі була виконана в математичному пакеті MAPLE (version 10), графіки - в MAPLE 10 та Origin 8.5.

Наші прогнози забруднення компонентів лісової екосистеми співпадають з результатами, отриманими різними дослідниками за допомогою низки моделей (W.R. Schell, 2008). Зокрема в розробленій нами моделі зберігається тенденція до повільного спаду концентрації ^{137}Cs в усіх компонентах лісу. Загалом зниження вмісту ^{137}Cs у лісовій екосистемі добре описується експоненційною залежністю і прямо залежить від фізичного розпаду радіонукліда.

ОСОБЛИВОСТІ ОПРОМІНЕННЯ ЕМБРІОНІВ РИБ КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

О. М. Волкова, В. В. Беляєв, С. П. Пришляк, О. О. Пархоменко

Інститут гідробіології НАН України, Київ

З огляду на особливості формування відносин організму з оточуючим середовищем, виділено два основних періоди онтогенезу риб – ранній період та період дорослого стану риб. У свою чергу, ранній період розподіляється на

ембріональний, личинковий та мальковий. Зазначені періоди мають чітку різницю рівнів організації організму та, що дуже важливо з точки зору радіо-екологічних і радіобіологічних досліджень, різні відносини організму з оточуючим середовищем та різну радіочутливість. На ранніх стадіях онтогенезу організми найбільш чутливі до впливу іонізуючого випромінювання, тому не викликає сумніву необхідність визначення особливостей формування дози опромінення риб на ембріональній стадії розвитку.

При розрахунках дози внутрішнього опромінення ембріонів враховували питому активність зосередженого в ікринках ^{90}Sr та ^{137}Cs та діаметр ікринок, від якого залежить доля поглинутої ембріонами енергії випромінювання радіонуклідів. Встановлено, що потужність дози внутрішнього опромінення риб на ембріональних стадіях складала від 53 нГр/доба у лина до 180 нГр/доба у чехоні. Внесок ^{90}Sr у формування внутрішньої дози опромінення ікри збільшувався із збільшенням діаметру ікринок.

Величина дози зовнішнього опромінення риб в ембріональний період обумовлена концентрацією радіонуклідів у водних масах та вмістом радіоактивних речовин у донних відкладах нерестовищ. Також мають значення особливості поведінки риб у нерестовий період, тобто приналежність того чи іншого виду до певної екологічної групи за характером розмноження та розвитку. Основні промислові види риб Київського водосховища належать до літофільної (головень, білізна), фітофільної (сом, щука, сазан, карась, лин, краснопірка, плітка, лящ, плоскирка, окунь, судак) та пелагофільної (чехоня, товстолобик) груп. Отже, додатковим джерелом опромінення багатьох видів риб слугують радіонукліди, зосереджені у тканинах рослин та у залишках відмерлої рослинності.

На основі аналізу особливостей радіонуклідного забруднення субстрату, на якому розвивається ікра та донних відкладів на нерестовищах верхньої ділянки Київського водосховища розрахована сумарна потужність дози опромінення ембріонів представників різних екологічних угруповань риб (за типом розмноження). Встановлено, що найбільша потужність опромінення на ембріональній стадії розвитку притаманна представникам фітофільної та літофільної (до 3 мкГр/доба, білізна) та літофільної (до 8 мкГр/доба, судак) груп. При цьому необхідно відзначити, що ікра представника літофільної групи – білізни в основному опромінюється за рахунок депонованих у донних відкладах радіонуклідів. Судак, який належить до фітофільної групи, будує гнізда з залишків відмерлих рослин та розташовує їх на глибині до 2 м. Тому й отримує найбільші дози опромінення на ембріональній стадії розвитку, а саме – від γ -випромінювання інтенсивно забруднених донних відкладів та β -випромінювання матеріалу, з якого збудовано гніздо.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ В КОМПОНЕНТАХ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

В. В. Беляев, Е. Н. Волкова

Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

Показатели относительного распределения радионуклидов по компонентам водных экосистем считаются важнейшими характеристиками радиоэкологической ситуации в водоеме. Так, в теоретических, лабораторных и натурных экспериментах установлено, что ^{90}Sr приблизительно в равной степени аккумулируется водными массами и донными отложениями, ^{137}Cs – в основном донными отложениями. В биоте доля указанных радионуклидов не превышает 1 - 2 %. Однако анализ проведенных после аварии на ЧАЭС исследований показал, что иногда такое соотношение радионуклидов в компонентах водных экосистем нарушается. Поэтому возникла необходимость исследовать механизмы формирования таких «нарушений».

