

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
XXII ЩОРІЧНОЇ
НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

Інституту ядерних досліджень НАН України

26 - 30 січня 2015 р.
Київ, Україна

Київ 2015

Програмно-організаційний комітет конференції:

Я. І. Колесниченко – голова комітету
В. М. Коломієць – заступник голови комітету (теоретична ядерна фізика)

Члени:

Ю. М. Павленко – експериментальна ядерна фізика
В. М. Павлович – атомна енергетика
В. Й. Сугаков – радіаційна фізика та радіаційне матеріалознавство
О. А. Федорович – фізика плазми
А. І. Липська – радіобіологія та радіоекологія
Н. Л. Дорошко – учений секретар ІЯД НАН України
Т. В. Ковалінська – голова ради молодих учених ІЯД НАН України
В. В. Луценко – розробник Web-сторінки
В. П. Вербицький – видання тез

Секретарі:

О. С. Бурдо, О. О. Бурдо, Я. Д. Кривенко, О. М. Пугач

Друкуються за рішенням вченої ради інституту від 18.11.14.

Адреса програмно-організаційного комітету:

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

ЗМІСТ

Секція 1. Ядерна фізика

Вплив залишкової взаємодії на ізоскалярні дипольні моди у важких ядрах	
<i>В. І. Абросімов, О. І. Давидовська</i>	20
Використання пакетів GEANT4/GATE для моделювання новітніх детекторних систем	
<i>М. С. Альохіна, О. А. Безиийко, Л. О. Голінка-Безиийко, І. М. Каденко</i>	20
Застосування детекторів черенковського випромінювання для покращення характеристик позитронно-емісійних томографів	
<i>М. С. Альохіна, О. А. Безиийко, Л. О. Голінка-Безиийко, І. М. Каденко</i>	21
Потенційні джерела радіоактивного забруднення навколишнього середовища при використанні позитронно-емісійної томографії	
<i>О. Безиийко, Б. Бондар, Т. Говоруха, Л. Голінка-Безиийко, І. Каденко, В. Кириченко, Я. Кметюк, О. Шевченко</i>	22
Оцінка систематичних похибок вимірювання маси топ кварка у ділептонному каналі розпаду в експерименті D0	
<i>М. С. Борисова (від імені колаборації D0)</i>	23
Дослідження активаційних рівнів у реакції (γ, γ')^m на ядрах ⁷⁷Se, ⁷⁹Br, ⁸⁹Y, ¹⁰³Rh, ¹¹¹Cd, ¹³⁷Ba, ¹⁷⁹Hf, ¹⁹⁷Au і ¹⁹⁹Hg	
<i>В. С. Бохінюк, В. І. Жаба, О. М. Парлаг</i>	24
Получение медицинских радионуклидов на циклотроне У-240	
<i>А. Е. Вальков, И. Н. Вишневский, Л. В. Михайлов</i>	26
Определение оптимальных параметров протонного пучка для получения изотопа ⁸²Sr на циклотроне У-240	
<i>А. Е. Вальков, Л. В. Михайлов</i>	27
Тритій-дейтерієвий генератор «мічених» нейтронів	
<i>Г. М. Веремейченко, О. П. Воронов, І. П. Дряпаченко, М. Ф. Коломієць, О. В. Коваленко, О. А. Кушній, В. В. Осташко, Г. І. Применко, В. М. Рогозін</i>	28
Дослідження ефектів вищих порядків при електронному захваті	
<i>І. М. Вишневський, О. Я. Дзюблик, С. С. Драней, В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов</i>	28
Напрацювання ^{179m2}Hf в реакціях з альфа-частинками та гамма-квантами при біляпорогових енергіях	
<i>І. М. Вишневський, В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов, В. І. Киришук</i>	29

Ізотопні відношення в ядрах $^{174m,g}\text{Lu}$ в реакціях з біляпороговими альфа-частинками	
<i>І. М. Вишневецький, В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов, В. І. Киришук, О. В. Гладковська.....</i>	29
Ізотопні відношення виходів фрагментів фотоділення ^{238}U при граничній енергії гальмівних гамма-квантів 18 МеВ	
<i>І. М. Вишневецький, В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов, Є. П. Ровенських, В. А. Плюйко, О. М. Горбаченко.....</i>	30
Диференціальні перерізи реакції $^3\text{H}(\alpha, d)^5\text{He}$ при енергії α-частинок 84 МеВ	
<i>О. А. Волох, В. І. Гранцев, К. К. Кісурин, С. Є. Омельчук, Ю. С. Рознюк, О. М. Розозін, Б. А. Руденко, Л. І. Слюсаренко, Б. Г. Стружко.....</i>	31
Програмне забезпечення багатоканального спектрометричного АЦП	
<i>О. О. Гаврилов, О. М. Ковальов.....</i>	31
Моделювання методом Монте-Карло детектора реакторних антинейтрино на основі пластмасових сцинтиляційних стрижнів	
<i>А. Ш. Георгадзе, В. М. Павлович.....</i>	32
Квазікласична оболонкова структура моментів інерції у фазовому просторі	
<i>Д. В. Горпинченко, О. Г. Магнер, Дж. Бартел, Я. П. Блоцкі.....</i>	33
Взаємодія α-частинок з ядрами дейтерію та тритію – характерні особливості	
<i>В. І. Гранцев, К. К. Кісурин, В. І. Кальний, С. Є. Омельчук, Ю. В. Панін, Ю. С. Рознюк, Б. А. Руденко, Л. І. Слюсаренко, Б. Г. Стружко.....</i>	34
Верифікація аналітичних виразів для розрахунків виходів розсіяних нейтронів із двокомпонентного зразка	
<i>О. О. Грицай, А. К. Гримало, В. А. Пшеничний.....</i>	35
Український центр ядерних даних – задачі та можливості	
<i>О. О. Грицай, О. І. Кальченко.....</i>	36
Реакція $^{90}\text{Zr}(d, pn)^{90}\text{Zr}$ при 56 МэВ в дифракційному приближенні	
<i>В. В. Давидовський, А. Д. Фурса.....</i>	36
Злиття ядер та ядро-ядерний потенціал з урахуванням внеску оболонкових поправок	
<i>В. Ю. Денисов.....</i>	37
Вплив електронного оточення на α-розпад	
<i>О. Я. Дзюблик.....</i>	38
Багатоканальний спектрометричний АЦП на основі FPGA	
<i>М. І. Доронін, А. П. Войтер, О. М. Ковальов.....</i>	39

Використання кореляцій кінцевих продуктів ядерних реакцій для відпрацювання імпульсного режиму тандем-генератора ЕПП-10К	
<i>І. П. Дряпаченко, Г. Г. Заїкін, М. Ф. Коломієць, О. А. Кушній,</i>	
<i>Д. А. Кушній, Е. М. Можжухін, В. В. Осташко, А. Ф. Шаров.....</i>	41
Метод фазових функцій і NN-розсіяння	
<i>В. І. Жаба.....</i>	41
Ускорение тяжелых ионов на тандем-генераторе ЭПП-10К	
<i>Г. Г. Заикин.....</i>	43
Низькофонова сцинтиляційна установка для дослідження рідкісних ядерних процесів	
<i>А. С. Золотарьова, Ф. А. Даневич, Б. М. Кропив'янський,</i>	
<i>В. В. Кобичев, В. І. Третьак, А. І. Тимошенко.....</i>	44
О численных приближениях в задаче аналитической факторизации амплитуды кулоновского развала	
<i>А. П. Ильин.....</i>	44
Розрахунки збору світлових фотонів у сцинтиляційних детекторах з кристалами вольфрамату кальцію	
<i>Р. В. Кобичев, Ф. А. Даневич, В. В. Кобичев,</i>	
<i>Г. Краус, В. Б. Михайлик, В. М. Мокіна.....</i>	46
Квазікласичний розв'язок задачі порушення симетрії та біфуркацій в неінтегровному потенціалі	
<i>М. В. Колєсник, Я. Д. Кривенко-Еметов,</i>	
<i>О. Г. Магнер, К. Арита, М. Брак.....</i>	47
Статистична густина збуджених станів ядер	
<i>В. М. Коломієць.....</i>	48
Релаксація ядерних збуджень. дифузійне наближення	
<i>В. М. Коломієць, С. В. Лук'янов.....</i>	49
Не-марківське узагальнення моделі Крамерса для ядерного поділу	
<i>В. М. Коломієць, С. В. Радіонов.....</i>	50
Вплив дифузності поверхні ядра на бар'єри ядерного поділу	
<i>В. М. Коломієць, А. І. Санжур, Б. В. Резниченко.....</i>	51
Розрахунок енергії деформації ядер прямим варіаційним методом	
<i>В. М. Коломієць, А. І. Санжур, Б. В. Резниченко.....</i>	52
Широкодіапазонна мікро-детекторна система для установки швидкісного рентгенографування	
<i>О. С. Ковальчук, В. М. Пугач, Д. І. Сторожик, В. М. Міліція,</i>	
<i>В. О. Кива, Я. В. Панасенко, В. В. Бурдін, Н. В. Мінаков.....</i>	53
Контролер спектрометричних блоків	
<i>О. М. Ковальов, А. П. Войтер, М. І. Доронін.....</i>	54
О роли аксиоматического подхода в формулировке принципа относительности в современных моделях теорий поля	
<i>И. Ю. Кривский, Т. М. Заяц, С. Г. Шпырко.....</i>	55

Влияние эффекта встряски на распределение e_0-электронов по энергиям в непрерывном спектре	
<i>В. Т. Купряшкин, А. И. Феоктистов, Л. П. Сидоренко</i>	56
Бета-распад $^{65}\text{Zn} \rightarrow ^{65}\text{Cu}$	
<i>А. А. Куртева</i>	57
Прискорення іонів ^{14}N на тандем-генераторі ЕГП-10К	
<i>Д. А. Кушпій, В. В. Осташко, І. П. Дряпаченко, Г. Г. Зайкін, О. А. Кушпій, Е. М. Можжухін, І. В. Посмітюх, О. В. Хвастунов, Ю. С. Фоменко, А. Ф. Шаров</i>	58
Систематика ймовірностей бета-переходів в деформованих ядрах	
<i>А. П. Лашко, Т. М. Лашко</i>	58
Розробка спеціалізованої зондової станції для характеристики кремнієвих сенсорів експерименту СВМ	
<i>А. О. Лиманець, Я. В. Панасенко</i>	59
Квазікласичний підхід у макроскопічно-мікроскопічній моделі колективної ядерної динаміки	
<i>О. Г. Магнер, Я. П. Блоцкі, П. Ринг</i>	60
Вплив деформацій вищих мультипольностей на висоту бар'єру між ядрами	
<i>Т. О. Маргітич, В. Ю. Денисов</i>	61
Тестер для спектрометричних АЦП	
<i>І. О. Мазний, М. І. Доронін, А. П. Войтер, О. М. Ковальов</i>	62
Спектроскопічний фактор α-кластера в збудженому ядрі $^{17}\text{O}^*_{6.356(1/2+)}$ з реакції $^{13}\text{C}(^{11}\text{B}, ^7\text{Li})^{17}\text{O}$ та його роль у моделюванні s-процесів у зірках	
<i>С. Ю. Межевич</i>	63
Взаємодія дейтронів з легкими α-кластерними ядрами у тричастинковому наближенні	
<i>В. П. Михайлюк</i>	64
Оптимізація світлозбору в криогенних сцинтиляційних болометрах на основі оксидних кристалів	
<i>В. М. Мокіна, Ф. А. Даневич, Х. Краус, В. Б. Михайлик</i>	65
Радіаційна толерантність мікростріпових сенсорів для кремнієвої трекової системи експерименту СВМ	
<i>Є. Л. Момот, В. М. Міліція, В. М. Пугач, В. О. Кива, Ю. Є. Сорокін, Й. Хойзер</i>	66
Вплив антисиметризації та поляризації на потенціал ядерно-ядерної взаємодії	
<i>В. О. Нестеров</i>	67
Пошуки суперсиметрії на CMS детекторі при $\sqrt{s} = 7$ TeV в кінцевих станах із мюонами, джетами і втраченою поперечною енергією	
<i>Т. В. Обіход, С. Т. Лук'яненко</i>	67

Експеримент ЛНСб. дослідження ср симетрії та радіаційних навантажень (до 60-річчя ЦЕРН)	
<i>О. О. Охріменко, В. М. Пугач</i>	68
Диференційні поперечні перерізи утворення V^0 частинок у протон-протонних та протон-ядерних зіткненнях в експерименті ЛНСб	
<i>О. О. Охріменко, В. М. Пугач, І. О. Костюк</i>	68
Модернізація та тестування системи радіаційного моніторингу для нових режимів експерименту ЛНСб	
<i>О. О. Охріменко, В. М. Пугач</i>	69
Система оцінки якості мікростріпових детекторів для кремнієвого трекера СВМ. Дослідження в ІЯД НАН України	
<i>Я. В. Панасенко, В. О. Кива, В. М. Міліція, В. М. Пугач, Й. Хойзер</i>	69
Пружне розсіяння дейтронів на ядрах $^{58,62}\text{Ni}$ за підбар'єрних енергій	
<i>Ю. М. Павленко, В. П. Вербицький, О. В. Бабак, О. І. Рундель, О. К. Горпинич, О. Д. Григоренко, А. В. Степанюк, Т. О. Корзина</i>	70
Прецизійні вимірювання енергетичних і кутових розподілів продуктів взаємодії протонів з ядрами ^{11}B	
<i>Ю. М. Павленко, О. К. Горпинич, А. В. Степанюк, Ю. Я. Карлишев, Т. О. Корзина, Д. В. Касперович, Л. Л. Дулгер, В. В. Осташко, В. О. Кива, І. П. Дряпаченко, Е. М. Можжухін, А. Ф. Шаров</i>	71
Час-прольотна методика ідентифікації низькоенергетичних продуктів ядерних реакцій в кореляційних вимірюваннях на безперервних пучках прискорювача	
<i>Ю. М. Павленко, Ю. Я. Карлишев, О. К. Горпинич, А. В. Степанюк, Л. Л. Дулгер, Д. В. Касперович, С. І. Форостенко, В. С. Родін</i>	72
Кінематично повні дослідження реакції $^{11}\text{B}(p, 3\alpha)$ з використанням мікропиксельних детекторів TimePix	
<i>Е. О. Петренко, М. В. Пугач</i>	73
Дослідження характеристик і основних властивостей спектру парно-парних ядер в адіабатичному підході	
<i>Р. М. Плекан, І. В. Хіміч</i>	74
Обчислення середніх кутових моментів в первинних фрагментах фотоподілу за допомогою ізомерних відношень	
<i>В. А. Плюйко, О. М. Горбаченко, О. І. Давидовська, Є. П. Ровенських</i>	75
Дослідження подвійного бета розпаду ^{116}Cd	
<i>О. Г. Поліщук, А. С. Барабаш, П. Беллі, Р. Бернабей, Я. В. Васильєв, Ф. А. Даневич, С. Д'Анжело, А. Інчікитті, Ф. Капелла, В. Карачіолло, В. В. Кобичев, С. І. Коновалов, М. Лаубенштейн, Д. В. Пода, В. І. Третьак, Д. М. Черняк, Р. Черулі, В. М. Шлегель, В. І. Юматов</i>	76

Потенціали взаємодії важких іонів з легкими ядрами у широкому діапазоні енергій	
<i>О. А. Понкратенко, А. А. Рудчик, Ю. М. Степаненко, В. В. Улещенко, Ю. О. Ширма</i>	77
Оцінка закритості хімічних систем нуклідів рядів ^{232}Th, ^{235}U, ^{238}U	
<i>О. М. Поп, М. В. Стець, В. Т. Маслюк</i>	78
Алгоритми декомпозиції нуклідних спектрів гамма-активностей рядів ^{232}Th, ^{235}U, ^{238}U у задачах визначення дати події	
<i>О. М. Поп, М. В. Стець, В. Т. Маслюк</i>	78
Використання комбінованих мішеней для дослідження характеристик фотоподілу мінорних актинідів на електронному прискорювачі мікротроні М-30	
<i>І. В. Филипчинец, О. О. Парлаг, О. І. Лендел, В. Т. Маслюк</i>	79
Виходи та запізнююче гамма-випромінювання продуктів фотоподілу ^{241}Am	
<i>І. В. Филипчинец, О. О. Парлаг, О. І. Лендел, В. Т. Маслюк, О. Ф. Лейко</i>	80
Останні результати експерименту BGO-OD	
<i>М. В. Романюк (від колаборації BGO-OD)</i>	81
Web-інтерфейс доступу до електронної пошти	
<i>О. М. Семенюк, О. М. Ковальов</i>	81
Форма спектра и угловое распределение электронов низкой энергии из распада ^{152}Eu	
<i>Л. П. Сидоренко</i>	82
Видозмінений ядерно-аналітичний метод вимірювання нанометричних товщин самопідтримуючих плівок та поверхневих покриттів	
<i>В. І. Сорока</i>	83
Вимірювання товщини вуглецевої перезарядної мішені для тандемного прискорювача та поверхневого шару титану структури титан - кремній	
<i>В. І. Сорока, В. В. Осташко, В. А. Онищук, Е. М. Можжухін, М. В. Арцимович, Д. А. Кушній, І. В. Посмітюх, А. Ф. Шаров, А. А. Шевчук</i>	84
Вплив зв'язку каналів реакції на пружне розсіяння $^7\text{Li} + ^{18}\text{O}$ при енергії 114 МеВ	
<i>Ю. М. Степаненко, А. А. Рудчик, О. А. Понкратенко, В. В. Улещенко</i>	84
Дослідження подвійного бета розпаду ^{100}Mo на збуджені рівні ^{100}Ru	
<i>В. І. Третьак (від NEMO-3 колаборації)</i>	85
Пошуки безнейтринного 2β розпаду ^{100}Mo з детектором NEMO-3	
<i>В. І. Третьак (від NEMO-3 колаборації)</i>	86

Моделювання тричастинкових каскадних розпадів резонансів з врахуванням кутових кореляцій <i>В. В. Улещенко</i>	86
Вероятность однофотонной аннигиляция позитронов, усредненная по атомным электронам <i>С. Н. Федоткин</i>	87
Порівняння експериментальних даних з симуляцією, використовуючи детектори “InGrid” для міні-часопрольотної камери <i>А. В. Чаус, М. П. Тітов, П. Кола, Д. Атте, О. Безиийко, О. Федорчук</i>	88
Пошук чорної матерії на міжнародному лінійному коллайдері (ILC) <i>А. В. Чаус, М. П. Тітов, Д. Ліст</i>	89
Моделювання радіоактивного фону криогенних болометрів з кристалами $Zn^{100}MoO_4$ для пошуку $0\nu 2\beta$ розпаду ядра ^{100}Mo в установці EDELWEISS у підземній лабораторії Модан <i>Д. М. Черняк, Ф. А. Даневич, А. Джуліані, В. В. Кобичев</i>	90
Металеві мікро-детектори для зображення і моніторингу профілю пучка в променевої терапії <i>В. Яковенко, О. Ковальчук, Ю. Сорокін, В. Пугач, О. Охріменко, Й. Презадо, І. Мартінез-Ровіра</i>	91

Секція 2. Атомна енергетика

Можливість радіаційної розвідки при аварії на АЕС з використанням безпілотного літального апарата <i>І. С. Азаров, В. Л. Сидоренко, Ю. П. Середа</i>	92
Розробка сценарію можливого розвитку аварії на прикладі чорнобильської катастрофи <i>С. І. Азаров, О. В. Тарановський</i>	93
Реалізація першого етапу модернізації штатних одноярусних контейнерних збірок на енергоблоці № 1 Южно-Української АЕС з метою забезпечення контролю металу корпусу реактора в надпроектний період експлуатації <i>В. М. Буканов, В. В. Лькович, О. В. Грищенко, В. Л. Демьохін, О. Г. Васильєва</i>	95
Аналіз фізичних методів моделювання процесів випромінювання в радіаційно-технологічних процесах <i>І. М. Вишневський, В. І. Сахно, С. І. Азаров, В. М. Євланов</i>	96
Проблеми безпеки внутрішніх ядерних систем ЯФУ <i>І. М. Вишневський, С. І. Азаров, В. М. Євланов</i>	97

Щодо оптимізації характеристик реактора ВВР-М після конверсії на низькозбагачене паливо	
<i>П. М. Ворона</i>	98
Порівняльний аналіз розрахункових і експериментальних даних для палива PWR і BWR	
<i>В. В. Гальченко</i>	100
Розкид флюенсу для зразків-свідків, які визначають критичну температуру крихкості	
<i>М. Г. Голяк, Л. І. Чирко</i>	100
Дослідження перспективних ядерних реакторів за допомогою коду Serpent	
<i>В. І. Гудік, В. М. Павлович, В. М. Хотяїнцев, О. М. Хотяїнцева, А. Н. Ткачук</i>	101
Дозиметрический експеримент на РАЭС-3	
<i>В. Л. Демехин, В. Н. Буканов, Е. Г. Васильева, А. М. Пугач, С. М. Пугач</i>	102
Переріз взаємодії ядер ^{232}Th з дейтронами енергії 4,4 ГеВ	
<i>Ю. В. Кіш, І. Адам, І. І. Гайсак, Й. Врзалова, Л. Заворка, К. Катовскі, А. А. Солнишкін, С. І. Тютюнников, Ж. Х. Хушвактов, В. М. Цупко-Ситніков, В. В. Чілап</i>	103
Определение радиоизотопного состава активности специзделий ЧАЭС	
<i>А. М. Максименко, М. Д. Бондарьков, В. Н. Глыгало, В. Г. Песков, А. П. Цивун</i>	104
Валідація бібліотек ядерних даних для коду WIMSD5B	
<i>А. А. Мішин, В. В. Гальченко, Н. М. Рабченко</i>	105
Метод мінімізації вероятності накоплення пошкодження оболонок твзлов ВВЭР-1000 с учетом неравномерности энерговыделения в ТВС	
<i>С. Н. Пельх, М. В. Максимов, М. В. Никольский, С. Д. Рябчиков</i>	106
Визначення критичної температури крихкості опромінених матеріалів корпусів реакторів ВВЕР-1000	
<i>В. М. Ревка, Л. І. Чирко</i>	106
Моделирование начальной стадии цепной реакции при помощи теории перколяции	
<i>В. В. Рязанов</i>	107
Удосконалена система вимірювань змішаних В-, Г-полів у реакційній камері радіаційної установки ІЯД НАН України	
<i>В. І. Сахно, Т. В. Ковалінська, І. М. Вишневський, А. Г. Зелінський, І. А. Остапенко</i>	109
Техніка та методи радіаційних вимірювань у дослідженнях на пучках електронів 4 МеВ радіаційної установки ІЯД	
<i>В. І. Сахно, Т. В. Ковалінська, І. М. Вишневський, А. Г. Зелінський, І. А. Остапенко</i>	109

Дослідження та розробка прискорювача 0,5 MeV для експериментального радіаційного комплексу	
<i>В. І. Сахно, Т. В. Ковалінська, І. М. Вишневський, А. Г. Зелінський, І. А. Остапенко, Н. В. Халова</i>	110
Проведення «стрес-тестів» дослідницького ядерного реактора ВВР-М при екстремальних зовнішніх діях	
<i>В. І. Слісенко, Н. І. Мазіна, В. М. Макаровський, О. Г. Д'яков</i>	111
Аналіз безпеки при заміні новими ділянками трубопроводів і вставок 1-го контуру ВВР-М	
<i>В. І. Слісенко, Н. І. Мазіна, В. М. Макаровський, О. Г. Д'яков</i>	112
Застосування інформації про наявну надійність енергоблоку АЕС для оцінки ступеню ризику експлуатації	
<i>А. Н. Харабет, О. Є. Зотєєв, О. О. Чулкін, В. О. Зотєєв</i>	113
Скачок реактивності у реакторі на хвилі ядерних поділів	
<i>В. М. Хотьяїнцев, А. В. Аксьонов, О. М. Хотьяїнцева, В. М. Павлович</i>	114
Реактивність у теорії стаціонарної хвилі ядерних поділів	
<i>О. М. Хотьяїнцева, В. М. Хотьяїнцев, В. М. Павлович</i>	114
Взаємодія нейтронів с веществом при високої щільності взаємодія	
<i>Ю. Г. Щепкин, В. И. Слисенко, Т. А. Костюк, Н. И. Мазина</i>	115
Створення алгоритму та написання програми для обрахунку критичної температури крихкості на основі підходу майстер кривої	
<i>О. В. Шкапяк, Л. І. Чирко, В. М. Рєвка, Ю. В. Чайковський</i>	116

**Секція 3. Радіаційна фізика
та радіаційне матеріалознавство**

Кремнієвий стріп-детектор для мікропучкової радіаційної терапії	
<i>І. Є. Анохін, О. С. Зінець</i>	118
Утворення та упорядкування пустот у кремнії, опроміненому високоенергетичними іонами гелію	
<i>В. І. Варніна, П. Г. Литовченко, Л. С. Марченко, М. Б. Пінковська, М. І. Старчик, Г. Г. Шматко</i>	118
Радіаційні та ядерні технології в Інституті ядерних досліджень НАН України	
<i>І. М. Вишневський, Г. П. Гайдар, О. В. Коваленко, Т. В. Ковалінська, М. Ф. Коломісць, А. І. Липська, П. Г. Литовченко, В. І. Сахно, В. М. Шевель</i>	120
Вплив взаємодії між електронними збудженнями на люмінесценцію з області треку швидкої зарядженої частинки	
<i>І. Ю. Голіней, В. Й. Сугаков, А. А. Чернюк</i>	121

Проходження γ-фотонів скрізь вібруючі поглиначі <i>О. Я. Дзюблик</i>	122
Дифракція Лауе колімованих пучків гамма-променів <i>О. Я. Дзюблик, В. Ю. Співак</i>	122
Конфигурационная перестройка дивакансий в n-Si <i>А. П. Долголенко</i>	123
Конфигурационная перестройка дивакансий в p-Si <i>А. П. Долголенко</i>	124
Актуальні напрямки радіаційних технологій <i>Т. В. Ковалінська</i>	126
Перспективи застосування світлодіодних структур у медичній практиці <i>Є. В. Малий, О. П. Мельник, М. В. Литовченко, М. Б. Пінковська, В. П. Тартачник, В. В. Шлапацька</i>	127
О возбуждении автоволн конденсированной фазы экситонов при стационарном неоднородном облучении квантовых ям в полупроводниках <i>В. В. Михайловский, В. И. Сугаков</i>	128
Особливості впливу опромінення частинками різних видів на вольт-амперні характеристики GaP світлодіодів <i>І. В. Петренко, О. В. Конорева, В. І. Куц, М. В. Литовченко, П. Г. Литовченко, Є. В. Малий, М. Б. Пінковська, В. П. Тартачник</i> ...	129
Зв'язок поперечного розширення та ударної в'язкості зразків Шарпі сталі корпусів реакторів ВВЕР-1000 в неопроміненому та опроміненому стані <i>В. М. Ревка, О. В. Тригубенко</i>	130
Виникнення і структура внутрішнього кільця випромінювання зі збуджених лазером областей напівпровідникових квантових ям <i>В. Й. Сугаков, В. В. Томилко, А. А. Чернюк</i>	131
Моделювання впливу швидких іонів на властивості багатошарових магнітних ТВFECO-структур <i>В. П. Хоменков</i>	133

*Секція 4. Теорія ядерного синтезу
та фізика плазми*

Електронна концентрація в плазмі електродугового розряду між композитними Cu-C електродами <i>А. М. Веклич, В. Ф. Борецький, С. О. Фесенко, Я. В. Бондаренко</i>	134
Резонансні властивості індукційних антен біля електронно-циклотронної частоти <i>В. Ф. Вірко, В. М. Слободян, Ю. В. Вірко</i>	135

Влияние эффекта нереализации спектральных линий на интенсивность излучения сплошного спектра плотной плазмы <i>Д. М. Войтенко, О. А. Федорович</i>	136
Зв'язані триплетні стани позитрона з воднево подібними атомними системами в адиабатичному наближенні <i>М. І. Гайсак, І. І. Гайсак, М. Гнатич, М. С. Кленівський</i>	137
Плазмово-рідинна система з обертово-ковзною дугою та вторинним розрядом <i>Д. К. Гамазін, В. В. Юхименко, В. Я. Черняк</i>	138
Вплив напруги зміщення на розпилення матеріалів та швидкість травлення кремнію <i>В. В. Гладковський, Б. П. Полозов, О. А. Федорович</i>	139
Вплив напруги зміщення на формування структури поверхні монокремнію при плазмохімічному травленні <i>В. В. Гладковський, Б. П. Полозов, О. А. Федорович</i>	140
Достаточное условие устойчивости решения уравнения Горина <i>В. В. Горин</i>	142
Вплив ефектів анізотропії тиску на спектри кінків пінча з низьким запасом стійкості <i>А. А. Гурин</i>	143
Особенности физической модели расчета кинетики реформингу биостанолу в плазмо-каталитическом реакторе <i>Т. С. Донченко, О. М. Цимбалюк, В. Я. Черняк, Д. С. Левко</i>	144
Зміна нейтронного виходу при взаємодії іонів інжектваного пучка зі збудженою цими іонами модою E-GAM в токамаках <i>Я. І. Колесниченко, Б. С. Лепяк</i>	145
Вплив E-GAM моди на іони пучка в токамаках <i>Я. І. Колесниченко, В. В. Луценко, Б. С. Лепяк</i>	146
Теорія плазмового двигуна на основі електромагнітного поля, що обертається <i>Я. І. Колесниченко, В. В. Луценко, Т. С. Руденко</i>	147
Модельовання нового покоління плазмовооптичних пристроїв <i>І. Літовко, А. Гончаров, А. Добровольський, Л. Найко, І. Найко, В. Гушенец, Е. Окс</i>	148
Високочастотні нестійкості індуковані енергійними іонами в магнітних островах <i>В. С. Марченко, С. М. Резник</i>	149
Нерівноважність плазми в динамічних плазмохімічних системах <i>О. А. Недибалюк, В. Я. Черняк, І. І. Федірчик, В. В. Юхименко, О. В. Соломенко, Ю. П. Веремій, І. В. Присяжневич, В. О. Шаповал</i>	150
Випромінювання електромагнітної енергії в турбулентній неоднорідній плазмі <i>В. М. Павленко, В. Г. Панченко, М. А. Белошенко</i>	150

Вплив домішок міді на властивості плазми підводних розрядів <i>П. В. Порницький, П. Д. Старчик</i>	151
Дослідження розрядних систем з жеврійним мікророзрядом <i>Ок. В. Соломенко, Ол. В. Соломенко, В. Я. Черняк, В. В. Лендсл, Д. О. Калустова, І. В. Присяжневич</i>	152
Дослідження просторового каналування енергії та стохастизації руху швидких іонів високочастотними нестійкостями плазми <i>М. Г. Тищенко, Ю. В. Яковенко</i>	152
Плазмово-каталітичне реформування біопалив <i>І. І. Федірчик, О. А. Недибалюк, В. Я. Черняк</i>	153
Оптические свойства плотной плазмы <i>О. А. Федорович</i>	154
Вплив анізотропної температури електронів на гальмівну здатність у плазмі <i>О. В. Хелемеля, Р. І. Холодов</i>	156
Обертово-ковзний розряд у кварцовому циліндрі <i>Д. Л. Чернолуцький, В. В. Колган, В. Я. Черняк, О. А. Недибалюк, Ол. В. Соломенко, О. Е. Лушкін, В. В. Юхіменко, В. О. Шаповал, М. О. Якимов</i>	158
Метод безперервного отримання вуглецевого матеріалу плазмово-каталітичним піролізом етанолу <i>К. В. Юхіменко, Ю. П. Веремій, В. Я. Черняк, М. М. Касумов</i>	159
Регулярна та стохастична динаміка швидких іонів за наявності квазістаціонарних магнітних збурень <i>Ю. В. Яковенко, О. С. Бурдо, Я. І. Колесниченко, М. Г. Тищенко</i>	160

Секція 5. Радіобіологія та радіоекологія

Мікроорганізми у зразках води з нижніх відміток об'єкту «Укриття» <i>В. Бережна, О. Одінцов, О. Сенюк, В. Хан, В. Ковальов, М. Круль, Л. Паламар, Г. Петелін, Н. Рашидов</i>	161
Реакція клітин кісткового мозку на тривале введення ¹³¹I <i>О. О. Бурдо, Н. М. Рябенко, А. І. Липська, І. П. Дрозд, О. А. Сова</i>	162
Застосування багатоканерних моделей в радіобіології <i>І. М. Вишневський, І. П. Дрозд, А. І. Липська, А. Д. Фурса</i>	163
Біокінетика ¹³¹I та дозоутворення за тривалого надходження до організму щурів <i>І. П. Дрозд, А. І. Липська, О. А. Сова, В. А. Шитюк</i>	164
Гематологічні ефекти за тривалого внутрішнього опромінення щурів ізотопом ¹³¹I <i>І. П. Дрозд, А. І. Липська, О. А. Сова, Н. К. Родіонова</i>	165

Роль природних антиоксидантів у збереженні фертилізаційних властивостей сперми людини	
<i>Л. В. Горбань, А. В. Кленко, О. С. Ватліцова, Ю. А. Кондратова, С. В. Андрейченко.....</i>	166
Інтегральна оцінка системи окисного метаболізму за тривалого надходження до організму ¹³¹I	
<i>Ю. П. Гриневич, А. І. Липська, І. П. Дрозд, С. В. Телецька.....</i>	167
Динаміка питомої активності плодкових тіл грибів на території, забрудненій внаслідок аварії на ЧАЕС	
<i>Н. Є. Зарубіна, О. С. Бурдо.....</i>	168
Оцінка придатності вертикальних каналів київського дослідницького реактора для створення установки для експериментів з нейтрон-захватної терапії	
<i>Г. Й. Лавренчук, В. А. Лібман, <u>В. Ф. Разбудей</u>, В. В. Тришин, Л. Є. Червонна, Ю. Б. Шевченко.....</i>	169
Особливості біологічних ефектів у клітинах при дії оптичного випромінювання червоного діапазону	
<i>Г. Й. Лавренчук, Ю. Б. Шевченко, І. В. Козловська, О. А. Бойко.....</i>	170
Морфофункціональні зміни в культурі клітин при дії нейтронозахватних агентів з фотосенсибілізуючими властивостями та червоного світла	
<i>Г. Й. Лавренчук, Ю. Б. Шевченко, Х. М. Литвинчук, В. С. Асмолкова, Є. М. Прохорова, Л. Є. Червонна.....</i>	171
Віддалені наслідки впливу радіоактивного йоду на організм великої рогатої худоби	
<i>М. М. Лазарєв.....</i>	172
Деякі параметри метаболізму радіоактивного йоду в організмі великої рогатої худоби українського полісся	
<i>М. М. Лазарєв, Ю. В. Хомутінін.....</i>	173
Особливості зміни якості сперми у мешканців радіоактивно забруднених областей України	
<i>О. М. Мотрина, А. В. Кленко, А. В. Чернишов, К. С. Андрейченко, В. М. Булавицька, С. В. Андрейченко.....</i>	174
Утворення та репарація термолабільних сайтів ДНК як джерело додаткового генотоксичного навантаження на клітини за поєднаного радіаційно-хімічного впливу	
<i>І. І. Музальов, В. М. Михайленко.....</i>	175
Про імунорегуляторну та радіозахисну функцію вітамінів	
<i>В. І. Паламарчук.....</i>	176
Чисельне моделювання та ідентифікація параметрів кінетики радіонуклідів ⁹⁰Sr в організмі дрібних гризунів за різних режимів надходження	
<i>В. І. Пастушенко, М. В. Найчук, І. П. Дрозд, А. І. Липська.....</i>	177

Модифицированный матричный метод анализа гамма-спектров в полевой спектрометрии	
<i>Э. Э. Петросян, А. М. Соколов, С. С. Погуляй, Т. В. Микитюк, Р. Ю. Чаплинский, М. В. Шестаков.....</i>	178
Ко-мутагенные эффекты в облученных клетках крови здоровых лиц и онкологических больных (сравнительные аспекты)	
<i>Е. П. Пилипчук, Е. А. Демина, В. С. Иванкова.....</i>	179
Комбінований вплив N-стеароїлетаноламіну та іонізуючого випромінювання на гематологічні показники периферичної крові щурів	
<i>Н. К. Родіонова, В. В. Талько, Н. П. Атаманюк, Л. П. Дерев'янка, Є. М. Прохорова, В. Косьякова, О. Ф. Мегедь, А. Г. Бердишев, Н. М. Гула, А. А. Чумак.....</i>	181
Вплив фракціонованого іонізуючого випромінювання в малих дозах на ріст та метастазування карциноми легені Льюїс в експериментальній моделі	
<i>Н. М. Рябченко, О. Б. Ганжа, М. О. Дружина.....</i>	182
Цитогенетичні ефекти в групі осіб із персоналу, який виконував роботи з демонтажу вентиляційної труби об'єкту «Укриття»	
<i>Л. В. Тарасенко, Л. К. Бездробна, Т. В. Циганок, Т. В. Мельник, В. А. Курочкіна, В. О. Сушко, С. Ю. Нечаєв, Л. І. Швайко.....</i>	183
Система управління якістю при виробництві радіофармпрепаратів в Інституті ядерних досліджень НАН України	
<i>В. В. Тришин, О. В. Божок, Л. К. Бездробна, Г. Я. Мінчук, В. А. Агеев.....</i>	184
Особливості росту та функціонування системи антиоксидантного захисту у ряд генераций <i>Aspergillus versicolor</i>	
<i>А. В. Тугай, Т. І. Тугай, В. О. Желтоножський, М. В. Желтоножська, Л. В. Садовніков.....</i>	185
Дослідження перекисного окиснення ліпідів у <i>Aspergillus versicolor</i>	
<i>Т. І. Тугай, А. В. Тугай, В. О. Желтоножський, М. В. Желтоножська, Л. В. Садовніков, Л. О. Підгерська.....</i>	186
Гематологічні показники за одноразового перорального надходження до організму експериментальних щурів розчину натрію йодиду (Na¹³¹I)	
<i>Т. В. Циганок, І. П. Дрозд, Л. В. Тарасенко, В. І. Федорченко.....</i>	187
Особливості реакцій вищої нервової діяльності щурів за умов комбінованої дії іонізуючого опромінення та стресу	
<i>М. В. Шелковський.....</i>	188
Радіаційні наслідки лісових пожеж в Україні	
<i>С. І. Азаров, В. Л. Сидоренко, Ю. П. Серєда.....</i>	189

Особенности радиоактивного загрязнения олиготрофных водоемов	
<i>В. В. Беляев, Е. Н. Волкова</i>	191
Новые композитные волокна для селективного извлечения цезия из загрязненных вод	
<i>Ю. В. Бондарь, С. В. Кузенко, Н. В. Александрова, Т. И. Коромысличенко</i>	192
Миграция различных радионуклидов в почве Черниговской области и ближней зоны ЧАЭС	
<i>Д. М. Бондарьков, И. Н. Вишневский, В. А. Желтоножский, П. Н. Музалев, М. В. Желтоножская</i>	193
Дослідження хромосомної нестабільності в соматичних клітинах людини за умов комбінованої дії екзогенних оксидів азоту та аскорбінової кислоти	
<i>Е. А. Дьоміна, В. М. Михайленко, О. П. Пилипчук, О. А. Главін</i>	194
Розробка бази даних для ядерної криміналістики в Україні	
<i>О. В. Гайдар, В. В. Тришин, А. І. Устинов</i>	195
Розробка бази даних результатів цитогенетичних досліджень в ІЯД НАН України	
<i>О. В. Гайдар, Л. К. Бездробна, Т. В. Мельник</i>	196
Оцінка впливу на довкілля експлуатації сучасних центрів ядерної медицини в умовах мегаполісів	
<i>О. В. Гайдар, В. В. Тришин, О. В. Сваричевська, І. О. Павленко, В. О. Гайдар</i>	196
Результаты долговременного радионуклидного мониторинга водных экосистем в чернобыльской зоне отчуждения	
<i>Д. И. Гудков, С. И. Киреев, С. М. Обризан, А. Е. Каглян, А. Б. Назаров, В. В. Беляев, В. Г. Кленус, К. Д. Ганжа</i>	197
Исследование концентрации радионуклидов в топливосодержащих материалах	
<i>М. В. Желтоножская, Н. В. Кулич, А. И. Липская, В. И. Николаев, Л. В. Садовников</i>	198
Моделирование вертикальной миграции радионуклидов в почве зоны отчуждения ЧАЭС	
<i>В. А. Желтоножский, М. В. Желтоножская, В. П. Хоменков</i>	199
Современное радиозкологическое состояние водоема-охладителя ЧАЭС после начала его трансформации	
<i>О. Л. Зарубин, Н. Е. Зарубина, В. А. Костюк, И. А. Малюк</i>	199
Отрицательный опыт радиозкологического мониторинга в условиях радиационной аварии	
<i>О. Л. Зарубин, Д. А. Вишневский</i>	200
Математична модель міграції ^{90}Sr і ^{137}Cs в ґрунтово-рослинному покриві агрофітоценозів на пізній фазі аварії	
<i>Ю. О. Іванов, Ю. В. Хомутінін</i>	201