Для моделирования динамики распределения долгоживущих радионуклидов в водных экосистемах использовалась экспоненциальная модель уменьшения содержания радионуклидов в водных массах, предложенная Ю.А. Егоровым (1985, 1987). Подобная модель для любых поллютантов разработана в отделе математического моделирования Института гидробиологии АН Украины. Параметры используемой модели определены нами на основании данных о миграции радионуклидов в каскаде Днепровских водохранилищ. Было установлено, что период полуочищения водных масс от растворенной формы ^{137}Cs составляет 111 ± 39 сут, сорбированной на взвешях формы – 27 ± 5 сут; для ^{90}Sr наблюдалось два периода полууменьшения – 100 - 140 и 800 - 1200 сут. Относительные площади залегания донных отложений разных типов с разными коэффициентами накопления, а также запасы растительности и моллюсков определены на основании данных по Киевскому водохранилищу.

Прослежена динамика распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs по компонентам водных экосистем. Показано, что после импульсного поступления ^{90}Sr или ^{137}Cs в водные экосистемы с биотическими компонентами может ассоциироваться до 10 % активности радионуклидов от их суммарного содержания в водоеме. Период задержки радионуклидов в биотической компоненте может составлять несколько лет. Проведено сравнение результатов моделирования и динамики распределения радионуклидов в полигонных водоемах – Киевском водохранилище и водоеме-охладителе ЧАЭС. Показаны механизмы замедления скорости самоочищения водных масс от указанных радионуклидов. Проанализирован сценарий, для которого скорость самоочищения водных масс от ^{90}Sr и ^{137}Cs равна скорости их радиоактивного распада.

Авторський покажчик

- Абросимов В. И. 19
Адам І. 78, 79
Азаров С. І. 99
Азарова О. В. 89
Алексенко О. В. 122
Альохіна М. Є. 113
Андрейченко С. В. 168, 169
Андреотті Е. 30
Анохін І. Є. 105
Архипенко В. І. 133, 134
Асмолкова В. С. 167
Атаманюк Н. П. 164
Бабак О. В. 19
Барабаш О. С. 60
Бездробна Л. К. 155, 166
Безшийко О. А. 20, 21, 105, 113
Безшийко Я. О. 105
Беллі П. 60, 61
Белоконь А. С. 190
Белюскіна О. О. 22, 23
Беляев В. В. 190, 196
Беляев В. В. 183, 194
Бернабей Р. 60, 61
Белошенко М. А. 122
Біззеті П. Г. 70
Білоконь Г. С. 173
Білько Н. М. 162
Білько Д. І. 162
Блоцкі Я. П. 42
Боднар В. Ю. 79
Бойко Р. 50
Бондар Б. М. 76, 105
Бондарьков Д. М. 171
Борбуляк І. З. 162
Борзаківський А. Є. 119
Бохінюк В. С. 24
Бринк Д. М. 19
Буканов В. М. 80
Буканов В. Н. 101
Булавицька В. М. 168
Бурдін В. В. 46
Бурдо О. О. 147
Вальков О. Є. 33
Варніна В. І. 109, 113
Василевская А. И. 154
Васильєв Я. В. 73
Васильєва О. Г. 80
Васильєва Г. В. 114
Васільєв Я. В. 60
Велешук В. П. 112
Вербицький В. П. 19
Вергун О. Ю. 134
Верцімаха Г. В. 107
Вишневский И. Н. 25
Вишневський І. М. 25, 26, 102, 116
Вишневський Д. О. 147
Вірко В. Ф. 140, 144
Вірко Ю. В. 144
Власенко О. І. 112
Войтенко Л. М. 145
Войтер А. П. 26, 33
Волкова О. М. 183, 194
Волкова Е. Н. 190, 196
Волковецький С. П. 27
Вострецов Ю. Я. 50
Гаврилов О. О. 34
Гаврилюк В. І. 82, 85, 86, 88, 95, 98
Гаврилюк С. Ю. 127
Гаврилюк-Буракова А. В. 82, 85, 86, 95, 98
Гайдар О. В. 184, 185, 186,
Гайдар Т. О. 184, 186
Гайсак І. І. 28, 57, 78, 79, 114, 127
Гайсак М. І. 127
Галашов Є. М. 60, 73
Гальченко В. В. 84, 93
Ганжа О. Б. 153
Ганжа Д. Д. 179
Ганжа Х. Д. 179
Гапеєнко Д. Д. 167
Генсицькая Е. Ф. 87
Герашенко О. В. 66
Герашенко Б. І. 153
Главін О. А. 153
Голіней І. Ю. 107, 108
Голіней І. Ю. 108
Голінка-Безшийко Л. О. 105, 113
Голобородько В. Я. 125
Голяк М. Г. 108
Гончаров А. 126
Горбаченко О. М. 76
Горпинич О. К. 40, 53, 54
Гранія К. 65
Гранцев В. І. 22, 23, 29
Григоренко О. Д. 19
Гримало А. К. 29
Гриневич Ю. П. 149
Грицай О. О. 27, 29
Гриценко О. В. 80
Гриценко А. В. 101
Гроза А. А. 109, 113
Гудков Д. И. 152, 157, 158, 190
Гула Н. М. 164
Гурин А. А. 121
Гусакова К. Г. 119
Густов С. А. 78
Гушенец В. 126
д'Анжело С. 61
Давидовський В. В. 22, 23