Мониторинг радиоактивных аэрозолей в локальной зоне объекта «Укрытие» на этапе сооружения нового безопасного конфайнмента «Арка»	
<i>А. К. Калиновский, А. В. Филиппов, Б. И. Огородников.....</i>	202
Вивчення форм знаходження та характеру міграції урану в хвостоховищі «Центральний Яр»	
<i>К. О. Кориченський, Г. В. Лантєв, Т. В. Лаврова, Т. І. Дивак.....</i>	203
Вплив піскування торфових ґрунтів на зменшення надходження ¹³⁷Cs в рослини	
<i>О. В. Косарчук, М. М. Лазарєв, С. В. Поліщук.....</i>	204
Визначання активності ⁹⁰Sr у воді шляхом прямого вимірювання рідино-сцинтиляційним лічильником	
<i>Г. В. Лантєв, Л. С. Пірнач, Т. І. Дивак.....</i>	205
Оцінка виносу природних радіонуклідів із зони впливу колишнього підприємства з переробки уранової сировини, переносу їх та розподілу в екосистемі Дніпровського водосховища	
<i>Т. В. Лаврова, О. В. Войцехович, В. В. Канівець, Г. А. Деркач.....</i>	206
Результати дослідження радіоактивного та хімічного забруднення седиментаційного відстійника на р. Коноплянка у зоні впливу колишнього підприємства з переробки уранової руди	
<i>Т. В. Лаврова, О. В. Войцехович, В. В. Канівець, С. В. Тодосієнко.....</i>	207
Радіоекологічні дослідження на слідах аварійних паливних випадів в ЗВ ЧАЕС	
<i>А. І. Липська, В. І. Ніколаєв, В. А. Шитюк, Н. В. Куліч, В. І. Чурюмов.....</i>	209
Експеримент з масовим опроміненням триває, а результати втрачаються	
<i>І. М. Лютій.....</i>	209
Вплив поєднаної дії екзогенних оксидів азоту та малих доз іонізуючої радіації на розвиток генетичної нестабільності у малігнізованих клітинах	
<i>І. І. Музальов, В. М. Михайленко.....</i>	211
Радионуклідний состав проб донных отложений Цимлянского водохранилища	
<i>Т. В. Никитина.....</i>	212
Содержание ¹²⁹I в воде объекта «Укрытие»	
<i>А. А. Одинцов, В. Е. Хан, А. К. Калиновский.....</i>	213
Розподіл ¹³⁷Cs між наземними та підземними органами <i>Typha angustifolia</i>	
<i>С. П. Пришляк, О. М. Волкова, В. В. Беляєв, О. О. Пархоменко.....</i>	214
Статистичні закономірності розподілу радіонуклідів в ґрунтах заповідних територій Закарпаття	
<i>О. І. Симканіч, С. М. Сухарєв, Н. І. Сватюк, В. Т. Маслюк, О. О. Парлаг.....</i>	215

Ядерна криміналістика в Україні	
<i>В. В. Тришин</i>	216
Підходи до оцінки критичності екосистем забруднених регіонів Полісся у пізню фазу розвитку радіологічної ситуації після аварії на ЧАЕС	
<i>Г. М. Чоботько, В. П. Ландін, Л. А. Райчук, І. К. Швиденко</i>	217
Авторський покажчик	219

Тези доповідей з ядерної фізики

ВПЛИВ ЗАЛИШКОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ НА ІЗОСКАЛЯРНІ ДИПОЛЬНІ МОДИ У ВАЖКИХ ЯДРАХ

В. І. Абросімов, О. І. Давидовська

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Ізоскалярні дипольні моди у важких ядрах розглянуто в рамках кінетичної моделі малих коливань скінченної фермі-системі, обмеженої рухомою поверхнею. Отримано аналітичний вираз для ізоскалярної функції відгуку дипольного моменту другого порядку з урахуванням залишкової взаємодії між нуклонами (у першому порядку ізоскалярний дипольний відгук являє собою відгук центра мас системи). Включення залишкової взаємодії змінює стисливість фермі-системі, а тому впливає на ізоскалярні дипольні моди. Для оцінки ефектів залишкової взаємодії використовується сепарабельна взаємодія диполь-дипольного типу. Параметр сили взаємодії вибирається, використовуючи властивості монопольної моди стиснення (гігантського монопольного резонансу), отримані в даній кінетичній моделі. Показано, що рух центра мас системи не приводить до внутрішніх збуджень з позитивною частотою, а тому включення залишкової взаємодії не порушує трансляційної інваріантності моделі. Силова функція, обчислена з врахуванням залишкової взаємодії, має дворезонансну структуру, яка виявляється і в нульовому наближенні (без включення залишкової взаємодії). Врахування залишкової взаємодії приводить до зміщення резонансів в область більш низьких частот і покращує узгодженість з експериментальними даними для низькоенергетичної і високоенергетичної ізоскалярних дипольних мод у важких ядрах.

ВИКОРИСТАННЯ ПАКЕТІВ GEANT4/GATE ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ НОВІТНІХ ДЕТЕКТОРНИХ СИСТЕМ

М. Є. Альохіна, О. А. Безшийко, Л. О. Голінка-Безшийко, І. М. Каденко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Використання методу Монте Карло при моделюванні детекторних систем для застосувань в ядерній фізиці та фізиці високих енергій дає змогу з високою достовірністю відтворювати процеси детектування іонізуючого випромінювання та забезпечувати коректність результатів/розрахунків для складних геометрій експериментальних установок. Найбільш відомий код, в якому використовується такий підхід – GEANT4. Окрім високої ефективності та потужності його класів привабливим є доступ до відкритого коду та можливість працювати на всіх основних комп'ютерних платформах. Також код має вели-

ку базу напрацьованих прикладів і застосувань у різних областях науки, техніки, медицини. В той же час GEANT4 має не досить «дружній» інтерфейс користувача, вимагає високого рівня кваліфікації з об'єктно орієнтованого програмування на C++ при створенні моделей складних систем, а також глибокого розуміння фізики процесів.

В останні роки суттєво збільшилась складність детектуючих систем, в багатьох випадках вимагається врахування часових залежностей реєстрації фізичних процесів з пікосекундною роздільною здатністю. Для потреб моделювання таких систем з 2001 року активно розвивається розширення коду GEANT4 – GATE. Цей код було орієнтовано для моделювання зображень з систем позитронно емісійної томографії. Зараз його можливості суттєво розширені і дають змогу моделювати 3D зображення та дозові розподіли в системах позитронно емісійної томографії, комп'ютерної томографії, PET/CT, однофотонної емісійної томографії, променевої терапії, адронної терапії, гамма камер та просторово-часовий розподіл сигналів для цілої низки наукових задач ядерної фізики, фізики прискорювачів та фізики високих енергій.

Код GATE має суттєво більш дружній інтерфейс користувача не обмежуючи при цьому використання всіх потужних можливостей GEANT4. У ньому ефективно і зручно враховуються часові залежності сигналів, застосовуються спеціальні методи для забезпечення компромісу між необхідністю моделювання систем з великими геометричними розмірами і потребами прецизійності розрахунків. Відгук електронної системи аналогового формування сигналів з детектора, оцифрування їх, мертвий час аналізу також можуть бути враховані при моделюванні.

В рамках наших досліджень можливостей використання детекторів черенковського випромінювання для отримання зображень часопротонних позитронно емісійних томографів, а також дослідження системи моніторингу пучка прискорювача високоенергетичних електронів було створено дві моделі прототипів таких систем, проведено верифікацію та аналіз основних особливостей їхньої поведінки.

ЗАСТОСУВАННЯ ДЕТЕКТОРІВ ЧЕРЕНКОВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЗИТРОННО-ЕМІСІЙНИХ ТОМОГРАФІВ

М. Є. Альохіна, О. А. Безшийко, Л. О. Голінка-Безшийко, І. М. Каденко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Позитронно-емісійна томографія – сучасна технологія для вимірювання біохімічної активності організму шляхом детектування локальної концентрації позитрон-емітуючого радіофармпрепарату (РФП) в живій тканині. Значне підвищення чутливості методу позитронно-емісійної томографії має беззаперечні переваги при діагностиці злоякісних новоутворень та метастазів

в активній стадії розвитку. В цьому методі використовується здатність деяких РФП накопичуватися в ракових пухлинах. Далі радіоактивні ядра, що входять до складу цих РФП, випромінюють позитрони, які анігілюють з електронами біологічних тканин. В результаті з найбільшою ймовірністю утворюються одночасно два гамма-кванти з енергією 511 кеВ кожний, які розлітаються під кутом 180°. Реєстрація такої складної події через детектування гамма-квантів у режимі збігів дає змогу суттєво зменшити вплив фонових (розсіяних) гамма-квантів та отримати високоінформативні ПЕТ зображення. За останні роки почали активно впроваджувати схему часопрольотно-го ПЕТ, що дає можливість додатково покращити відношення сигнал фон та роздільну здатність томографічної системи. Наближення часової роздільної здатності детекторів гамма-квантів до 20 пс дасть можливість суттєво спростити томографічні алгоритми для відновлення 3D розподілів РФП в організмі, а, може, і відмовитися від них. Однак, найбільш широко застосовні в цій області скінтіляційні детектори за рахунок скінченного часу висвітлення не дають змогу отримати роздільні здатності системи, суттєво менші за 300 пс. Тому, наразі, набуває все більшого розвитку дослідження можливості заміни скінтіляційних детекторів детекторами черенковського випромінювання, при цьому зникає негативний вплив скінченного часу висвітлювання. У той же час виникають нові обмеження – відносно низька кількість квантів світла, набагато більш суттєвий вплив геометрії детектуючої системи, ефективності та інших характеристик фотодетекторів. Усе це вимагає проведення прецизійних модельних розрахунків з великою просторовою точністю і використанням детальних процесів детектування.

У роботі було проведено аналіз ефективності використання детекторів черенковського випромінювання в ПЕТ, порівняння з досягненнями і перспективами детектуючих систем на основі скінтіляційних детекторів. Розглянуто переваги та недоліки використання таких новітніх фотодетекторів, як кремнієві лавинні фотодіоди в режимі Гейгера (SiPM), цифрові SiPM, нові типи фотодетекторів на основі мікроканалних пластин. Проведені моделювання з використанням коду GEANT4/GATE.

ПОТЕНЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПОЗИТРОННО-ЕМІСІЙНОЇ ТОМОГРАФІЇ

**О. Безшийко¹, Б. Бондар^{1,2}, Т. Говоруха³, Л. Голінка-Безшийко¹,
І. Каденко¹, В. Кириченко³, Я. Кметюк², О. Шевченко³**

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

² Всеукраїнський центр радіохірургії, Клінічна лікарня «Феофанія», Київ

³ Київський міський онкологічний клінічний центр, Київ

Наукові дослідження, клінічний досвід і економічний аналіз показали, що за останні роки позитрон емісійна томографія (ПЕТ) зарекомендувала себе

як ефективний діагностичний спосіб виявлення ракових пухлин, які знаходяться в стадії активного розвитку. Поєднання ПЕТ з комп'ютерною томографією (ПЕТ/КТ) довело свою доцільність при діагностиці для хірургічного лікування та плануванні у променевій терапії. Використання ПЕТ/КТ систем набуває все більшого поширення. В Україні планується створення цілої низки центрів з частковим, або повним технологічним циклом ПЕТ/КТ. У двох онкологічних центрах успішно впроваджено використання ПЕТ/КТ з повним технологічним ланцюгом (від напрацювання радіоізоотопів із синтезом радіофармпрепаратів до отримання діагностичних зображень з використанням ПЕТ/КТ сканерів).

Унаслідок необхідності використання коротко існуючих ізоотопів для проведення ПЕТ доцільним є розміщення циклотронів для їхнього напрацювання безпосередньо при онкологічних центрах, що, як правило, розташовані у великих містах та агломераціях. Саме тому використання та виробництво радіофармпрепаратів на основі позитрон-активних ізоотопів вимагають особливої уваги до викидів від можливих джерел шкідливих і радіоактивних елементів у навколишнє середовище, їхнього контролю та мінімізації. Розглянуто вплив нейтронного потоку, що формується в результаті реакції $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$ при напрацюванні радіоактивного фтору, активацію конструкційних матеріалів бункеру медичного циклотрону та утворення ^{41}Ar . Радіоактивний ^{41}Ar є продуктом реакції $^{40}\text{Ar}(n,\gamma)^{41}\text{Ar}$ і дає основний внесок у радіоактивне забруднення повітря в бункері циклотрону.

В роботі проведено аналіз потенційних джерел радіоактивного забруднення, можливих шляхів його поширення, методів вимірювання рівнів відповідних шкідливих викидів та деяких підходів до їхнього зменшення.

Дослідження проводилися на базі двох провідних онкологічних центрів України: Всеукраїнського центру радіохірургії клінічної лікарні «Феофанія» та Київського міського онкологічного клінічного центру, використовуються різні типи медичних циклотронів – з та без внутрішнього спеціалізованого комбінованого захисту.

Проведено оцінку накопичення ^{41}Ar , величини нейтронних потоків, викидів у повітря ^{18}F з різних джерел забруднення та облаштування спец каналізації.

ОЦІНКА СИСТЕМАТИЧНИХ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ МАСИ ТОП КВАРКА У ДІЛЕПТОННОМУ КАНАЛІ РОЗПАДУ В ЕКСПЕРИМЕНТІ D0

М. С. Борисова (від імені колаборації D0)

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Топ-кварк є найважчою елементарною частинкою, виявленою досі. Дуже точне визначення маси топ важливе не тільки саме по собі, але, виявляється, накладає обмеження на вимірювання маси бозону Хіггса.

У роботі представлено вимірювання маси топ-кварка в ділептонному каналі розпаду у протон-антипротонних зіткненнях з енергією 1.96 TeV в системі центра мас за використанням методу матричних елементів (ММЕ). ММЕ був розроблений для вимірювання маси топ-кварка для каналу лептони + струмені [1]. Аналіз, представлений тут наслідує процедуру, що описана в [2], але за використанням повного набору даних, які були зібрані за 9 років роботи колайдера Теватрон (ФерміЛаб). Повний набір даних відповідає інтегральній світимості $\approx 10 \text{ fb}^{-1}$. Відбір ділептонних подій відбувається згідно критеріям, розробленим для вимірювання кутової асиметрії в ділептонному каналі [3]. Перед застосуванням МЕМ до вибірки даних, метод повинен бути відкалібрований з використанням подій монте-карло (МК), які проходять через повне моделювання детектора ДЮ. Ділептонний канал розпаду складається з трьох під-каналів: $e\mu$, $e\tau$ та $\mu\tau$, для кожного з яких було проведено калібрування окремо і, потім разом. Сигнальні МК події, що використовуються для отримання калібрувальних кривих були отримані за допомогою генераторів Alpgen та Pythia. Згенеровані набори подій відповідають різним гіпотетичним масам топ-кварка: 165, 170, 172.5, 175 і 180 GeV. Фонові процеси генеруються за допомогою Alpgen та Pythia для $Z \rightarrow e\bar{e}$, $Z \rightarrow \mu\bar{\mu}$ і $Z \rightarrow \tau\bar{\tau}$ і Pythia генератора – для імітації двобозонних подій (WW, WZ, ZZ). Загальна кількість подій у вибірці, що використовувалась для калібрування, становить близько 300,000 для кожної гіпотетичної маси топ-кварка. Ми очікуємо близько 500 топ – анти-топ подій для усієї статистики в ділептонному каналі. Калібрувальні криві показують середні значення маси топ-кварка, виміряні у 500 псевдо-експериментах, залежно від згенерованої маси. Для підвищення точності та покращення калібрування маси топ-кварка, серед триструменевих подій, відбирались такі, в яких струмені від лептонів мають найвище значення b-тега. Представлено результати таких розрахунків. Калібрувальні криві демонструють, що метод не страждає від будь-якої упередженості, оскільки зсув калібрувальної прямої дуже близький до нуля і нахил є дуже близький до одиниці. Обговорюються джерела різних систематичних похибок та наведено попередні оцінки цих тестувань.

1. *Abazov V.M. et al. // Nature. - 2004. - Vol. 429. - P. 638 - 642.*
2. *Abazov V.M. et al. // Phys. Rev. Lett. - 2011. - Vol. 107. - P. 08.*
3. *Abazov V.M. et al. Phys. Rev. D. - 2013. - Vol. 88. - P. 112002.*

ДОСЛІДЖЕННЯ АКТИВАЦІЙНИХ РІВНІВ У РЕАКЦІЇ $(\gamma, \gamma')^m$ НА ЯДРАХ ^{77}Se , ^{79}Br , ^{89}Y , ^{103}Rh , ^{111}Cd , ^{137}Ba , ^{179}Hf , ^{197}Au і ^{199}Hg

В. С. Бохінюк, В. І. Жаба, О. М. Парлаг

Ужгородський національний університет, Ужгород

Вивчення енергетичної залежності ефективних перерізів збудження ізомерних станів дає інформацію для з'ясування механізму збудження цих ста-

нів. Зокрема, при вивченні виходу ізомерної активності у реакції $(\gamma, \gamma')^m$ виявлені активаційні рівні, через які відбувається збудження ізомерних станів. Основною метою більшості робіт по вивченню реакції (γ, γ') , що ведуть до утворення ізомеру, було отримання енергетичної залежності ефективного перерізу реакції у відносно широкому інтервалі енергій 8 - 25 МеВ з відносно великим кроком 0,5 - 1,0 МеВ. Дослідження показали, що поблизу порогу фотонуклонних реакцій (γ, n) і (γ, p) переріз досягає максимуму, а в області гігантського резонансу спочатку спадає, а потім зростає знову [1]. Другий напрямок досліджень – це вимірювання виходів (γ, γ') - реакції у невеликому інтервалі 1,5 - 6,0 МеВ, але з кроком 0,1 - 0,2 МеВ. Точки відхилення енергетичної залежності виходу від монотонно зростаючої кривої дають можливість визначити значення окремих активаційних рівнів або групи рівнів, через які проходить заселення ізомерів ядра.

У період 1990 - 2010 рр. на мікротроні М-10 УжНУ проводились дослідження реакції $A(\gamma, \gamma')A^m$ на ядрах ^{77}Se , ^{79}Br , ^{89}Y , ^{103}Rh , ^{111}Cd , ^{137}Ba , ^{179}Hf , ^{197}Au , ^{199}Hg . Це дало можливість охопити проміжкову область енергій 5 - 10 МеВ.

Наведено аналіз енергетичних залежностей абсолютних виходів для $(\gamma, \gamma')^m$ - реакцій на середніх (^{77}Se , ^{79}Br , ^{89}Y) і важких (^{103}Rh , ^{111}Cd , ^{137}Ba , ^{179}Hf , ^{197}Au , ^{199}Hg) ядрах. Монотонно зростаючий хід кривих порушується при деяких значеннях енергій. Тому ці енергетичні залежності виходів були проаналізовані на наявність зломів, бо точки зломів відповідають енергетичним рівням ізомеру. Аналіз проводився у статистичному пакеті за допомогою прямих із врахуванням похибок виходів.

Значення енергій виявлених активаційних рівнів для досліджуваних ізомерів становлять: для ^{77m}Se : 6,32 МеВ; для ^{79m}Br : 7,24; 8,35; 8,70 МеВ; для ^{89m}Y : 7,58; 8,29; 8,68 МеВ; для ^{103m}Rh : 7,87 МеВ; для ^{111m}Cd : 6,89; 7,35 МеВ; для ^{137m}Ba : 7,07; 7,48; 8,44 МеВ; для ^{179m}Hf : 6,21; 6,95 МеВ; для ^{197m}Au : 7,23; 8,16 МеВ; для ^{199m}Hg : 6,9 МеВ.

Розраховано інтегральні перерізи реакцій $^{79}\text{Br}(\gamma, \gamma')^{79m}\text{Br}$ і $^{89}\text{Y}(\gamma, \gamma')^{89m}\text{Y}$.

У роботі [2] наведено енергетичні схеми рівнів для ядер ^{77}Se , ^{89}Y і ^{103}Rh , з яких можуть заселятися ізомерні рівні ^{77m}Se , ^{89m}Y і ^{103m}Rh з певною імовірністю: для ^{77m}Se : 824,43; 680,10; 301,14; 249,78; 175,30 кеВ; для ^{89m}Y : 2622,04; 2566,24; 2529,87 кеВ; для ^{103m}Rh : 651,79; 650,08; 536,83; 93,04 кеВ.

У зв'язку з відсутністю даних у науковій літературі про активаційні рівні для ядер ^{79}Br і ^{111}Cd , з яких можуть заселятися ізомерні рівні ^{79m}Br і ^{111m}Cd , зроблено висновок про недостатню вивченість (γ, γ') - реакцій на цих ядрах.

1. *Гангрський Ю.П., Мазур В.М.* Рассеяние г-квантов ядрами и возбуждение изомерных состояний // ФЭЧАЯ. - 2002. - Т. 33, вып. № 1. - С. 159 - 200.
2. *Firestone R.B., Chu S.Y.F., Shirley V.S. et al.* Table of Isotopes CD-ROM. Eighth Edition, Version 1.0. - California, 1996.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕДИЦИНСКИХ РАДИОНУКЛИДОВ НА ЦИКЛОТРОНЕ У-240

А. Е. Вальков, И. Н. Вишневский, Л. В. Михайлов

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Настоящая работа посвящена описанию мишеней и облучательных установок, созданных на циклотроне У-240 для получения медицинских радионуклидов. Для производства радионуклидов необходимы пучки ускоренных частиц с интенсивностью не менее 100 мкА. На циклотроне У-240 вывод пучков с такой интенсивностью невозможен. Поэтому для получения радионуклидов используется внутренний пучок, интенсивность которого может достигать 150 - 200 мкА. Для облучения внутренним пучком было разработано несколько видов мишеней – 2 типа неподвижных мишеней и вращающаяся. Основными проблемами при разработке конструкции внутренних мишеней являются съем выделяемого тепла (до десятка киловат) и радиационная стойкость конструктивных материалов корпуса мишени.

Первый вариант неподвижной мишени с корпусом-подложкой предназначен для облучения металлических веществ, наносимых на облучаемую поверхность наплавлением, припайванием или электрохимическим способом. Во втором варианте неподвижной мишени рабочее вещество помещено в капсулу, охлаждаемую водой со всех сторон. Эта конструкция предназначена для облучения солей или химически активных металлов. Для доставки мишени внутрь ускорительной камеры в зону облучения и извлечения наружу после облучения была создана облучательная установка, управление которой осуществляется компьютером, установленным на главном пульте циклотрона. Установка включает системы управления и контроля механическими перемещениями, диагностическую и вакуумную системы и систему водоохлаждения. Особое внимание было уделено созданию надежной системы защиты и блокировок.

Для повышения эффективности наработки радионуклидов увеличением тока пучка была разработана вращающаяся мишень. Конструкция вращающейся мишени позволяет в 10 - 15 раз увеличить облучаемую площадь рабочего вещества, значительно улучшить теплосъем и снизить радиационную нагрузку материалов корпуса мишени. Для доставки и извлечения мишени из камеры циклотрона была разработана и изготовлена вторая облучательная установка, полностью независимая от первой. Установка обеспечивает вращение мишени со скоростью 40 об/мин, проток охлаждающей воды 70 л/мин и полностью автоматизированные управление, контроль и защиту.

Конструкции созданных мишеней позволяют осуществлять наработку различных радионуклидов, однако, учитывая энергетический диапазон циклотрона У-240 и потребности ядерной медицины, были выбраны и проведены разработки мишеней для производства изотопов ^{68}Ge и ^{82}Sr . Для получения

первого изотопа используется ядерная реакция ${}^{\text{nat}}\text{Ga}(p, xn){}^{68}\text{Ge}$ ($E_p = 50$ МэВ) и для получения второго - ${}^{\text{nat}}\text{Rb}(p, 4n){}^{82}\text{Sr}$ ($E_p = 72$ МэВ). В качестве исходного вещества для получения ${}^{68}\text{Ge}$ были исследованы чистый галлий и биметаллический сплав Ga_4Ni . Для них были разработаны неподвижные мишени различных типов. Для получения ${}^{82}\text{Sr}$ была разработана вращающаяся мишень, содержащая расплав соли RbCl .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОННОГО ПУЧКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОТОПА ${}^{82}\text{Sr}$ НА ЦИКЛОТРОНЕ У-240

А. Е. Вальков, Л. В. Михайлов

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

В настоящее время производство ${}^{82}\text{Rb}$ изотопов является одним из наиболее перспективных излучателей позитронов, используемых в позитронно-эмиссионной томографии в области кардиологии. Это радиоактивный изотоп имеет период полураспада 1,273 мин. Из-за короткого времени полураспада применения ${}^{82}\text{Rb}$ в медицине позволяет значительно снизить дозы облучения, пациентов и персонала. Изотоп ${}^{82}\text{Rb}$ получается из генераторной системы распадом материнского радиоактивного изотопа ${}^{82}\text{Sr}$, который распадается путем захвата электронов в ${}^{82}\text{Rb}$. Для практического производства ${}^{82}\text{Rb}$ изотопа важно учитывать как величину выходного ${}^{82}\text{Sr}$ во время облучения и радионуклидную чистоту очищенного раствора, используемого для зарядки генератора. Элемент Rb имеет два стабильных изотопа: ${}^{85}\text{Rb}$ (72,165 %) и ${}^{87}\text{Rb}$ (27,835 %). Для получения ${}^{82}\text{Sr}$ в циклотроне У-240 пучком протонов с энергией 70 МэВ облучается соль RbCl . В результате из-за двух реакций: ${}^{85}\text{Rb}(p, 4n)$ и ${}^{87}\text{Rb}(p, 6n)$ производится большое количество различных нуклидов. Анализ различных ядерных реакций получения радионуклидов Sr выбран оптимальный процесс для получения ${}^{82}\text{Sr}$ в циклотроне У-240.

Для обеспечения чистоты радионуклида ${}^{82}\text{Sr}$ необходимо свести к минимуму образование ${}^{85}\text{Sr}$. Определен диапазон энергии протонов, поглощаемой в соли RbCl при облучении, в результате которого количество загрязняющих изотопов минимально. Из приведенного выше анализа видно, что достижения этой цели возможно путем ограничения диапазон поглощения энергии протонов в мишени (70 - 44 МэВ). Диапазон поглощенной энергии протонов определяется толщиной мишени RbCl . Для энергетического диапазона от $E_{\text{min}} = 44$ МэВ до $E_{\text{max}} = 70$ МэВ оптимальная толщина мишени определяется с помощью соотношения, приведенные в работе [1].

1. *Серия* технических докладов No. 465. «Циклотрон производства радионуклидов: принципы и практика». - Вена, МАГАТЭ, 2008.

ТРИТІЙ-ДЕЙТЕРІЄВИЙ ГЕНЕРАТОР «МІЧЕНИХ» НЕЙТРОНІВ

**Г. М. Веремейченко², О. П. Воронов³, І. П. Дряпаченко¹,
М. Ф. Коломієць¹, О. В. Коваленко¹, О. А. Кушпій¹, В. В. Осташко¹,
Г. І. Применко⁴, В. М. Рогозін¹**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Науково-дослідницький інститут «Оріон», Київ*

³ *Інститут монокристалів НАН України, Київ*

⁴ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

У даній роботі пропонуються можливості модернізації існуючих в ІЯД розробок нейтронних генераторів додаванням тракту реєстрації супутньої зарядженої частинки. Це дасть змогу створити в Україні сучасний дослідницько-технологічний комплекс широкого застосування. Приведені також результати досліджень з отримання «мічених» ДТ-нейтронів на пучку дейтронів прискорювача ЕПП-10К, які доводять можливість створення малогабаритної прискорювальної трубки із вбудованим детектором α -частинок.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТІВ ВИЩИХ ПОРЯДКІВ ПРИ ЕЛЕКТРОННОМУ ЗАХВАТІ

**І. М. Вишневський, О. Я. Дзюблик, С. С. Драпей,
В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Проведено дослідження комбінованого електронно-ядерного випромінювання атомів в процесі К-захвату. Дослідження проводились на прикладі розпаду ¹⁵³Gd.

Джерело ¹⁵³Gd ($T_{1/2} = 241,6$ д.) напрацьовувалось в (n, γ)-реакції на хімічно чистому гадолінії. Вимірювання починалась через 4 роки для того щоб позбутися впливу гамма-переходів домішкових радіонуклідів.

Вимірювання проводились на спектрометрі зібраному на базі надчистого германієвого детектора BE2825 з ефективністю реєстрації 18 % порівняно з NaI(Tl)-детектором розмірами 3"Ч3" та енергетичною роздільною здатністю 0.6-0.7 кеВ на гамма-лініях ⁵⁷Co.

З метою усунення внесків піків сумування $K_{\alpha 1,2} + \gamma 103$ кеВ зразок розташовувався в контейнері з кадмію.

У спектрах гамма-променів виявлений γ -перехід з величиною енергії 144 кеВ і інтенсивністю $3\text{Ч}10^{-7}$ на одиницю розпаду. Цей гамма-перехід ідентифікований як фотон, який вносить енергію ядерного та атомного збуджень. Проведені теоретичні оцінки даного явища та отримано узгодження з експериментальною величиною інтенсивності.

НАПРАЦЮВАННЯ $^{179m2}\text{Hf}$ В РЕАКЦІЯХ З АЛЬФА-ЧАСТИНКАМИ ТА ГАММА-КВАНТАМИ ПРИ БІЛЯПОРОГОВИХ ЕНЕРГІЯХ

**І. М. Вишневський, В. О. Желтоножський,
А. М. Саврасов, В. І. Киришук**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Вивчення ізомерних станів дає змогу отримати різноманітну і дуже важливу інформацію про ядерну структуру, і в той же час деякі з них мають досить високу енергію збудження. Використання цієї енергії при стимульованому розпаді ізомерних станів є цікавим напрямком сучасної науки. Зокрема дослідження стимульованого розпаду може привести до розробки на базі гамма-квантів як контрольованих джерел, так і лазерів. Одним із таких ізомерів є $^{179m2}\text{Hf}$ і тому метою нашої роботи являється дослідження перерізів та виходів напрацювання $^{179m2}\text{Hf}$ в реакціях з альфа-частинками та гальмівними гамма-квантами в широкому діапазоні величин енергії бомбардуючих частинок.

Вимірювання перерізів та виходів напрацювання $^{179m2}\text{Hf}$ ($T_{1/2} = 25$ д., $J^\pi = 25/2^-$) проводилось на мішенях природного ізотопного складу лютецію після опромінення їх альфа-частинками з величиною енергії 17,3 МеВ та гафнію після опромінення гальмівними гамма-квантами з граничною величиною енергії 15,1 та 17,5 МеВ. Опромінення альфа-частинками проводилось на прискорювачі У-120 Київського інституту ядерних досліджень а гальмівним гамма-квантами на мікротроні М-30 Ужгородського інституту електронної фізики НАН України. Вимірювання активностей проводилось в окремій низькофоновій лабораторії за допомогою HPGe-спектрометрів з енергетичною роздільною здатністю 1,8 - 2 кеВ на гамма-лінії ^{60}Co та ефективністю реєстрації 15-40% порівняно з NaI(Tl)-детектором розмірами 3"ЧЗ".

Отримана наступна величина перерізу: $\sigma = (9,5 \pm 3,2) \cdot 10^{-30}$ см² для ядерної реакції $^{176}\text{Lu}(\alpha, p)^{179m2}\text{Hf}$. Ця експериментальна величина порівнюється з теоретичною, розрахованою в рамках програмних кодів TALYS-1.4 та Empire-3.2. Оскільки існує значна різниця між ними то висувається гіпотеза про значний внесок в переріз нестатистичних механізмів.

Проводиться обговорення отриманих результатів.

ІЗОМЕРНІ ВІДНОШЕННЯ В ЯДРАХ $^{174m,g}\text{Lu}$ В РЕАКЦІЯХ З БІЛЯПОРОГОВИМИ АЛЬФА-ЧАСТИНКАМИ

**І. М. Вишневський, В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов,
В. І. Киришук, О. В. Гладковська**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У реакціях (α , ap) на мішенях із природного лютецію виміряні ізомерні відношення в $^{174m,g}\text{Lu}$ ($J^\pi = 6^-$ і 1^-). Збиралася збірка із 7 мішеней, 5 із яких яв-

ляли собою металічні фольги лютетію товщиною 15 мкм, а 2 інші – фольги міді товщиною 10 мкм. Останні використовувались для моніторингу потоку альфа-частинок. Початкова величина енергії падаючих альфа-частинок на прискорювачі У-120 становила 27,2 МеВ. Вимірювання наведеної активності проводились на спектрометрах, зібраних на базі HPGe-детекторів з енергетичною роздільною здатністю 1,8 - 2,0 кеВ на γ -лініях ^{60}Co і ефективністю реєстрації 15 - 40 % порівняно з NaI(Tl) – детектором з розмірами 3"·3".

З даних про інтенсивності γ -переходів отримані величини ізомерних відношень перерізів для ядерної реакції $^{175}\text{Lu} (\alpha, \text{np}) ^{174\text{m,g}}\text{Lu}$, які наведено в таблиці.

E, MeV	15,3	17,3	21,0
$\sigma_{\text{п}}/\sigma_{\text{г}}$	0,53 ± 0,086	0,42 ± 0,066	0,47 ± 0,08

Проводяться розрахунки теоретичних значень ізомерних відношень перерізів в рамках програмних кодів TALYS-1.4 та EMPIRE-3.2 і здійснюється обговорення отриманих даних. Із різниці між експериментальними та теоретичними величинами ізомерних відношень перерізів висувається гіпотеза про значний внесок в переріз заселення ізомерного стану прямих механізмів.

ІЗОМЕРНІ ВІДНОШЕННЯ ВИХОДІВ ФРАГМЕНТІВ ФОТОДІЛЕННЯ ^{238}U ПРИ ГРАНИЧНІЙ ЕНЕРГІЇ ГАЛЬМІВНИХ ГАММА-КВАНТІВ 18 МеВ

**І. М. Вишневський¹, В. О. Желтоножський¹, А. М. Саврасов¹,
Є. П. Ровенських^{1,2}, В. А. Плюйко², О. М. Горбаченко²**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Фрагменти фотоділення ^{238}U досліджувались в $(\gamma, f) + (\gamma, \text{nf}) + (\gamma, 2\text{nf})$ – реакціях при величині граничної енергії гальмівних гамма-квантів 18 МеВ. Експеримент проводився на мікротроні М-30 у відділі фотоядерних реакцій Ужгородського інституту електронної фізики НАН України.

Нуклід	^{238}U
^{131}Te	0,93(9)
^{132}Sb	3(1)
^{134}I	0,36(4)
^{135}Xe	0,069(7)
^{84}Br	0,40(4)
^{90}Rb	1,0(2)
^{95}Nb	0,67(7)
^{130}Sb	1,4(3)
^{133}Te	1,29(12)
^{133}Xe	1,7(5)

Гамма-спектри уламків фотоподілу вимірювались за допомогою спектроскопічних систем зібраних на базі HPGe-детекторів. Ізомерні відношення виходів для окремих ізомерних пар розраховані з врахуванням підживлення за рахунок β -розпаду ізобарних ядер. Отримані результати наведено в таблиці.

Проводиться аналіз та обговорення отриманих даних. Для переважної більшості важких уламків ділення відбувається зниження величин ізомерних відношень виходів порівняно із фотоділенням ^{238}U при $E_{\text{гп}} = 16$ МеВ. Це свідчить про значний вплив на динаміку ділення $(\gamma, 2\text{nf})$ -каналу.

ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ ПЕРЕРІЗИ РЕАКЦІЇ ${}^3\text{H}(\alpha, d){}^5\text{He}$ ПРИ ЕНЕРГІЇ α -ЧАСТИНОК 84 МеВ

**О. А. Волох, В. І. Гранцев, К. К. Кісурин, С. Є. Омельчук, Ю. С. Рознюк,
О. М. Рогозін, Б. А. Руденко, Л. І. Слюсаренко, Б. Г. Стружко**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

На пучку α -частинок з енергією 84,2 МеВ ізохронного циклотрона У-240 Інституту ядерних досліджень НАН України отримано інклюзивні спектри дейтронів з ${}^3\text{HTi}$ (титанова плівка, насичена тритієм) та Ti мішеней, що дало змогу отримати диференціальні перерізи $\frac{d^2\sigma(E_d, \theta_d)}{dE_d d\Omega_d}$ реакції ${}^3\text{H}(\alpha, d)$. Енер-

гетичний спектр дейтронів характеризується наявністю інтенсивного піку, що відповідає утворенню ${}^5\text{He}$ в основному та першому збуджених станах.

Експериментальні енергетичні розподіли порівнюються з модельними, що враховують процеси послідовного розпаду через резонанси ${}^5\text{He}$ і ${}^6\text{Li}^*$: ${}^5\text{He}_{\text{g.s.}}$, ${}^5\text{He}^*(1,27 \text{ МеВ})$, ${}^5\text{He}^*(16,84 \text{ МеВ})$, ${}^6\text{Li}^*(2,18 \text{ МеВ})$, ${}^6\text{Li}^*(4,31 \text{ МеВ})$. Піки основного й першого збудженого станів ${}^5\text{He}$ в спектрах не розділяються, але переріз останнього значно менший, ніж основного стану, і це дає можливість розрахувати кутові розподіли диференціальних перерізів утворення ${}^5\text{He}$ в основному резонансному стані.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАГАТОКАНАЛЬНОГО СПЕКТРОМЕТРИЧНОГО АЦП

О. О. Гаврилов, О. М. Ковальов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Створено програмне забезпечення для нового восьмиканального АЦП. В якості середовища розробки було використано програмний продукт LabVIEW. У його основі лежить графічна мова програмування G. Окрім самої можливості програмування середовище надає в розпорядження програміста широкий набір інструментів і бібліотек: від інтерактивних майстрів налаштування призначених для користувача інтерфейсів до вбудованих компілятора, компоувальника і засобів налагодження.

Програмування в LabView відбувається графічно, тобто відсутній звичний текстовий опис алгоритму мовою програм високого рівня, досить скласти блок-схему алгоритму й внести її в програму. Створене програмне забезпечення, називається віртуальним інструментом або віртуальним приладом і складається формально з трьох основних частин – лицьової панелі, в даному випадку АЦП, на якій розташований інтерфейс оператора, блоку діаграми, що містить код програми в графічному виді та драйверу через який програма

працює з АЦП. LabView є компілятором і дає змогу створювати виконувані модулі (файли .exe), динамічні бібліотеки (файли .dll) тощо.

На відміну від мов з послідовним виконанням команд, таких як C і C++, дане програмне забезпечення з самого початку містить в собі інформацію про те, які частини програми слід виконувати паралельно. Нашим завданням було максимальне використовувати всі переваги багатоядерної архітектури процесорів сучасних ПК, оскільки передбачалися ділянки програми, які мають виконуватися незалежно (тобто бути багатопотоковими).

В якості комунікаційного шлюзу з АЦП програма використовує порт USB 2.0, який є в кожного сучасного ПК. Дані від АЦП надходять в програмний буфер організований в пам'яті ПК. Далі, згідно з розставленими пріоритетами, оброблені дані записуються на жорсткий носій і паралельно відображуються на восьми графіках (відповідно до кількості каналів) у вигляді гістограм. Реалізовані режими роботи : «СТАРТ», «ПАУЗА», «ПРОДОВЖИТИ», «СТОП». Перший і останній режими відповідають початку і кінцю експерименту. Записаний файл даних в своєму найменуванні містить число і час початку експерименту, а системні число і час закриття файлу відповідають його закінченню. До початку реєстрації подій («СТАРТ»), а так само в проміжку «ПАУЗА»/«ПРОДОВЖИТИ», оператор має можливість змінювати початкові установки АЦП, наприклад, верхнього/нижнього порогу дискримінаторів. Установка порогів відбувається окремо по кожному з восьми входів АЦП.

Формат записаних даних містить в собі наступні поля:

- локальний час від початку експерименту, до 2-х діб (дискретність 10 нс.);
- код блоку АЦП;
- номер активного на даний час входу АЦП;
- зареєстровані дані АЦП, в 16 розрядному форматі;
- точний час події, в інтервалі 10 нс. з дискретністю 1 нс.;
- кількість прорахунків.

У програмі передбачений захист від неусвідомленої дії оператора, яка може спричинити зупинку або зміну ходу вимірів.

МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ДЕТЕКТОРА РЕАКТОРНИХ АНТИНЕЙТРИНО НА ОСНОВІ ПЛАСТМАСОВИХ СЦИНТИЛЯЦІЙНИХ СТРИЖНІВ

А. Ш. Георгадзе, В. М. Павлович

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Висока проникливість антинейтрино забезпечує можливість автоматичної дистанційної діагностики процесів в активній зоні реактора, визначення теплової потужності реактора та еволюції ізотопного складу активної зони реактора на протязі кампанії. Практичний детектор для моніторингу реакторної установки на атомних станціях має відповідати жорстким умовам, які накладають обмеження як на його розміри так і на безпечність його експлуатації.