- Даневич Ф. А. 30, 50,
60, 61, 70, 71, 73
Дегода В. Я. 50
Дем'юхін В. Л. 80, 84
Денисов В. Ю. 31, 56
Денисюк Д. І. 46
Дерев'янок Л. П. 164
Джуліані А. 71, 73
Дзюбенко Е. В. 157,
158
Дзюблик О. Я. 31
Дмитрук О. І. 106
Дмитрук С. М. 163
Добровольський А. 126
Долголенко А. П. 116,
118
Доронін М. І. 26, 33
Дорошко Н. Л. 53
Драгнев С. В. 133, 134
Драпей С. С. 25, 82, 86,
95, 98
Драпіковський М. А.
156
Дрозд І. П. 148, 149
Дружина М. О. 153
Дряпаченко І. П. 40, 53,
54
Дулгер Л. Л. 40, 53, 54
Дьоміна Е. А. 161
Дяченко О. В. 113
Євланов В. М. 83
Єременко С. А. 99
Жаба В. І. 24, 28
Желтоножская М. В.
150, 154, 171, 191
Желтоножська М. В.
176
Желтоножский В. А.
25, 150, 171
Желтоножський В. О.
25, 26, 102
Жмерев В. С. 87
Заболотний М. А. 156
Завада Р. В. 186
Заворка Л. 78, 79
Заїкін Г. Г. 40
Залисский А. А. 189,
190
Зарубин О. Л. 189, 190
Зарубина Н. Е. 189, 190
Зелінський А. Г. 103,
114, 115, 119
Зінець О. С. 105
Ильин А. П. 32
Йощенко Л. В. 187
Іванов Ю. О. 172, 182
Іванов Ю. С. 175, 180
Ількович В. В. 80
Інчікітті А. 60, 61
Каглян А. Е. 152, 158,
190
Каденко І. М. 105, 113
Кадигріб О. М. 172, 181
Кадиков М. Г. 78, 79
Канивец В. В. 189
Каппелла Ф. 60, 61
Караччіоло В. 60
Карлишев Ю. Я. 53, 54
Каррарезі Л. 70
Касаткін О. Г. 80
Касперович Д. В. 40,
53, 54
Кастеллано С. 60
Кашпаров В. О. 187
Кемпбел М. 46, 65
Кива В. О. 54, 55, 65
Килівник Ю. М. 114
Кириллов А. А. 133,
134
Кириченко В. К. 182
Киришук В. І. 88
Кіптілий В. 125
Кісурін К. К. 22, 23, 29
Кіш Ю. В. 78, 79
Клепка А. В. 168, 169
Клічевські С. 66, 67, 68
Кметюк Я. В. 105
Кобичев В. В. 60, 73
Ковалінська Т. В. 102,
103, 114, 115, 116
Ковальов О. М. 26, 33,
34
Ковальов В. О. 188
Ковальчук О. С. 35, 46,
65
Ковтун Г. П. 61
Ковтун Н. Г. 61
Колесниченко Я. І. 124,
129, 130, 131
Коломієць В. М. 36, 75
Кондратова Ю. А. 169
Коновалов С. І. 60
Корж І. О. 37, 63, 64
Корзина Т. О. 40, 53
Косарчук О. В. 181
Костюк В. А. 190
Косякова Г. В. 164
Кошарський К. Г. 105
Кошій Є. І. 66, 67, 68
Краус Х. 50
Крилов В. В. 38
Круль М. І. 188
Крушінський В. В. 159
Кулич Н. В. 171
Куліч Н. В. 176
Купряшкін В. Т. 38, 47
Курик М. В. 110
Куртева А. А. 39
Кушпій Д. А. 40
Лавренчук Г. Й. 167,
170, 175
Лазарев М. М. 151, 181
Лаубенштайн М. 60, 61
Лашкін В. М. 132
Лашко В. А. 38
Лашко А. П. 48
Лашко Т. М. 48
Левіна О. О. 82, 85
Левко Д. С. 133