Реакторні антинейтрино реєструються за допомогою затриманого співпадіння продуктів реакції зворотнього бета-розпаду, а саме подій гальмування та анігіляції позитрону та наступного захоплення уповільнення нейтрону на ^{157}Gd з випроміненням гамма-квантів загальною енергією 8 МеВ. Використання потужного пасивного захисту обмежено розмірами приміщення для встановлення детектора, тому єдиним засобом захисту від фонових реакцій є забезпечення високої просторової роздільної здатності детектора для можливості розділення нейтринних подій від фонів за топологічними ознаками.

Було розроблено детектор антинейтрино з активним об'ємом 1 м^3 , із застосуванням пластмасових сцинтиляційних стрижнів $10 \times 10 \times 100 \text{ см}$, які з двох сторін приєднані до суцільних пластикових світловодів розміром $100 \times 100 \times 10 \text{ см}$ які забезпечують розподіл світла між фотоелектронними помножувачами (ФЕП), які в свою чергу проглядають ці світловоди через світлоконцентратори.

Ми використали програмне забезпечення ZEMAX для створення детальної оптичної моделі детектора та моделювання методом Монте-Карло транспорту фотонів в модулях детектора для оптимізації геометрії детектора. Досліджувалися ефекти зміни кількості ФЕП та геометричних розмірів модулів детектора на просторову роздільну здатність детектора.

Було знайдено, що вірогідність виділення подій від фонів швидких нейтронів становить $>60 \%$ для 18 ФЕП та $>95 \%$ для 32 ФЕП.

КВАЗІКЛАСИЧНА ОБОЛОНКОВА СТРУКТУРА МОМЕНТІВ ІНЕРЦІЇ У ФАЗОВОМУ ПРОСТОРИ

Д. В. Горпинченко¹, О. Г. Магнер¹, Дж. Бартел², Я. П. Блоцкі³

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Багатопрофільний інститут університету Страсбурга, Страсбург, Франція*

³ *Національний центр ядерних досліджень, Варшава, Польща*

Багато важливих явищ, відомих з експериментальних даних про обертання ядер, було пояснено за допомогою теоретичних підходів, які головним чином базуються на кренкінг моделі та методі оболонкових поправок Струтинського. Момент інерції (МІ) колективного адіабатичного (статистично рівноважного) обертання може бути представлений сумою МІ розширеного підходу Томаса - Фермі (ETF) та оболонкової поправки. У даній роботі ми отримали квазікласичну трейс-формулу для оболонкового компонента МІ через оболонкову поправку до вільної енергії для інтегрованих і частково хаотичних Фермі-систем.

Квазікласичний МІ J може бути виражений через густину числа частинок $\rho = \rho_{\text{ETF}} + \delta\rho_{\text{scf}}$ в локальному наближенні як узагальнений твердотільний МІ J_{rig} Фермі-системи. Для статистично рівноважного обертання навколо осі x ,

що перпендикулярна до осі симетрії z , відповідно, маємо $J = J_{\text{rig}} = J_{\text{ETF}} + \delta J$, де J_{ETF} - гладкий ETF компонент і δJ - оболонкова поправка до МІ. Квазікласична оболонкова поправка δr_{scl} може бути розрахована через розклад функції Гріна по замкненим траєкторіям з ненульовою дією, який вперше був запропонований Гуцвілером. Використовуючи метод стаціонарної фази для розрахунків МІ в змінних фазового простору отримуємо, що δJ пропорційно до δF , де δF - квазікласична оболонкова поправка до вільної енергії, що є сумою по періодичних орбітах (РО) при енергії Фермі. Коефіцієнт пропорційності є середнім величини $(y^2 + z^2)/\epsilon$ у фазовому просторі з деяким квазікласичним спектральним розподілом частинок, що може бути розрахований у наближенні Томаса - Фермі Для цього коефіцієнта пропорційності показано добру узгодженість отриманих результатів з квантовими розрахунками для потенціальної ями сфероїдальної форми. Планується більш точне порівняння отриманих квазікласичних МІ з квантово-механічними розрахунками. для потенціалу Вудса - Саксона.

1. *Gorpinchenko D.V., Magner A.G., Bartel J., Blocki J.P.* Semiclassical shell-structure moment of inertia within the phase-space approach // arXiv: 1411.6195v1 [nucl-th]. - 2014 (6 pages), Physica Scripta, submitted in 2014.

ВЗАЄМОДІЯ α -ЧАСТИНОК З ЯДРАМИ ДЕЙТЕРІЮ ТА ТРИТІЮ – ХАРАКТЕРНІ ОСОБЛИВОСТІ

**В. І. Гранцев, К. К. Кісурін, В. І. Кальний, С. Є. Омельчук, Ю. В. Панін,
Ю. С. Рознюк, Б. А. Руденко, Л. І. Слюсаренко, Б. Г. Стружко**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Інклюзивні спектри протонів, дейтронів, тритонів, геліонів та ${}^{4,6}\text{He}$ -частинок отримано під час опромінення дейтеро-поліетиленової (CD_2), дейтерій-титанової (${}^2\text{HTi}$), тритій-титанової (${}^3\text{HTi}$) та титанової плівок іонами ${}^4\text{He}$, прискореними до енергії 84,2 МеВ в ізохронному циклотроні Інституту ядерних досліджень НАН України. Енергію пучка було визначено за часом прольоту згустком прискорених частинок бази в 23,05 м. В експерименті використано 3 телескопи заряджених частинок, що склалися з поверхнево-бар'єрних ΔE детекторів і сцинтиляційних $[\text{NaJ(Tl)}]$ Е детекторів. Отримано відносні перерізи реакцій вторинних заряджених частинок при взаємодії α -частинок з ядрами дейтерію та тритію під малими кутами. Спектри протонів із реакції $\text{T}(\alpha, \text{p})$ та дейтронів з реакції $\text{T}(\alpha, \text{d})$ аналізувалися в діапазоні кутів $15^\circ \leq \theta_{\text{лаб}} \leq 50^\circ$ з метою виявлення резонансних станів ${}^6\text{He}$ та ${}^5\text{He}$. Результати експерименту свідчать, що імовірність утворення основного стану ${}^6\text{He}$ приблизно на порядок менша за утворення основного стану ${}^5\text{He}$. Досліджуються

спектри тритонів і ${}^3\text{He}$ – частинок, що отримано з реакції $\text{D}(\alpha, \text{t}){}^3\text{He}$.

Вимірювання спектрів α -частинок проводилося у діапазоні кутів $15^\circ \leq \theta_{\text{лаб}} \leq 29^\circ$ для αd – розсіяння та в діапазоні $15^\circ \leq \theta_{\text{лаб}} \leq 48,5^\circ$ – для αt – розсіяння. Для побудови кутових розподілів пружного розсіювання αd при енергії $E_{\text{с.ц.м.}} = 28$ МеВ і αt при $E_{\text{с.ц.м.}} = 36$ МеВ було також використано спектри дейтронів та тритонів, отриманих у цьому експерименті в межах кутів $15^\circ \leq \theta_{\text{лаб}} \leq 90^\circ$. У зв'язку з відсутністю даних при близьких енергіях порівняння проводилося з існуючими даними з ${}^4\text{He}(\text{d}, \text{d}){}^4\text{He}$ при $E_{\text{с.ц.м.}} = 54$ МеВ та з даними з ${}^4\text{He}({}^3\text{He}{}^3\text{He}){}^4\text{He}$ для $E_{\text{с.ц.м.}} = 60$ МеВ.

ВЕРИФІКАЦІЯ АНАЛІТИЧНИХ ВИРАЗІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ВИХОДІВ РОЗСІЯНИХ НЕЙТРОНІВ ІЗ ДВОКОМПОНЕНТНОГО ЗРАЗКА

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

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

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

У доповіді буде представлено аналітичні вирази для оцінки потоків розсіяних нейтронів від ядер однокомпонентного розсіювача С та від складових елементів (С і Н) двокомпонентного розсіювача CH_2 . Необхідність отримання цих виразів пов'язана із особливістю проведення експериментів для визначення набору повних нейтронних перерізів ${}^{52}\text{Cr}$ з використанням методу зсуву нейтронної лінії фільтру. Так, наприклад, для визначення повних усереднених нейтронних перерізів при енергіях 48,4, 52 та 55 кеВ слід використати водень як зразок-розсіювач фільтрованого пучка 59 кеВ і провести вимірювання при кутах 15, 20 та 25°. Однак, через неможливість мати зразок-розсіювач з водню, в експерименті використовувався зразок-розсіювач поліетилен CH_2 , а для того, щоб врахувати ефекти, пов'язані з розсіянням нейтронів на С у поліетилені, проводились також вимірювання з використанням зразка-розсіювача вуглецю С.

З отриманих аналітичних виразів було оцінено співвідношення P_C^0 / P_H^0 потоків розсіяних нейтронів під певним кутом θ від складових елементів С і Н двокомпонентного розсіювача CH_2 . Верифікацію аналітичних виразів було проведено за допомогою програмного коду MCNP, в якому було змодельовано схему розсіяння фільтрованих нейтронів з середньою енергією 59 кеВ із завданням всіх реальних параметрів геометрії експерименту, який був реалізований на ГЕК - 8 Київського дослідницького реактора ВВР-М.

УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР ЯДЕРНИХ ДАНИХ – ЗАДАЧІ ТА МОЖЛИВОСТІ

О. О. Грицай, О. І. Кальченко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Український центр ядерних даних (УкрЦЯД/UkrNDC) було створено в 1996 р. Починаючи з 1998 р. УкрЦЯД входить до мережі Центрів ядерних даних, що працюють під егідою МАГАТЕ. На сьогодні у світі існує 13 Центрів ядерних даних, напрямки діяльності яких хоч і різняться за обсягом та змістом (залежно від статусу Центру та його підтримки національними урядами), але головною задачею для всіх Центрів є збір та розповсюдження ядерно-фізичної інформації, що створена зусиллями всієї наукової спільноти.

Основними напрямками діяльності УкрЦЯД є таке:

1. інформаційна підтримка запитів на ядерні дані;
2. компіляція експериментальних даних, отриманих українськими вченими, представлення їх у форматі EXFOR для включення до світового банку експериментальних даних CSISRS/EXFOR;
3. допомога в підготовці багатогрупових бібліотек для потреб ядерних технологій в Україні;
4. розповсюдження комп'ютерних програм для фундаментальних і прикладних розрахунків;
5. надання послуг в отриманні ядерних даних користувачам в Україні.

У доповіді наведено коротку інформацію про результати діяльності УкрЦЯД за кожним з вище наведених напрямків, представлено вміст та структуру нової версії сайту УкрЦЯД (<http://ukrndc.kinr.kiev.ua/>), а також сформульовано сучасні вимоги, які сприятимуть оперативному введенню експериментальних даних в міжнародну базу.

РЕАКЦИЯ $^{90}\text{Zr}(d, pn)^{90}\text{Zr}$ ПРИ 56 МэВ В ДИФРАКЦИОННОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

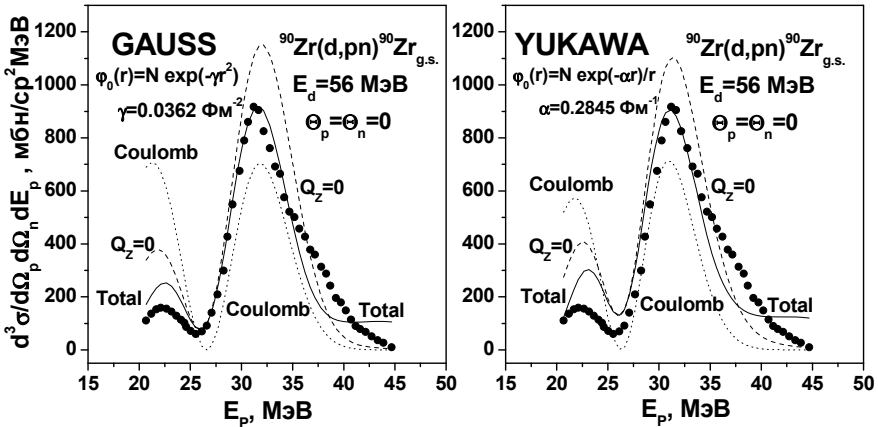
В. В. Давидовский, А. Д. Фурса

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

В случае неупругого процесса расщепления нуклона дейтрона передается не только поперечный, но и продольный импульс Q_z . Это не учитывается в стандартной дифракционной теории. Важность учета Q_z продемонстрирована расчетами энергетических спектров протонов в реакциях $^{12}\text{C}(d, pn)^{12}\text{C}$ и $^{40}\text{Ca}(d, pn)^{40}\text{Ca}$ при энергии 56 МэВ [1, 2]. Поэтому интересно рассмотреть процесс расщепления дейтронов в дифракционном приближении с учетом продольной и поперечной составляющих передаваемого импульса, что и является главной целью работы. Имеющиеся экспериментальные данные по расщеплению дейтронов ядрами [3], когда продукты развала дейтрона

вылетают под нулевым углом к импульсу дейтрона, дают возможность провести детальное сравнение теории с экспериментом. Численные расчеты выполнены для ядра циркония-90 при $E_d = 56$ МэВ. На рисунках представлены результаты расчетов энергетического спектра протонов для двух типов дейтронной волновой функции. Эффект учета Q_z заметен и действует в нужном направлении.

Показано, что в рассматриваемой реакции вклад ядерно-кулоновской амплитуды сравним по порядку величины с чисто кулоновским развалом, который доминировал в случае реакции на ^{12}C и ^{40}Ca . Это приводит к тому, что кардинально меняется форма энергетического спектра, а именно вместо двугорбой структуры спектр приобретает куполообразную форму, которая свойственна чистому кулоновскому механизму.



1. Davydovskyy V.V., Foursat A.D. // Proc. of the 4th Int. Conf. on Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy (NPAE-Kyiv 2012). - 2012. - P. 136 - 140.
2. Davydovskyy V.V., Foursat A.D. // Тези доп. XXI щорічної наук. конф. Ін-ту ядерних досл. НАН України. - 2014. - С. 33 - 34.
3. Okamura H., Hatori S., Matsuoka N. et al. // Phys. Lett. B. - 1994. - Vol. 325. - P. 308.

ЗЛИТТЯ ЯДЕР ТА ЯДРО-ЯДЕРНИЙ ПОТЕНЦІАЛ З УРАХУВАННЯМ ВНЕСКУ ОБОЛОНКОВИХ ПОПРАВOK

В. Ю. Денисов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Згідно методу оболонкових поправок Струтинського повна енергія ядра є сумою макроскопічної та мікроскопічної частин. Тому запропоновано повний

ядро-ядерний потенціал у вигляді суми макроскопічної та оболонкової частин.

На малих відстанях між ядрами одночастинкові рівні ядер розщеплюються внаслідок взаємодії нуклонів у різних ядрах. Розщеплення одночастинкових рівнів веде до зміни величин оболонкових поправок у кожному ядрі, що взаємодіють. Це впливає на величину повного потенціалу взаємодії ядер та веде до залежності ядро-ядерного потенціалу від оболонкової структури ядер.

За допомогою ядро-ядерного потенціалу у вигляді суми макроскопічної та оболонкової частин добре описано перерізи підбар'єрного злиття ядер $^{16}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$, $^{48}\text{Ca} + ^{48}\text{Ca}$ та $^{58}\text{Ni} + ^{54}\text{Fe}$.

Знайдено, що сповільнення злиття важких ядер при глибоко підбар'єрних енергіях відбувається в ядро-ядерній системі з від'ємним значенням оболонкових поправок у ядрах, що зіштовхуються, в той час як додатні значення оболонкових поправок у ядрах призводять до слабкого підвищення перерізу глибоко підбар'єрного злиття ядер.

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОННОГО ОТОЧЕННЯ НА α -РОЗПАД

О. Я. Дзюблик

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Останнім часом з'явилося багато робіт, присвячених впливу електронного екранування на α - та β -розпад ядер. Зазвичай вважається, що фактор екранування кулонівського поля ядра електронами провідності в металах описується експонентою з довжиною екранування r_s , яка задається класичною моделлю Дебая-Хюккеля, тобто $r_s \sim 1/T^{1/2}$. В такому випадку з пониженням температури відбувалося б звуження кулонівського бар'єру і значне скорочення часу життя ядра по відношенню до α -розпаду. Вважалось, що охолоджуючи металеву матрицю з радіоактивними ядрами до температур $\sim 1\text{K}$ і нижче можна досягти скорочення періоду напіврозпаду з декількох років до декількох годин. Ці міркування підігрівалися перспективами застосування такого ефекту для ліквідації радіоактивних відходів. Дуже обнадійливим в цьому плані виявився експеримент Райоли та інших [1], в якому спостерігалось прискорення α -розпаду ^{210}Po на 6,3 % при охолодженні мідної матриці до 12 K. В статті [2] вже повідомлялось про прискорення розпаду ^{210}Po на 24 % при $T = 4,2\text{ K}$. Однак у подальших експериментах [3] ніякої зміни швидкості α -розпаду не спостерігалось.

Мною показано [4], що проста модель Дебая непридатна на малих відстанях від ядра. Замість цього поправки до кулонівського потенціалу ядра за рахунок електронів провідності знаходились за допомогою теорії розсіяння. Тобто розглядалось розсіяння вільних електронів на кулонівському потенціалі ядра. Знаходилась повна хвильова функція електронів і потім за її допомогою рахувався електричний потенціал, що створює ця електронна хмара навколо ядра. Було показано, що електрони провідності ніяк не впливають на

час життя ядра, але можуть зменшити енергію α -частинок на величину ~ 1 кеВ. Оскільки електрони провідності мають малі енергії ~ 1 еВ, то весь цей аналіз проводився по аналогії з теорією ефекту струсу.

Аналізувалась також роль атомних електронів. Для атомних електронів з внутрішніх оболонок, швидкість яких значно перевищує швидкість α -частинки, застосовувалось вже адіабатичне наближення. В рамках цього наближення спочатку розв'язується рівняння Шредінгера для атомних електронів, що знаходяться в кулонівському полі двох ядер – дочірнього і гелію. При цьому знаходиться енергія атомних електронів, яка залежить від координати α -частинки, як від параметра. В подальшому ця енергія використовується в якості поправки до кулонівського бар'єру для α -частинки. У розрахунках враховується, що відношення шляху тунелювання α -частинки під кулонівським бар'єром до характерного атомного розміру є дуже малим параметром. Цей факт дає змогу провести всі розрахунки в монополюному наближенні при розкладі кулонівських потенціалів по мультиполям. Виведені прості релятивістські формули для поправок до кулонівського бар'єру. Показано, що поправки за рахунок як електронів провідності, так і атомних електронів додатні. Тому вони лише зменшують імовірність тунелювання α -частинок. Енергія вилетівших α -частинок виявляється меншою енергетичного виходу голого материнського ядра Q на енергію, що поглинається електронами.

Крім того, мною проведені розрахунки в рамках ВКБ-наближення, які показали, що передекспоненціальний множник в виразі для часу життя ядра також залежить від енергії, що поглинається електронами. Цікаво, що α -частинка, ще знаходячись всередині ядра, вже знає яку енергію у нею відберуть електрони. Всі ці фактори призводять до того, що час життя голого ядра менше часу життя ядра в оточенні електронів на величину ~ 1 %.

1. *Raiola F. et al.* // *Eur. Phys. J. A.* - 2007. - Vol. 32. - P. 51.
2. *Dong K. et al.* // *Phys. Lett.* - 2012. - Vol. 29. - P. 072301.
3. *Pöml P. et al.* // *Phys. Rev. C.* - 2014. - Vol. 89. - P. 024320.
4. *Dzyublik A. Ya.* // *Phys. Rev. C.* 0 2014. - Vol. 90. - P. 054619.

БАГАТОКАНАЛЬНИЙ СПЕКТРОМЕТРИЧНИЙ АЦП НА ОСНОВІ FPGAs

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Багатоканальний спектрометричний АЦП призначений для застосування в системах багатопараметричних вимірювань ядерно-фізичних експериментів.

Зокрема, один такий модуль забезпечує паралельну оцифровку сигналів чотирьох телескопів Е-ДЕ.

АЦП розроблено на основі Field-Programmable Gate Array (FPGA) серії Cyclone фірми Altera і реалізовано в стандартному модулі КАМАК подвійної ширини. Кожен з 8 незалежних каналів АЦП складається з вхідного диференціального підсилювача, пікового детектора і схеми вибірки-зберігання, АЦП послідовного наближення AD7654 фірми Analog Devices і схеми управління на основі Complex Programmable Logic Device (CPLD) серії MAX3000 фірми Altera.

Для збільшення швидкості збору і накопичення результатів перетворення від декількох модулів системи в АЦП передбачено підключення до швидкої локальної шини.

Канали АЦП мають індивідуальні входи стробування, розраховані на прийом позитивних сигналів ТТЛ логіки або негативних NIM рівнів на навантаження 50 Ом. У кожному каналі є можливість або відразу передавати результат перетворення, або накопичувати дані в своїй області гістограмної пам'яті обсягом 4Кх16.