- Левчук С. Є. 172, 187
 Лендел В. В. 141, 177
 Лепявко Б. С. 129
 Лиманець А. О. 41, 55
 Липская А. И. 171
 Липська А. І. 176
 Лиситченко Т. Є. 123, 127, 133, 134, 135
 Литвинов Ю. В. 89
 Литвинчук Х. М. 167
 Литовченко П. Г. 109, 112, 113
 Лібман В. А. 27, 175, 180
 Ліптуга А. І. 133, 134
 Літовко І. 126
 Ллопарт К. 46, 65
 Локотько Т. І. 52
 Лук'янов С. В. 36
 Луценко В. В. 129, 130
 Магнер О. Г. 42
 Мазний І. О. 26
 Майборода Е. Е. 91
 Майданюк С. П. 43, 45
 Маковецька Л. І. 153
 Максим М. М. 78, 79
 Максименко А. М. 191
 Максимов М. В. 94
 Малий Є. В. 112
 Малоштан М. І. 191
 Малюк І. А. 90
 Малюк І. А. 190
 Манкузо М. 73
 Маренков О. М. 173
 Маренков О. Н. 190
 Маріссенс Г. 30
 Марнієрос С. 73
 Мартиш Є. В. 123, 127, 133, 134, 135
 Марценюк Л. С. 110
 Марченко Л. С. 109, 113
 Марченко В. С. 132
 Маслюк В. Т. 177
 Матвеева Л. О. 109
 Матера Ф. 19
 Матсуока Т. 139
 Маурензіг П. Р. 70
 Межевич С. Ю. 66, 67, 68
 Мельник Т. В. 166
 Мельник А. І. 187
 Мирошніченко В. І. 122
 Митрохович М. Ф. 47, 48
 Михайленко П. М. 153
 Михайленко В. М. 153, 160
 Михайлик В. Б. 50
 Михайловский В. В. 11
 Михайлюк В. П. 49
 Михалевич А. М. 183
 Михацький О. Ю. 175, 180
 Міліція В. М. 35, 46, 65
 Мінаков Б. 46
 Мішин А. А. 93
 Міщенко Б. В. 67
 Можжухін Е. М. 40, 53, 54
 Мокіна В. М. 50
 Момот Є. Л. 105
 Мордик С. Н. 122
 Мотрина О. А. 168
 Музальов І. І. 153, 160
 Нагай А. О. 105
 Назаров А. Б. 158, 190
 Назаров О. Б. 179
 Недибалюк О. А. 123, 127, 133, 134, 135
 Нелюба П. Л. 109
 Нестеров В. О. 51
 Николаев В. И. 171
 Ніколаєв В. І. 176
 Нішида Х. 139
 Нонес К. 73
 Носач Ю. О. 166
 Обиход Т. В. 51
 Окс Е. 126
 Оксамитний В. М. 167
 Окунев О. Г. 24
 Олів'єрі Є. 71
 Олів'єрі Е. 73
 Олійник О. І. 53
 Ольховський В. С. 52
 Омельчук С. Є. 22, 23
 Оникієнко Є. В. 108
 Орловська С. Г. 134
 Осадчая Н. Н. 189
 Осипенко А. П. 114
 Остапенко І. А. 102, 103, 114, 115
 Осташко В. В. 40, 53, 54
 Отрешко Л. М. 187
 Охріменко О. Ю. 46, 52, 65, 75
 Павленко Ю. М. 26, 40, 53, 54, 65
 Павленко В. М. 136
 Павленко І. О. 186
 Панасенко Я. В. 41, 55
 Панченко В. Г. 136
 Парлаг О. М. 24, 177
 Пархоменко В. В. 82, 95
 Пархоменко О. О. 183, 194
 Пельх С. Н. 94
 Петєлін Г. І. 188
 Петренко І. В. 112
 Пилипенко М. О. 56
 Пилипченко В. А. 57
 Пилипченко Ю. В. 57
 Пилипчук О. П. 161
 Пінковська М. Б. 109, 112