Обмін даними і управління режимами роботи спектрометричного АЦП відбувається по локальній шині через 40-контактний роз'єм на передній панелі модуля або по інтерфейсу USB.

Для зменшення диференційної нелінійності застосованих інтегральних АЦП до необхідної величини використано метод ковзної шкали.

Основні характеристики АЦП:

- вісім аналогових входів з діапазоном сигналів 0 В / + 5,0 В;
- вісім входів стробування для сигналів ТТЛ / NIM рівнів (вибір за допомогою мікроперемикачів);
- роздільна здатність 512, 1024, 2048, 4096 каналів (вибір програмно);
- диференційна нелінійність ± 2 %;
- інтегральна нелінійність $\pm 0,03$ %;
- наявність гістограмної пам'яті;
- наявність лічильника подій;
- наявність режимів автозапуску і стробування;
- час перетворення і зчитування для кожного входу дорівнює 3 мкс;
- передбачено встановлення нижнього і верхнього порогів дискримінації для кожного входу окремо;
- на передній панелі модуля розташовані 8 роз'ємів LEMO для аналогових входів, 16-контактний роз'єм входів стробування, 40-контактний роз'єм локальної шини та /або роз'єм USB.

ВИКОРИСТАННЯ КОРЕЛЯЦІЙ КІНЦЕВИХ ПРОДУКТІВ ЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ ДЛЯ ВІДПРАЦЮВАННЯ ІМПУЛЬСНОГО РЕЖИМУ ТАНДЕМ-ГЕНЕРАТОРА ЕГП-10К

**І. П. Дряпаченко, Г. Г. Заїкін, М. Ф. Коломієць, О. А. Кушпій,
Д. А. Кушпій, Е. М. Можжухін, В. В. Осташко, А. Ф. Шаров**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

В Інституті ядерних досліджень НАН України надбано багаторічного досвіду нейтронно-фізичних досліджень у широкому діапазоні енергій нейтронів – від теплових (реакторних) до швидких, генерованих на пучках прискорювачів. Насамперед це стосується циклотронів (У-120 та У-240), де наявність імпульсної структури прискореного пучка дає змогу виконувати метод часу прольоту для спектрометрії швидких нейтронів – продуктів ядерної взаємодії пучка прискорювача із досліджуваною мішенню.

Зараз розглядається можливість (та й необхідність) підвищення ефективності використання пере зарядного прискорювача ЕГП-10К забезпеченням імпульсного режиму джерела іонів для аналогічних робіт. Це пов'язано із суттєвими перевагами такого прискорювача, й перш за все, це висока моноенергетичність прискореного пучка що радикально покращує якість отриманих експериментальних даних у порівнянні, наприклад, із циклотроном.

У даній роботі обговорюються методичні розробки та технічні заходи, необхідні для реалізації імпульсного режиму прискореного пучка, а також результати реального макетування очікуваного режиму за допомогою кореляційних вимірювань двох супутніх продуктів у вихідному каналі ядерної реакції.

МЕТОД ФАЗОВИХ ФУНКЦІЙ І NN-РОЗСІЯННЯ

В. І. Жаба

Ужгородський національний університет, Ужгород

Із експериментально спостережуваних величин перерізу розсіяння та енергій переходів отримують у першу чергу інформацію про фази та амплітуди розсіяння, ніж про хвильові функції, що є основним об'єктом дослідження при стандартному підході. Іншими словами, в експерименті спостерігаються не самі хвильові функції, а їхні зміни, викликані у результаті взаємодії [1]. Тому представляє інтерес отримати рівняння, що безпосередньо пов'язують фази й амплітуди розсіяння з потенціалом, не знаходячи при цьому хвильові функції. Точне рішення задачі розсіяння із метою обчислення фаз розсіяння можливе тільки для окремих феноменологічних потенціалів. Коли використовуються реалістичні потенціали, то фази розсіяння обчислюються набли-

жено. Це пов'язано з використанням фізичних апроксимацій або з чисельним розрахунком.

Математично метод фазових функцій (МФФ) – це особливий спосіб рішення одиночного радіального рівняння Шредінгера, яке є лінійним диференціальним рівнянням другого порядку. Він досить зручний для отримання фаз розсіяння, оскільки по цьому методу не потрібно спочатку обчислювати в широкій області радіальні хвильові функції задачі розсіяння і потім по їхнім асимптотикам знаходити ці фази. МФФ полягає в переході від рівняння Шредінгера до рівняння безпосередньо для фази розсіяння. Із цією метою вводять у розгляд дві нові функції $\delta_l(r)$ і $A_l(r)$ – фазову та амплітудну [2]. Відмітимо, що рівняння для фазової функції не залежить від амплітудної функції $A_l(r)$. Це має глибокий фізичний зміст і пов'язане з тією обставиною, що нормування хвильової функції несуттєве в задачах розсіяння (а також в задачах пошуку енергії зв'язаних станів). Таким чином, обчислення фази розсіювання при даному потенціалі зводиться до розв'язку задачі з початковими умовами, тобто до задачі Коші для нелінійного диференціального рівняння першого порядку. Фазове рівняння було вперше отримано Друкаревим [3].

За допомогою МФФ чисельно отримано фазові зсуви нуклон-нуклонного розсіяння: nn (1S_0 -, 3P_0 -, 3P_1 -, 1D_2 -, 3F_3 -станів), pp (1S_0 -, 3P_0 -, 3P_1 -, 1D_2 -станів) і np (1S_0 -, 1P_1 -, 3P_0 -, 3P_1 -, 1D_2 -, 3D_2 -станів). Розрахунки проведено для потенціалів NijmI, NijmII, Nijm93 і Reid93 (Неймегенської групи потенціалів міжнуклонної взаємодії). Розрахунки порівняно з результатами, отриманими іншими методами: для парціального хвильового аналізу (PWA), для потенціалів NijmI, NijmII і Reid93 [4], CD-Bonn [5] і Argonne v18 [6]. Відхилення становить не більше 5 - 10 відсотків.

1. *Баби́ков В.В.* Метод фазовых функций в квантовой механике. - М.: Наука, 1988. - 256 с.
2. *Баби́ков В.В.* Метод фазовых функций в квантовой механике // УФН. - 1967 - Т. 92, вып. 1. - С. 3 - 26.
3. *Друкарев Г.Ф.* Об определении фазы волновой функции при рассеянии частиц // ЖЭТФ. - 1949. - Т. 19, вып. 3. - С. 247 - 255.
4. *Stoks V.G.J., Klomp R.A.M., Terheggen C.P.F. et al.* Construction of high quality NN potential models // Phys. Rev. C. - 1994. - Vol. 49, Iss. 6. - P. 2950 - 2962.
5. *Machleidt R.* High-precision, charge-dependent Bonn nucleon-nucleon potential // Phys. Rev. C. - 2001. - Vol. 63, Iss. 2. - P. 024001 - 024032.
6. *Wiringa R.B., Stoks V.G.J., Schiavilla R.* Accurate nucleon-nucleon potential with charge-independence breaking // Phys. Rev. C. - 1995. - Vol. 51, Iss. 1. - P. 38 - 51.

УСКОРЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ НА ТАНДЕМ-ГЕНЕРАТОРЕ ЭГП-10К

Г. Г. Заикин

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

В Институте ядерных исследований НАН Украины в настоящее время проводятся работы по ускорению ионов азота с зарядом до $+5$ на тандем-генераторе ЭГП-10К. Ускорительные трубки тандема построены по принципу электрических наклонных полей и используются для ускорения легких ионов – протонов и дейтронов.

Как показывает опыт работы на ускорителе ЭГП-10-1 [1] при ускорении ионов азота появляются существенные трудности, которые отсутствуют при ускорении протонов. Ось пучка после ускорения в высоковольтной трубке с наклонными полями не совпадает с осью трубки, ухудшается долговременная стабильность тока пучка. Приходилось тратить много времени на настройку устройств транспортировки пучка. Для объяснения причин этих явлений и улучшения ускорения тяжелых ионов были рассчитаны траектории для ионов разных зарядовых состояний в высоковольтной ускорительной трубке. Результаты расчета объясняют трудности, появившиеся при ускорении ионов азота.

В ЭГП-10К используются ускорительные трубки более поздней модификации с измененной структурой ускоряющих электродов. Для оценки условий ускорения тяжелых ионов для этой конструкции потребовалось провести подобные расчеты траекторий для ионов с различными зарядами и массами. Была разработана компьютерная программа расчета ускорительной трубки с наклонными полями. Программа основана на модели, в которой реальная электродная структура заменена элементами однородного и призматического полей. Для расчетов использовался математический пакет программ MATLAB.

Были рассчитаны траектории для ионов H^+ , He^+ , He^{++} и N^{+5} и огибающие пучков H^+ и N^{+5} . Огибающие пучков определялись с учетом многократного рассеяния ионов в фольге и неточности механической сборки ускорительной системы. В результате расчетов была найдена оптимальная структура электродов высоковольтной ускорительной трубки, которая обеспечивает наилучшее прохождение пучков N^{+5} и H^+ на мишень и исключает попадание пучка на электроды трубки. Оптимизацию структуры предлагается осуществить с помощью замыкания определенных ускоряющих промежутков трубки. При этом средняя напряженность на ускорительной трубке изменится не более чем на 2 %.

1. Фридрих М., Гюнцель Р. Улучшение ускорения тяжелых ионов на тандем-генераторе ЭГП-10-1 // ПТЭ. - 1980. - № 1. - С. 39.

НИЗЬКОФОНОВА СЦИНТИЛЯЦІЙНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РІДКІСНИХ ЯДЕРНИХ ПРОЦЕСІВ

А. С. Золотарьова, Ф. А. Даневич, Б. М. Кропив'янський,
В. В. Кобичев, В. І. Третяк, А. І. Тимошенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У відділі фізики лептонів ІЯД НАН України завершується спорудження низькофонові сцинтиляційної установки для досліджень рідкісних ядерних процесів, вимірювань радіоактивної забрудненості матеріалів і зразків оточуючого середовища, розробки радіоактивно чистих сцинтиляторів. В установці сцинтилятор (розмірами до $\varnothing 10 \times 10$ см) проглядається низькофоновим фотоелектронним помножувачем (ФЕП, ЕМІ9390, діаметр фотокатода 5 дюймів) через світловід з надчистого кварцу $\varnothing 10 \times 20$ см. Детектор оточений герметичним пасивним захистом з електролітичної міді (5 - 15 см) і свинцю (15 см), що продуватиметься азотом для видалення радону. Збірка із чотирьох пластмасових сцинтиляторів (розмірами $50 \times 50 \times 10$ см кожен, проглядається одним низько радіоактивним ФЕП ФЭУ-125 нф) буде розміщена над установкою для активного захисту детектора від космічних мюонів. Чутливість сцинтиляційного детектора з кристалом вольфрамату кадмію розмірами $\varnothing 7 \times 7$ см до радіоактивної забрудненості (у зразку міді масою 1 кг, з довірчою імовірністю 68 %, за 30 днів вимірювань) була оцінена за допомогою моделювання ефективності реєстрації гамма-квантів за допомогою пакету програм Geant4 (і враховуючи рівень фону, отриманий в установці із захистом меншої потужності) на рівні: 0,01 Бк/кг (^{137}Cs), 0,05 Бк/кг (^{40}K), 0,03 Бк/кг (^{226}Ra), 0,06 Бк/кг (^{228}Th). Із застосуванням методів часово-амплітудного і аналізу форми сигналів в установці можна буде вимірювати радіоактивну чистоту сцинтиляторів (у сцинтиляторі масою 1 кг, з довірчою імовірністю 68 %, за 30 днів вимірювань) на рівні 0,0006 Бк/кг (^{226}Ra), 0,00005 Бк/кг (^{228}Th), 0,001 Бк/кг (загальна альфа-активність дочірніх урану і торію). Також з використанням пакету Geant4 був розрахований відгук детектора із пластмасовим сцинтилятором до бета-активних радіонуклідів ^{137}Cs , ^{90}Sr – ^{90}Y у зразках ґрунту, води, об'єктів біологічного походження.

О ЧИСЛЕННЫХ ПРИБЛИЖЕНИЯХ В ЗАДАЧЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ФАКТОРИЗАЦИИ АМПЛИТУДЫ КУЛОНОВСКОГО РАЗВАЛА

А. П. Ильин

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Ранее автором было получено выражение для амплитуды кулоновского развала $c \rightarrow a + b$ в виде суммы степеней скалярных произведений операторов

$\nabla_{ka}, \nabla_{pb}, \nabla_q$ с ∇_k , действующих на произведения интегралов $Jr(m, \mathbf{k}) \times \times JR_3(n, \omega, \mathbf{q}, \mathbf{k}_a, \mathbf{p}_b, \mathbf{q}_c)$, которые зависят от импульсов Якоби частиц c, a, b до и после реакции. В подынтегральные выражения в JR_3 входят произведения трех кулоновских волновых функций этих частиц и функция $R^n f(R)$, где $f(R)$ – плавная профильная функция, исключаяющая из интеграла область ядерного взаимодействия. Интегралы JR_3 представляются в аналитической форме, если $R^n f(R) \approx \sum_j c_{nj} \exp(-b_{nj}R)$ для $0 < R < R_x \rightarrow \infty$ и $n = 1, \dots, 7$. В начальных пробах подгонки при $n = 1$ и $R_x = 500000$ Фм было найдено необходимое условие $j_{max} \geq 30$. В этих расчетах использовалась трехпараметрическая форма для параметров b_{nj} . Попытки подгонки стандартными методами нелинейной оптимизации с 60-ю независимыми параметрами не дали удовлетворительных результатов вследствие того, что задача минимизации экспонентами вообще плохо обусловлена: определитель дизайн-матрицы близок к нулю. Тем более это справедливо для данной задачи. Затем был испытан метод, предложенный в [1], в котором параметры b_{nj} определяются как корни полинома степени j_{max} , коэффициенты которого являются коэффициентами при $I_j(R)$ в результатах линейной регрессии на сумме базисов $\{I_j(R)\} + \{R^j\}$, ($j = 1, \dots, j_{max}$), $I_j(R)$ – интеграл по отрезкам $(0, R]$ кратности j от $R^n f(R)$. Параметры c_{nj} определяются из коэффициентов при R^j решением системы линейных уравнений. Для аналитического интегрирования функций $I_j(R)$ автор использовал аппроксимацию функции $R^{-1} f(R)$ полиномами на 12 отрезках всего интервала $(0, R_x)$, причем при $R > 40$ Фм для полиномов использовались степени (R^{-1}) . Однако результат подгонки не был удовлетворительным из-за погрешностей аппроксимаций на концах отрезков и осциллирующих интегралов.

В данное время применяется метод варьируемых проекций [2, 3] для сепарабельности МНК. Для расчетов используется программа VARPRO из работы [3], написанная для пакета Matlab, для которого составлены программы ввода данных и вывода результатов. В качестве b_{nj} задается функция (j) с 5 параметрами. Поскольку необходима глобальная минимизация, для определения исходных значений параметров для b_{nj} области определения трех из них разделяются на несколько отрезков, и в каждом из них значение задается как случайная величина. Эти три параметра входят в неравенства, ограничивающие области вероятностного определения оставшихся параметров. Далее эти наборы параметров фильтруются посредством линейной подгонки параметров c_{nj} , на результаты которой наложены определенные условия. Отфильтрованные наборы поступают в программу VARPRO. Каждый вариант результатов ее работы представляется в графическом и табличном виде в пронумерованных файлах. Поскольку точность пакета Matlab ограничена машинной точностью, то, как правило, программа вообще не дает подгонки. Поэтому накоплено более 10000 вариантов, из которых отбираются лучшие для дальнейшего уточнения в пакете Mathematica. Для повышения точности дальнейших расчетов все программы, написанные на Matlab, переводятся на язык пакета Maple.

1. Kaufmann B. // arXiv:physics/0305018v1[physics.data-an] 6 May 2003.
2. Golub, G.H., Pereyra V. // SIAM J. Numer. Anal. - 1973. - Vol. 10. - P. 413 - 432.
3. Dianne P. O'Leary, Bert W. Rust. Variable projection for nonlinear least squares problems // Comp. Opt. and Appl. - 2013. - Vol. 54(3). - P. 579 - 593.

**РОЗРАХУНКИ ЗБОРУ СВІТЛОВИХ ФОТОНІВ
У СЦИНТИЛЯЦІЙНИХ ДЕТЕКТОРАХ
З КРИСТАЛАМИ ВОЛЬФРАМАТУ КАЛЬЦІЮ**

**Р. В. Кобичев^{1,2}, Ф. А. Даневич¹, В. В. Кобичев¹, Г. Краус³,
В. Б. Михайлик^{3,4}, В. М. Мокіна¹**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Київ

³ Оксфордський університет, Оксфорд, Великобританія

⁴ Даймонд Лайт Соурс, Оксфорд, Великобританія

Кріогенні сцинтиляційні болометри є перспективними детекторами для дослідження подвійного бета-розпаду, пошуків темної матерії, дослідження рідкісних альфа-розпадів завдяки високим енергетичній роздільній здатності та ефективності реєстрації ефекту, низькому енергетичному порогу, високій ефективності розділення частинок (електронів, альфа-частинок, ядер віддачі), можливості використовувати кристали, що містять певний елемент (для пошуків подвійного бета- і альфа-розпаду) і кілька елементів (для пошуків темної матерії). Принцип дії таких детекторів оснований на одночасній реєстрації сцинтиляційного і теплового сигналу. Якомога повний збір сцинтиляційних фотонів на фотодетектор є однією з найбільш важливих задач у розробці кріогенних сцинтиляційних болометрів. Метою роботи було: 1) знайти оптимальну конструкцію детектора, що забезпечить якнайбільш повний збір сцинтиляційних фотонів із сцинтиляційного кристалу на фотодетектор, 2) розробити метод розрахунків збору фотонів у сцинтиляційних детекторах. Розробка методів розрахунків світлозбору важлива, у першу чергу, для низькотемпературних детекторів де експериментальні дослідження вимагають великих затрат (враховуючи складність кріогенних детекторів і значний час необхідний для їхньої підготовки до вимірювань). Для цього були проведені розрахунки методом Монте Карло збору фотонів із сцинтиляційного кристалу на фотодетектор і вимірювання за допомогою фотоелектронного помножувача при кімнатній температурі із сцинтиляційними кристалами вольфрамату кальцію (CaWO_4) різної форми (прямий циліндр та прямі призми з основами у формі правильних многокутників з 3-ма, 4-ма, 6-ма сторонами) та стану поверхні кристалу (полірована чи шліфувана), а також від матеріалу та форми відбивача світла (тефлонова плівка щільно намотана на кристал, і плівка 3М

у вигляді прямого циліндра або зрізаного конусу з повітряним проміжком між нею і сцинтилятором), у оптичному контакті з фотоелектронним помножувачем і без оптичного контакту. Світлозбір у різних умовах моделювався методом Монте-Карло з використанням пакетів програм ZEMAX, GEANT4 та Litranі. Моделювання з трьома програмними пакетами проводилося з метою визначення, який із них дає змогу найкраще відтворити усю сукупність експериментальних даних. Найбільший світлозбір в умовах без оптичного контакту (близьких до криогенних сцинтиляційних болометрів) було отримано з кристалами у формі прямої призми з основою у формі квадрата або трикутника, зі дифузною поверхнею, з використанням відбивача 3М у формі зрізаного конусу. Показано, що розрахунки за допомогою пакету Litranі найкраще корелюють з результатами експерименту.

КВАЗІКЛАСИЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ПОРУШЕННЯ СИМЕТРІЇ ТА БІФУРКАЦІЙ В НЕІНТЕГРОВНОМУ ПОТЕНЦІАЛІ

**М. В. Колесник¹, Я. Д. Кривенко-Еметов^{1,2}, О. Г. Магнер¹,
К. Арита³, М. Брак⁴**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Національний технічний університет «КПІ», Київ*

³ *Технологічний інститут Нагої, Нагоя, Японія*

⁴ *Університет Регенсбургу, Регенсбург, Німеччина*

Властивості оболонкової структури скінчених фермі-систем, таких як атомні ядра, металеві кластери та квантові точки залежно від параметрів потенціалу та зовнішніх полів можна описати аналітично через характеристики періодичності орбіт у рамках квазікласичної теорії Гуцвілера, узагальненої на випадок явищ порушення симетрії та біфуркацій нелінійної динаміки. Робота присвячена аналітичному розрахунку оболонкових поправок до густини рівнів та енергії фермі системи для неінтегровних гамільтоніанів, в яких відбувається порушення найвищої симетрії, а саме симетрії сферичного гармонічного осцилятора, внаслідок якого система стає повністю хаотичною при малих енергіях частинок E . Враховуючи також біфуркації типу пічфорк (одна стаціонарна точка дії переходить у дві близькі залежно від параметра потенціалу), розташовані біля сідлової точки потенціального бар'єру. Прикладом є неінтегровний потенціал Хенон - Хейлеса $V = (x^2 + y^2)/2 + \alpha(yx^2 - y^3/3)$.

Використовуючи покращений метод стаціонарної фази при довільній щільності пічфорк біфуркацій, виведена нами квазікласична трейс формула для одночасткової густини рівнів неінтегровного потенціалу. Показано, що зі зростанням безрозмірної енергії частинок, $e = 6 \alpha^2 E$, при наближенні до сідлової ($e = 1$) точки у потенціалі Хенон - Хейлеса перерізи Пуанкаре мають ознаку більшої хаотичності. Показано також посилення амплітуди осцилюючої густини рівнів поблизу точок порушення симетрії та біфуркацій по по-

рядку параметра квазікласичності, який у даному випадку є енергія e . Квазікласичні оболонкові поправки до усередненої густини рівнів і повної енергії знаходяться в доброму узгодженні до квантових розрахунків, зокрема поблизу точок порушення симетрії при малих енергіях. Завдяки використанню покращеного методу стаціонарної фази, стандартна «трейс-формула» Гувцвіллера повного хаосу переходить до повністю виродженої густини рівнів гармонічного осцилятора при зменшенні енергії e . Розглядаються узагальнення теорії для опису оболонкових явищ у реалістичному неінтегровному ядерному потенціалі, а також ймовірності проникнення частинок через потенціальний бар'єр у ядерних реакціях частинок.

1. *Koliesnik M.V., Krivenko-Emetov Ya.D., Magner A.G. et al. Semiclassical treatment of symmetry breaking and bifurcations in a non-integrable potential // arXiv: 1411.5183v1 [nucl-th]. - 2014 (9 pages), Physica Scripta, in print, 2015.*

СТАТИСТИЧНА ГУСТИНА ЗБУДЖЕНИХ СТАНІВ ЯДЕР

В. М. Коломісць

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Методи статистичної фізики і термодинаміки відіграють важливу роль при описі властивостей високо збуджених станів ядер. Особливе місце при цьому займає статистична густина рівнів $\rho(E^*)$ при заданій енергії збудження ядра E^* , яка є ключовим елементом при аналізі багатьох ядерних реакцій, ядерного поділу, визначенні ядерної температури, тощо. Зазвичай, теоретичне обчислення статистичної густини рівнів $\rho(E^*)$ потребує знання густини одно-частинкових рівнів $g(\epsilon)$ в середньому полі ядра.

В даній роботі статистична густина рівнів $\rho(E^*) \sim \exp(2\sqrt{aE^*})$ і параметр густини рівнів a обчислюються у квазикласичному наближенні для густини одно-частинкових рівнів $g(\epsilon)$. Спираючись на функцію розподілу Вігнера у фазовому просторі, отримана густина рівнів $g(\epsilon)$ у наближенні Томаса - Фермі, $g_{TF}(\epsilon)$, та у розширеному наближенні Томаса - Фермі, $g_{ETF}(\epsilon)$. Густина одно-частинкових рівнів у розширеному наближенні Томаса - Фермі $g_{ETF}(\epsilon)$ враховує градієнтні поправки до середнього поля ядра, які пов'язані із скінченністю поверхневого шару ядра. Отримане в роботі визначення густини рівнів $g_{ETF}(\epsilon)$ забезпечує також коректний перехід до густини рівнів $g_{cont}(\epsilon)$ у суцільному спектрі ядра, що є принципово важливим для реалістичних ядерних потенціалів скінченної глибини.

Числові розрахунки виконані для середнього поля ядра $V_{TF}(r)$, отримано-

го у наближенні Томаса - Фермі із використанням ефективних сил Скірма SkM^* . Такий потенціал $V_{TF}(r)$ є близьким до феноменологічного потенціалу Вудса - Саксона. При помірних енергіях збудження ядра для параметра густини рівнів a отримано значення $a \approx A/8 \text{ MeV}^{-1}$ (A масове число ядра), що добре узгоджується із експериментальними даними. Встановлено, що правильний опис параметра густини рівнів a і статистичної густини рівнів $\rho(E^*)$ потребує введення ефективної маси нуклона $m^* = 0,8m$. З ростом енергії збудження (температури) ядра важливу роль відіграє коректне врахування густини рівнів $g_{\text{cont}}(\epsilon)$ у суцільному спектрі. Останнє необхідне для того, щоб усунути хибне надмірне збудження ядра, яке виникає у випадку реалістичних потенціалів скінченної глибини при значних температурах.

РЕЛАКСАЦІЯ ЯДЕРНИХ ЗБУДЖЕНЬ. ДИФУЗІЙНЕ НАБЛИЖЕННЯ

В. М. Коломісць, С. В. Лук'янов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Процеси релаксації збуджень в системах багатьох взаємодіючих частинок досліджуються, як правило, в рамках кінетичної теорії. Кінетичне рівняння містить при цьому складний, важко доступний для аналізу, інтеграл зіткнень, який залежить від функції розподілу у 6-вимірному фазовому просторі. При дослідженні процесів релаксації в ядрах суттєвих спрощень вдається досягнути, використовуючи певні особливості взаємодії між нуклонами та наявність фермієвської статистики для нуклонів.

В даній роботі запропоновано дифузійне наближення до кінетичного рівняння, яке використовує зазначені вище спрощення і зводить проблему до розв'язку рівняння дифузії в імпульсному просторі. Коефіцієнти дифузії і дрейфу в цьому рівнянні визначаються розсіюванням нуклонів на збуреній поверхні Фермі і залежать від параметрів нуклон-нуклонної взаємодії. В роботі досліджена залежність ядерних коефіцієнтів дифузії $D(p)$ і дрейфу $K(p)$ від фермієвського розподілу по імпульсам нуклонів p та встановлено, що обидві функції $D(p)$ і $K(p)$ локалізовані, головним чином, поблизу енергії Фермі $p \approx p_F$. Досліджена також температурна залежність коефіцієнтів дифузії і дрейфу. Встановлено, що на відміну від класичної дифузії, дифузія в фермі-системі не зникає при нульовій температурі $T = 0$. Це явище пояснюється тим, що за рахунок фермієвського руху є можливість для зіткнення і розсіювання фермі-частинок на збуреній поверхні Фермі навіть при $T = 0$.

Детально розглянута важлива для практичних застосувань релаксація збуджень типу частинка-дірка. Досліджено процес релаксації таких збуджень до рівноважного стану, подібного до розподілу Фермі з певною температурою.

Обчислено час релаксації збуджень частинка-дірка в ядрах, який склав величину $\tau_r \approx 7,6 \cdot 10^{-23}$ с. Ця величина добре узгоджується із оцінками ядерного часу релаксації, отриманими раніше при дослідженні ядерних гігантських резонансів та при ядерному поділі.

НЕ-МАРКІВСЬКЕ УЗАГАЛЬНЕННЯ МОДЕЛІ КРАМЕРСА ДЛЯ ЯДЕРНОГО ПОДІЛУ

В. М. Коломієць, С. В. Радіонов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Ядерний поділ збуджених ядер при температурі $T \neq 0$ в моделі Крамерса розглядається як процес дифузії через бар'єр поділу у просторі відповідних параметрів форми ядра. При цьому, згідно із флуктуаційно-дисипативною теоремою, колективний рух ядра в процесі поділу розглядається як рух у полі випадкової сили та при наявності тертя (в'язкості). Такий підхід дає змогу обчислити імовірність проходження ядра через бар'єр поділу залежно від температури та коефіцієнта тертя γ_0 . Класична модель Крамерса не враховує, однак, деяких характерних для динаміки ядра особливостей, пов'язаних із фермівським рухом нуклонів та індукованих ним ефектів пам'яті (не-марківські ефекти).

В даній роботі запропоновано узагальнення моделі Крамерса на випадок не-марківського колективного руху в ядрах. Розглянуто не-марківське рівняння Ланжевена для одновимірного параболічного бар'єру поділу, яке включає випадкову силу $\xi(t)$ та інтеграл пам'яті. Показано, що розв'язок цього рівняння визначається коренями відповідного секулярного рівняння та суттєво залежить від часу релаксації τ в ядрі пам'яті. Для довільних значень часу релаксації τ рівняння Ланжевена трансформовано до рівняння Фоккера - Планка. Це дало змогу отримати узагальнений вираз для імовірності дифузії через бар'єр поділу ядра. При малих значеннях часу релаксації τ (режим частих зіткнень між нуклонами), цей вираз переходить у класичний результат моделі Крамерса. У загальному випадку довільних значень τ імовірність дифузії через бар'єр містить перенормовану висоту бар'єру поділу, що може приводити до суттєвого гальмування процесу поділу. У роботі отримано аналітичний вираз для імовірності дифузії $R_{K_r}(\tau)$ через бар'єр при наявності ефектів пам'яті. Виконані також числові розрахунки величини $R_{K_r}(\tau)$, виходячи безпосередньо із розв'язку не-марківське рівняння Ланжевена з випадковою силою $\xi(t)$ та інтегралом пам'яті. Використовуючи такий розв'язок не-марківського рівняння Ланжевена, проаналізована точність отриманого аналітичного виразу імовірності дифузії $R_{K_r}(\tau)$, який узагальнює класичний вираз для $R_{K_r}(\tau)$ в моделі Крамерса.

ВПЛИВ ДИФУЗНОСТІ ПОВЕРХНІ ЯДРА НА БАР'ЄРИ ЯДЕРНОГО ПОДІЛУ

В. М. Коломісць¹, А. І. Санжур¹, Б. В. Резниченко²

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

У сучасних розрахунках бар'єрів ядерного поділу широко застосовується класична модель рідкої краплі, яка дає змогу відносно просто обчислити так звану гладку складову повної енергії ядра. Квантові ефекти при цьому відносяться до оболонкової поправки і пов'язані з особливостями спектру одночастинкових рівнів поблизу енергії Фермі. Суттєвим недоліком такого підходу є те, що ігноруються квантові ефекти у самій краплі, яка є краплею квантової рідини. Основним проявом таких ефектів є наявність скінченної дифузності у поверхневого шару краплі, що обумовлено проникненням хвильових функцій нуклонів у класично заборонену область за межі середнього поля ядра.

У даній роботі пропонується узагальнена модель рідкої краплі, в якій врахована наявність скінченного поверхневого шару ядра. Ядерна рідина розглядається при цьому в наближенні Томаса - Фермі з ефективними силами, які залежать від густини нуклонів. Останнє дає змогу забезпечити необхідне для рідини насичення і рівняння стану, подібне до класичного рівняння Ван-дер-Ваальса. В роботі виконані варіаційні розрахунки ядерного бар'єру поділу та перед-розривної конфігурації ядра залежно від параметру дифузності a при різних модифікаціях нуклон-нуклонної взаємодії (сил Скірма).

У роботі встановлена залежність параметру дифузності a ядерної поверхні від параметрів форми ядра вздовж долини поділу ядра, починаючи з рівноважного стану до точки розриву. Відмічена наявність слабких ефектів залежності ізоскалярної та ізовекторної густин нуклонів від параметрів деформації ядра в процесі ядерного поділу. Введено поняття еквімолярної поверхні деформованого ядра та з його допомогою обчислена поправка до бар'єрів поділу, яка пов'язана з кривизною ядерної поверхні. Досліджена залежність від параметру дифузності a головних характеристик ядра в точці розриву при ядерному поділі: параметра видовження, радіуса шийки, перед-розривної кулонівської енергії відштовхування уламків поділу тощо. Числові розрахунки виконані для ядер ^{236}U та ^{240}Pu .

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГІЇ ДЕФОРМАЦІЇ ЯДЕР ПРЯМИМ ВАРІАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

В. М. Коломієць¹, А. І. Санжур¹, Б. В. Резниченко²

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Енергія деформації ядер визначається складним балансом ядерної і кулонівської взаємодії між нуклонами. В феноменологічних моделях до визначення енергії деформації включають макроскопічну енергію деформації рідкої краплини і квантову оболонкову поправку. Такі моделі не є самоузгодженими і не пов'язані безпосередньо з нуклон-нуклонною взаємодією. В повністю мікроскопічних підходах, таких як наближення Хартрі - Фока, розрахунок енергії деформації потребує введення зовнішнього деформуючого поля, що затрудняє інтерпретацію кінцевих результатів.

В даній роботі для розрахунку енергії деформації ядер пропонується прямий варіаційний метод без зовнішнього деформуючого поля. Метод спирається тільки на ефективну нуклон-нуклонну взаємодію і наближений розв'язок проблеми багатьох частинок. В числових розрахунках використано квазикласичне наближення Томаса - Фермі з врахуванням градієнтних поправок. Такий підхід дає змогу обчислити так звану гладку складову енергії деформації без квантових оболонкових поправок. В якості пробної функції для прямого варіаційного методу використана профільна функція ядерної густини з урахуванням скінченності дифузності ядерної поверхні та наявності протон-нейтронної асиметрії у важких ядер.

Числові розрахунки енергії деформації виконані для ефективних сил Скірма SkM^* , $SLy230b$, $T6$ та $KDE0$. Для визначення форми ядра використані *Lawrence* - та *Fanny - Hills* -параметризації. Показано, що повна енергія деформованого ядра може бути факторизовано на два внески, один із яких визначається функціоналом густини енергії сферичного ядра, а інший залежить виключно від параметрів форми ядра. Особлива увага приділена розрахунку долини ядерного поділу та перед-розривної конфігурації ядра. Нами встановлена суттєва залежність висоти бар'єру ядерного поділу, товщини шийки (neck radius) в точці поділу та кінетичної енергії уламків поділу від параметризації сил Скірма. Виконано порівняння варіаційного розрахунку енергії деформації ядер із аналогічними розрахунками в традиційній моделі рідкої краплини (МРК) та встановлено, що розрахунки висоти бар'єрів ядерного поділу в МРК є суттєво заниженими.

ШИРОКОДІАПАЗОННА МІКРО-ДЕТЕКТОРНА СИСТЕМА ДЛЯ УСТАНОВКИ ШВИДКІСНОГО РЕНТГЕНОГРАФУВАННЯ

**О. С. Ковальчук¹, В. М. Пугач¹, Д. І. Сторожик¹, В. М. Міліція¹,
В. О. Кива¹, Я. В. Панасенко¹, В. В. Бурдін², Н. В. Мінаков²**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Інститут проблем матеріалознавства НАН України, Київ*

Для формування властивостей конструкційних матеріалів за сучасними технологіями необхідно знати кінетику швидкоплинних фазово-структурних перетворень, які відбуваються протягом малих часток секунди. Актуальною є розробка методів швидкісного рентгеноструктурного дослідження таких процесів у реальному часі. Ціллю пропонованої роботи є розробка позиційно чутливої мікро-детекторної системи реєстрації рентгенівського випромінювання, як елементу експериментальних методик для дослідження швидкоплинної динаміки фазових переходів в металах та їхніх сполуках при нагріванні/охолодженні або стискуванні/розтягу.

На базі установки швидкісного рентгеноструктурного аналізу ПМ НАН України розроблена 256-канальна мікро-детекторна система на основі напівпровідникових мікро-стріпових детекторів, створюваних та досліджуваних в ІЯД НАН України, та комерційно-доступної зчитувальної електроніки. Кутовий розподіл рентгенівських квантів вимірюється двома окремими 128-канальними детекторними модулями миттєво і одночасно в усьому геометричному аксептансі напівпровідникового мікро-стріпового сенсора. Зчитування даних із сенсорів здійснюється системою збору та обробки даних XDAS [1]. Система XDAS має модульну архітектуру, що дає змогу вільно оперувати розміщенням детекторних модулів у просторі.

Проведені дослідження різних мікροстріпових детекторів. Найкращі результати дав прототип сенсора для кремнієвого трека експерименту CMS. Сенсор представляє собою прямокутний кремнієвий мікро-стріповий детектор, з активною площею $2,3 \times 1,6 \text{ см}^2$, складається із 192 стріпів, розміщених з кроком 120 мкм.

На базі сенсорів CMS було зібрано два 128-канальні детекторні модулі для широкодіапазонної детекторної системи швидкісного рентгенографування. Система була змонтована та протестована на установці швидкісного рентгеноструктурного аналізу ПМ НАН України. Досліджено фазові переходи кількох зразків при нагріванні до високих температур, вимірюючи зміну положення дифракційних піків в кутовому розподілі рентгенівських квантів, розсіяних на досліджуваному зразку.

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

КОНТРОЛЕР СПЕКТРОМЕТРИЧНИХ БЛОКІВ

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Розроблено контролер спектрометричних блоків (КСБ) з інтерфейсом USB для підключення до персонального комп'ютера (ПК) одного або декількох (до восьми) блоків для здійснення функцій управління ними та передачі даних через спеціальну мультиплексовану магістральну шину, яка використовується для передачі, як адреси, так і даних. Дані і адреса мають 16-розрядний формат. Крім того на шині присутні інші спеціальні сигнали, як то прямий вибір пристрою, переривання, зайнятості, синхронізації і тому подібне. Прискорення обробки процесу переривання від зовнішнього пристрою та побудова черги здійснюється дискретною логікою і тільки потім обробляється мікроконтролером (МК), який входить до складу КСБ. Отримані дані обробляються згідно типу пристрою, що згенерував їх, формуються у відповідний пакет і передаються у вихідний буфер пап'яті типу FIFO для подальшої передачі в ПК.

КСБ функціонує за спеціально створеними протоколами обміну даними з спектрометричними блоками, та з ПК. Зокрема в протоколах передбачено:

- відлік локального часу від початку експерименту: до двох діб з дискретністю 10 нс.;
- формування коду типу спектрометричного блоку (АЦП, лічильники тощо);
- номер входу, активного на даний час, спектрометричного блоку;
- формат даних для блоку заданого типу: 16 розрядів;
- точний час фіксації події, в інтервалі 10 нс. з дискретністю 1 нс.;
- реєстрація кількості прорахунків.

Основними технічними складовими КСБ є мікросхема Ft245r та МК Xmega128 A1.

Мікросхема Ft245r – призначена для перетворення послідовного протоколу USB та його запису в паралельну пам'ять FIFO. Вона є ефективним і недорогим засобом організації передачі даних між периферійним устаткуванням та ПК з швидкістю до 12 Мбіт/с і фактично є буфером FIFO, який дає змогу організувати взаємодію з практично будь-яким МК. Передача даних від МК здійснюється по восьмирозрядній паралельній двонаправленій шині даних. Для передачі даних досить записати байт даних в буфер при неактивному біті стану. При передачі даних від ПК по USB, мікросхема повідомить МК про їхню наявність у вхідному буфері. Читання даних з буфера FIFO продовжується до тих пір, поки біт наявності активний.

МК Xmega128 A1 належить до ряду малопотужних, високоефективних 8/16-бітних КМОП мікроконтролерів, має тактову частоту 32 МГц, продуктивність 32 MIPS та широкі можливості роботи з перериваннями.

Конструктивно КСБ реалізовано у вигляді однієї плати.

О РОЛИ АКСИОМАТИЧЕСКОГО ПОДХОДА В ФОРМУЛИРОВКЕ ПРИНЦИПА ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ МОДЕЛЯХ ТЕОРИЙ ПОЛЯ

И. Ю. Кривский¹, Т. М. Заяц², С. Г. Шпырко³

¹ *Институт электронной физики НАН Украины, Ужгород*

² *Ужгородский национальный университет, Ужгород*

³ *Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев*

Обращено внимание на то, что любая конкретная модель теоретической физики требует детализации общих интуитивно формулируемых принципов в форме однозначно определяемых математических утверждений (аксиом). В стандартных монографиях и учебниках по теоретической физике обычно приводятся утверждения об общих физических принципах, которые лежат в основе формулировки всех описываемых моделей. Эти принципы, выражаемые естественным языком, фактически содержат в себе высокую степень неопределенности, накладываемую самой природой языка. В то же время при фактическом физико-математическом построении любого раздела теоретической физики эти принципы воплощаются через четкие утверждения в терминах однозначно определенных математических понятий.

Полевой объект в качестве первой аксиомы («аксиомы-дефиниции») требует утверждения о его релятивистской ковариантности. Далее требуется аксиома («динамическая аксиома») о постулировании явного вида уравнения. И наконец, система аксиом должна завершаться утверждением о пространстве состояний этого полевого объекта («аксиома о пространстве состояний»). Подчеркнем, что фактически эти аксиомы присутствуют при работе с каждой моделью теории поля, но явно не формулируются и не обсуждаются, а также не подчеркивается зависимость следствий модели от этих аксиом.