- Пірнак Вал. М. 66, 67, 68
- Пішта М. М. 127
- Плекан Р. М. 58
- Плюйко В. А. 67, 76
- Поворозник О. М. 59
- Пода Д. В. 60, 61
- Подвіянюк Р. Б. 60
- Поліщук О. Г. 60, 61
- Поліщук С. В. 191
- Поморцева Н. Л. 152, 158
- Понкратенко О. А. 62, 66, 67, 68, 72
- Порицький П. В. 137, 138
- Поспішил С. 46, 65
- Потоки І. С. 177
- Правдивий М. М. 63, 64
- Присяжневич І. В. 141
- Присяжневич І. В. 123
- Пришляк С. П. 183, 194
- Проскурин Д. В. 82
- Проскурін Д. В. 95, 98
- Пугач В. М. 35, 46, 52, 54, 55, 65, 75
- Пугач М. В. 46, 65
- Пугач С. М. 101
- Пшеничний В. А. 29
- Радіонов С. В. 75
- Разбудей В. Ф. 175
- Райчук Л. А. 193
- Ревка В. М. 96
- Резниченко Б. В. 75
- Рем Г. 35
- Рибалка В. Б. 188
- Ровенських Є. П. 25, 26, 76
- Родионова Н. К. 152, 153
- Рознюк Ю. С. 22, 23, 29
- Романова О. П. 82, 85, 86, 95, 98
- Романюк Л. І. 140
- Руденко Б. А. 22, 23
- Руденко Т. С. 139
- Рудик О. Ф. 90
- Рудчик А. А. 66, 67, 68
- Рудчик А. Т. 66, 67, 68
- Рудь А. В. 50
- Русек К. 66, 67, 68
- Рябченко Н. М. 153
- Рязанов В. В. 98
- Саврасов А. Н. 25
- Саврасов А. М. 25, 26, 29
- Садовников Л. В. 150
- Садовникова М. Л. 154
- Самсоненко А. В. 85
- Санжур А. І. 36
- Сахно В. І. 102, 103, 114, 115, 116, 119, 193
- Сваричевська О. В. 186
- Святун О. В. 186
- Семенов В. С. 22, 23
- Сенюк О. Ф. 162, 188
- Сесіл Ф. 125
- Сидоренко Л. П. 38, 47, 48
- Сидоренко В. Л. 89, 99
- Симончик Л. В. 133, 134
- Слисенко В. І. 79
- Слободян В. М. 140, 144
- Слюсаренко Л. І. 22, 23
- Соколов А. М. 69
- Солнишкин А. А. 78
- Солнишкін А. А. 79
- Соловійов В. В. 84
- Соломенко О. В. 133, 134, 134, 135
- Соломенко Ок. В. 141
- Солопихін Д. А. 61
- Соляник В. В. 57
- Сорокін Ю. Є. 38, 55
- Сосонкін М. Г. 175, 180
- Старчик М. І. 109, 113
- Старчик П. Д. 138
- Степанюк А. В. 40, 53, 54
- Сторожик Д. І. 35, 46, 65
- Стрильчук Н. В. 171
- Стружко Б. Г. 22
- Сугаков В. Й. 106, 107
- Сюдак Р. 66, 67, 68
- Талько В. В. 164
- Таранов В. Б. 142
- Тарасенко Л. В. 155, 166
- Тартачник В. П. 112
- Тачетті Н. 70
- Тачетті Ф. 70
- Тачинська Ю-М. І. 169
- Телецька С. В. 149
- Тенкач Е. С. 178
- Тенконі М. 71, 73
- Тищенко М. Г. 143
- Тішкова О. В. 85, 86
- Третяк В. І. 30, 60, 61, 70, 71, 73
- Тригубенко О. В. 96
- Тришин В. В. 90, 170, 175, 184, 185, 186
- Тугай А. В. 150, 154
- Тугай Т. І. 150, 154
- Тупіцина І. А. 50
- Турунок О. Ч. 113
- Тютюнников С. І. 78
- Тютюнников С. І. 79
- Улещенко В. В. 62, 72
- Уматов В. І. 60
- Устїнов А. І. 33
- Файнлейб О. М. 119
- Фацині Т. 70

Федірчик І. І. 134, 135
 Федорович О. А. 35, 46,
 127, 145
 Федорченко В. І. 155
 Федоткин С. Н. 72
 Феоктістов О. І. 38
 Фесенюк О. П. 124
 Фрадкін О. М. 24
 Фунакі І. 139
 Фурса А. Д. 37
 Халова Н. В. 114, 115
 Хіміч І. В. 58
 Хойзер Й. 55
 Хоїнські Я. 66, 67, 68
 Хомутінін Ю. В. 172,
 182
 Хушвактов Ж. Х. 78, 79
 Хюльт М. 30
 Циганок Т. В. 155, 166
 Цимбалюк О. М. 133
 Цупко-Ситников В. М.
 78, 79
 Чайковський Ю. В. 96
 Чепига Л. С. 157
 Червонна Л. Е. 175
 Черкас К. А. 67, 68
 Чернишов А. В. 169
 Чернолуцький Д. Л.
 133, 135
 Черняк Д. М. 60, 71, 73
 Черняк В. Я. 123, 127,
 133, 134, 135, 141
 Черуллі Р. 60, 61
 Чех Б. 66, 67, 68
 Чирко Л. І. 81, 96
 Чілап В. В. 78, 79
 Чоботько Г. М. 167,
 193
 Чумак А. А. 164
 Шаблов В. Л. 53, 54
 Шамрай К. П. 122, 139,
 140, 144
 Шаров А. Ф. 40
 Шевцова Н. Л. 157, 157
 Шевченко Ю. Б. 170,
 175, 180
 Шелковський М. В.
 159, 164
 Ширма Ю. О. 62
 Шитюк В. А. 176
 Шінохара Ш. 122, 139
 Шкапак О. В. 91
 Шлапацька В. В. 115
 Шлегель В. М. 73
 Шлегель В. М. 60
 Шматко Г. Г. 109, 113
 Щербань А. П. 61
 Щурек А. 66, 67, 68
 Юксель А. 30
 Юхименко В. В. 123,
 127
 Яворський В. 146
 Яковенко В. М. 52, 65,
 75
 Яковенко Ю. В. 124,
 131, 143
 Яковлєв В. І. 114
 Якубовська А. Г. 50
 Яніна А. М. 16

Наукове видання

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
XX ЩОРІЧНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
Інституту ядерних досліджень НАН України**

28 січня - 01 лютого 2013 р.
Київ, Україна

Тези публікуються в авторській редакції

Комп'ютерна верстка *О. Д. Григоренко, В. П. Вербицький*

Підп. до друку 17.01.2013. Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 11,7.
Тираж 200 пр. Зам. № 1.

Інститут ядерних досліджень НАН України,
просп. Науки, 47, м. Київ, 03680, тел. 525-14-56
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4051 від 18 квітня 2011 р.

Надруковано у ЦСТРІ м. Києва, філія № 7 «КОПІ ЦЕНТР»,
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, тел.: 277-88-93, 277-37-49
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 37096928 від 15 березня 2005 р.