В качестве примера мы приводим аксиоматическое построение модели спинорного поля. Для формулировки основ аксиоматического подхода [1, 2] к спинорному полю оказываются достаточными всего три вышеуказанные аксиомы, заданные в однозначно определенных математических понятиях [3, 4]. Методология аксиоматического подхода к каждой конкретной модели теоретической физики требует соответствующей детализации, но имеет много общих черт.

1. *Bogoliubov N.N., Logunov A.A., Todorov I.T.* Introduction to Axiomatic Quantum Field Theory. Reading, Mass: W. A. Benjamin, Advanced Book Program, 1975.
2. *Streater R.F., Wightman A.S.* PCT, Spin and Statistics and All That. - Princeton University Press, Landmarks in Mathematics and Physics, 2000.
3. *Simulik V.M., Krivsky I.Yu.* Bosonic symmetries of the Dirac equation // Phys. Lett. A. - 2011. - Vol. 375, No. 25. - P. 2479 - 2483.

4. Simulik V.M., Krivsky I.Yu., Lamer I.L. Generalized Clifford-Dirac algebra and Fermi-Bose duality of the Dirac equation // Proc. 14-th Int. Conf. on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (ММЕТ). - 2012.

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ВСТРЯСКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ e_0 -ЭЛЕКТРОНОВ ПО ЭНЕРГИЯМ В НЕПРЕРЫВНОМ СПЕКТРЕ

В. Т. Купряшкин, А. И. Феоктистов, Л. П. Сидоренко

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

При прохождении заряженных частиц через поверхность твердого тела в энергетическом спектре электронов всегда наблюдается «пик нулевой энергии» в районе ≤ 1 эВ, с полушириной линии близкой к 1 - 2 эВ. Электроны, представляющие пик нулевой энергии, мы называем e_0 -электронами.

Нами проведены экспериментальные исследования и выполнено теоретическое описание процесса появления e_0 -электронов на основе эффекта встряски, которое вытекает из решения зависящего от времени уравнения Шредингера в первом приближении теории возмущения и определяется формулами из работы [1], с учетом скорости возникновения возмущения v_p по сравнению со скоростью света c (c/v_p), а также с учетом статистического распределения плотности уровней электронов в конечном состоянии непрерывного спектра. Получена формула, описывающий этот процесс [2]. Формула описывает процесс встряски, как происходящий в две стадии. Первая стадия процесса, определяет частоту появления внезапного возмущения e_0 -электронов. Вторая стадия процесса относится к вероятности перехода системы из начального состояния в конечное состояние с учетом распределения e_0 -электронов по энергии в непрерывном спектре. Она не зависит от сорта движущихся частиц, хотя и не может происходить без первой стадии. Так, например, при распаде ^{232}U наблюдаются α -распад ^{224}Ra и β -распад ^{212}Pb . Оба они приводят к встряске и разному выходу e_0 -электронов с поверхности источника с отношением выходов:

$$\Upsilon_{e_0}(\alpha) : \Upsilon_{e_0}(\beta) = \frac{Z_\alpha^2}{v_\alpha} : \frac{Z_\beta^2}{v_\beta} = 46 \pm 4,$$

где $v_\alpha = 1,62 \cdot 10^9$ и $v_\beta = 1,65 \cdot 10^{10}$ см \cdot с $^{-1}$.

При этом вторая стадия процесса у них происходит одинаково. Имеются и другие примеры подобного типа показывающие, что вторая стадия процесса встряски для различного рода частиц происходит одинаково. Показано, что интегральные и дифференциальные спектры электронов хорошо описываются приведенными формулами, что является подтверждением наблюдаемого явления как результата эффекта встряски.

1. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. // Квантовая механика. - М.: Наука, 1974. - С. 179.
2. Kupryashkin V.T., Sidorenko L.P., Feoktistov A.I., Rovenskikh E. // JETP. - 2011. - Vol. 112. - P. 588.

БЕТА-РАСПАД $^{65}\text{Zn} \rightarrow ^{65}\text{Cu}$

А. А. Куртева

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

В рамках динамической коллективной модели описан β^+ -распад $^{65}\text{Zn} \rightarrow ^{65}\text{Cu}$. В использованном методе [1] учитываются квазичастичные и многофононные (до десяти фононов) состояния основной полосы четно-четного остова, а также влияние вакуумных флуктуаций квазичастиц на перенормировку одночастичных моментов и эффективных сил. Рассчитаны энергии, магнитные дипольные и электрические квадрупольные моменты, спектроскопические факторы основного и возбужденных состояний ^{65}Cu , а также приведенные вероятности электромагнитных переходов между ними.

Бета-распад идет с основного состояния ^{65}Zn , главный вклад в которое дает одночастичное состояние $f_{5/2}$. Бета-переходы идут на состояния $3/2_1^-$ и $5/2_1^-$ ^{65}Cu . Главный вклад в $3/2_1^-$ -состояние дает одночастичное состояние $p_{3/2}$, есть примесь состояний $f_{5/2}$ и $p_{1/2}$. Главный вклад в $5/2_1^-$ -состояние дает одночастичное состояние $f_{5/2}$, есть примесь состояний $p_{3/2}$ и $p_{1/2}$. С большей вероятностью переход идет на состояние, в которое больший вклад дает родственная по l подболочка.

I^π	$3/2_1^-$	$5/2_1^-$
$E_{\text{вп.}}$	0	1115,6
$I, \%$	49,4	50,6
$\lg ft$, экс.	7,5	5,9
$\lg ft$, рас.	7,49	6,0

В таблице приведено сравнение рассчитанных $\lg ft$ с экспериментальными.

В бета-распаде ^{65}Zn проявляются тонкие эффекты связи одноквазичастичных и коллективных состояний. После их адекватного учета отпадает необходимость изменения перенормировки констант слабого взаимодействия. При проведении расчетов бета-распада ^{65}Zn использована та же перенормировка констант слабого взаимодействия, что и для ядер из области $A = 31 - 231$. Хорошее согласие результатов расчетов с экспериментом для области $A = 65$ подтверждает, что перенормировка не зависит от поверхностей Ферми ядер, а значит и от фермиевского и гамов-теллеровского резонансов.

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

ПРИСКОРЕННЯ ІОНІВ ^{14}N НА ТАНДЕМ-ГЕНЕРАТОРІ ЕГП-10К

**Д. А. Кушпій, В. В. Осташко, І. П. Дряпаченко, Г. Г. Зайкін,
О. А. Кушпій, Е. М. Можжухін, І. В. Посмітюх, О. В. Хвастунов,
Ю. С. Фоменко, А. Ф. Шаров**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Для розширення діапазону частинок, що можуть прискорюватися на тандем-генераторі ЕГП-10К з 2012 року розпочалися роботи з прискорення пучків легких частинок. За умовами використовуваного типу джерела, подача робочих іонів в джерело можливо лише в газовому стані, чисто ізотопному або в склад і молекули. Враховуючи можливу максимальну напругу на кондукторі прискорювача ЕГП-10К до 4,5 МВ, і, відповідно, необхідність достатньо тонких перезарядних мішеней, найбільш «перспективними» для прискорення є ізотопи вуглецю, кисню і азоту.

Роботи розпочалися з прискорення іонів азоту-14. Це найбільш складний випадок з зазначених елементів, оскільки для першого етапу прискорення необхідно отримати в джерелі іонів негативно заряджені іони азоту, а енергія приєднання «надлишкового» електрона для азоту є від'ємною. Тому використовувався молекула аміаку NH_3 .

В процесі тестових експериментів з прискорення іонів азоту було відпрацьовано методи осушення аміаку з водного розчину, досліджено спектр мас іонів, що «втягаються» з джерела. Для передбачення можливих ситуацій з прискоренням іонів азоту з складних молекул, розраховано можливі граничні траєкторії іонів азоту та водню, які утворюються після «розбиття» негативно зарядженої молекули аміаку на перезарядній мішені і «обдирання» електронів з атомів азоту і водню перед другим етапом прискорення.

За технічними параметрами аналізуючого магніту отримано моноенергетичні виведені пучки чотиризарядних іонів азоту в діапазоні енергій 8 - 10 МеВ струмом біля 10 нА.

СИСТЕМАТИКА ЙМОВІРНОСТЕЙ БЕТА-ПЕРЕХОДІВ В ДЕФОРМОВАНИХ ЯДРАХ

А. П. Лашко, Т. М. Лашко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

В деформованих ядрах β -переходи класифікують не лише за правилами відбору по спіну та парності, а й за правилами відбору по асимптотичних квантових числах $K^\pi[Nn_z\Lambda]$. Розпади, для яких виконуються ці правила відбору, називаються непригніченими (unhindered), а для яких не виконуються, – пригніченими (hindered). Вважається, що невиконання правил відбору за асимптотичними квантовими числами при розпаді деформованих ядер приз-

водить до зменшення ймовірності β -переходів на $1 + 3$ порядки.

Ми проаналізували всі доступні на сьогоднішній день дані [1] по дозволених, заборонених 1-го порядку та заборонених 1-го порядку унікальних β -переходах в непарних деформованих ядрах рідкоземельної групи ($151 < A < 193$) з [2] і поставили, де це було можливо, їм у відповідність значення квантових чисел $K^\pi [Nn_z \Lambda]$. Загалом, вдалося ідентифікувати 287 переходів. Побудовані статистичні розподіли та розраховані середні значення $\log ft$ для переходів різних типів.

Експериментальні значення $\log ft$ β -переходів знаходяться в таких межах: дозволені непригнічені переходи $4,5 \leq \log ft \leq 7,7$; середнє значення 5,3; дозволені пригнічені переходи $5,2 \leq \log ft \leq 9,1$; середнє значення 6,9; заборонені 1-го порядку непригнічені переходи $5,6 \leq \log ft \leq 8,5$; середнє значення 7,1;

заборонені 1-го порядку пригнічені переходи $5,9 \leq \log ft \leq 9,5$; середнє значення 7,7;

заборонені 1-го порядку унікальні непригнічені переходи $8,5 \leq \log ft \leq 10,3$; середнє значення 9,1;

заборонені 1-го порядку унікальні пригнічені переходи $8,7 \leq \log ft \leq 11,3$; середнє значення 9,5.

Різниця в ймовірностях непригнічених та пригнічених β -переходів спостерігається для всіх типів переходів. Найбільш суттєва вона для дозволених розпадів (в 40 разів) і дещо менша для заборонених 1-го порядку (в 4 рази) та заборонених 1-го порядку унікальних (в 2,5 рази) β -переходів. Такий аналіз для заборонених 1-го порядку та заборонених 1-го порядку унікальних β -переходів виконано вперше. Систематика буде корисною як при аналізі щойно отриманих значень $\log ft$, так і при оцінці ймовірностей ще незареєстрованих гілок розпаду в деформованих ядрах.

1. *Evaluated Nuclear Structure Data File* (National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory) [<http://www.nndc.bnl.gov>].
2. *Singh B., Rodriguez J.L., Wong S.S.M., Tuli J.K. Nucl. Data Sheets. - 1998. - Vol. 84. - P. 487.*

РОЗРОБКА СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ЗОНДОВОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦІЇ КРЕМНІЄВИХ СЕНСОРІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ СВМ

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

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*
² *Університет Карла і Еберхарда, Тюбінген, Німеччина*

Експеримент СВМ на прискорювальному комплексі з антипротонних та іонних досліджень (FAIR, м. Дармштадт, Німеччина), що зараз знаходиться

на стадії будівництва, досліджуватиме фазову діаграму ядерної речовини в області помірних температур та найвищих баріонних густин. Основною частиною детектора є Кремнієва Трекерна Система (КТС) для реконструкції треків заряджені частинки, що дасть змогу досліджувати ультра-релятивістські ядро-ядерні зіткнення за допомогою типових спостережуваних величин (π , K , p) та рідкісних сигналів таких як J/ψ та мезонів із одним s -кварком. КТС на основі двосторонніх кремнієвих детекторів складається з близько 1300 сенсорів, що потребують вхідного контролю.

Контроль якості кремнієвих сенсорів включає оптичну інспекцію, електричну характеризацію та зчитування сенсорів у складі детекторних модулів. В контексті даної роботи описується підготовка до характеризації сенсорів розміром 62×62 мм із 1024 стріпами на кожній стороні. Досліджуватимуться як загальні властивості сенсорів (вольт-амперна характеристика, напруга повного збіднення тощо), так і характеристики окремих стріпів (напр., струмів витоку, міжстріпової ємності). Вимірювання проводяться на зондовій станції, причому значні геометричні розміри сенсорів обмежують використання комерційно доступних зондових станцій. У зв'язку з цим в університеті м. Тюбінгена розробляється спеціалізована зондова станція, що буде позбалена цих недоліків.

Зондова станція складається із оптичної, механічної та вакуумної підсистем, що знаходяться у ізоляційному боксі. В роботі буде представлено результати прийому установки в роботу, зокрема калібрування її оптичної системи (дисторсії, матриця розтягнення) та лінійних моторів із ступенями вільності X , Y , Z , ϑ та субмікронною точністю позиціонування.

КВАЗІКЛАСИЧНИЙ ПІДХІД У МАКРОСКОПІЧНО-МІКРОСКОПІЧНІЙ МОДЕЛІ КОЛЕКТИВНОЇ ЯДЕРНОЇ ДИНАМІКИ

О. Г. Магнер¹, Я. П. Блоцкі², П. Ринг³

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Національний центр ядерних досліджень, Варшава, Польща*

³ *Технічний університет Мюнхена, Гархінг, Німеччина*

Квазікласичні підходи успішно використовується для опису властивостей багаточастинкових щільних скінчених фермі систем, таких як атомні ядра, металеві кластери та квантові точки у макроскопічно-мікроскопічній моделі. У попередніх роботах застосовувалось лептодермічне наближення $\alpha/R \sim A^{-1/3} \ll 1$ ефективної поверхні ядра (ЕПЯ) з числом нуклонів A та середньою кривизною ЕПЯ R асиметричної форми у розширеному методі Томаса - Фермі з метою вивчення властивостей екзотичних ядер далеких від лінії бета-стабільності (α є параметром дифузності ядерної поверхні, $\alpha \sim 1$ фм).

У даній роботі отримано аналітичні вирази для поверхневих констант

енергії симетрії з суттєвим врахуванням її похідних. Розраховані також відповідні товщини нейтронної шуби та ізовекторної жорсткості в ядрах. Ці універсальні вирази, які не залежать від властивостей специфічних ядер (наприклад, можуть бути застосовані до напівнескінченої ядерної матерії), використовуються для розрахунків структури силових функцій ізовекторних дипольних резонансів (ІВДР) у фермі-рідинній моделі ядра через макроскопічні граничні умови до самоузгоджених кінетичних рівнянь Ландау - Власова.

Показано значний вплив ізовекторних поверхневих констант енергії симетрії та її похідних як функцій параметрів сил Скірма на розподіл правила сум головного піка та сателіта у силовій функції ІВДР на прикладі деяких нейтронно-надлишкових ядер з великим параметром асиметрії $X = (N - Z)/A$, де N – число нейтронів, Z – число протонів ядра з $A = N + Z$. Розраховано різниці $R_n - R_p$ нейтронних R_n і протонних R_p середньоквадратичних радіусів важкого ядра, які визначені як максимуми градієнта густини відповідної краплини рідини. Показано їхнє добре узгодження з існуючими експериментальними даними залежно від параметра асиметрії X . Запропоновано оцінки нейтронної шуби для майбутніх експериментальних досліджень екзотичних ядер.

Обговорюються перспективи аналітичних та експериментальних досліджень розщеплення силових функцій ІВДР екзотичних ядер з великим значенням параметру асиметрії X для встановлення більш точних меж для значень фундаментальних поверхневих констант енергії симетрії.

1. *Blocki J.P., Magner A.G., Ring P.* Derivative corrections to the symmetry energy and the isovector dipole-resonance structure in nuclei // *Phys. Scr.*, submitted in 2014; arXiv: 1411.5183 [nucl-th], 2014.

ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЙ ВИЩИХ МУЛЬТИПОЛЬНОСТЕЙ НА ВИСОТУ БАР'ЄРУ МІЖ ЯДРАМИ

Т. О. Маргітч, В. Ю. Денисов

Інститут ядерних досліджень НАН України

В основному стані ядра мають сферичну або майже сферичну форми. Через взаємодію між нуклонами, ядра, що взаємодіють, можуть деформуватися на малих відстанях. Деформація ядер призводить до зміни величини взаємодії ядер. Тому, висота бар'єру ядро-ядерного потенціалу залежить від деформацій ядер та їхньої взаємної орієнтації.

Повний ядро-ядерний потенціал є сумою кулонівського, ядерного, обертового потенціалів, та енергії, пов'язаної з деформацією кожного ядра. Повна енергія визначається на різних відстанях між ядрами залежно від мас, зарядів та з урахуванням квадрупольної, октупольної та гексадекапольної деформацій поверхонь ядер, що взаємодіють.

Мінімальне значення висоти бар'єру пов'язане з такою орієнтацією ядер, при якій вони витягнуті вздовж осі, що проходить через їхні центри мас. Ви-

соти бар'єрів отримано для таких орієнтацій та для різних значень мультипольних деформацій ядер, що взаємодіють. Найменша висота бар'єру спостерігається для деформованих ядер та знайдено величини цих деформацій. Різниця між висотою бар'єру для сферичних та деформованих ядер зростає зі збільшенням маси та заряду ядер. Значення квадрупольної деформації, що відповідають мінімальному значенню висоти бар'єру для деформованих ядер, зростають з ростом маси та заряду взаємодіючих ядер. Знайдено, що найбільший вплив на величину мінімального значення висоти бар'єру має квадрупольна деформація поверхні, октупольна деформація дає менший внесок. Гексадекапольна деформація впливає незначно. З ростом маси та заряду ядер вплив октупольної та гексадекапольної деформацій при мінімальному значенні потенціалу зменшується, що пов'язано з ростом величини жорсткості поверхні від l та A .

Отже, для реакцій, які протікають при енергіях зіткнень близьких до бар'єру та залежать від його висоти, необхідно враховувати квадрупольну, октупольну та гексадекапольну деформації поверхонь обох ядер.

ТЕСТЕР ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРИЧНИХ АЦП

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Створено програмно-апаратний комплекс (тестер) для вимірювання параметрів і регулювання спектрометричних АЦП, як на етапі їхньої розробки, так і при підготовці вимірювальних систем для ядерно-фізичних експериментів.

Вимірювання параметрів АЦП проводиться за методиками, які визначає стандарт на багатоканальні амплітудні аналізатори (ГОСТ 22252-82). Тестер забезпечує вимірювання інтегральної нелінійності, диференційної нелінійності, положення початкової точки, робочого діапазону та часу перетворення.

До складу тестера входять імітатор сигналів спектрометричного тракту (ІСТ) [1], адаптер сполучення з персональним комп'ютером (ПК) і програмне забезпечення. ІСТ подає на вхід АЦП необхідний для методик вимірювання параметрів набір імпульсів точної амплітуди, лінійно-наростаючої амплітуди і здвоєних імпульсів. Адаптер сполучення забезпечує паралельне введення даних від АЦП в ПК через шини ISA.

Програмне забезпечення тестера реалізує прийом даних від досліджуваного АЦП, набір гістограм за даними від АЦП, розрахунок інтегральної та диференціальної нелінійності, розрахунок положення початкової точки, вимірювання і розрахунок робочого діапазону.

На моніторі ПК в режимі реального часу відображається спектр даних. Для спектра виділяється зона розрахунку (весь спектр, або його частина). При цьому ділянка спектра, відповідно вибраній зоні, для кращої наочності, замальовується іншим кольором. Також задається діапазон максимального відносного відхилення від середнього, який виділяється кольором фону.

Ширину зони розрахунку і значення максимального відхилення можна задавати в будь-який момент тестування. Розрахунки параметрів нелінійності здійснюються для обраної ділянки спектра і відображаються в інформаційному полі. Також в цьому полі є дані по положенню маркера і кількість відліків в обраному каналі, значення меж зони розрахунку і кількість відліків в ній, кількість каналів, які задовольняють умовам відхилення від середнього тощо.

На екрані монітора спектр відображається регулярно, через заданий інтервал часу, або примусово з клавіатури. При цьому він автоматично масштабується і перераховується при надходженні нової порції даних. Перерахунок також ведеться при переміщенні маркера в спектрі.

Дані розрахунків і спектри документуються і зберігаються у файлі тестування. За бажанням можна отримати текстовий файл результатів для друку.

1. *Doronin M.I., Voiter A.P., Kovalev O.M.* Pulser for spectroscopy systems // Annual Report-2013. Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine. - Kyiv, 2014. - P. 72.

СПЕКТРОСКОПІЧНИЙ ФАКТОР α -КЛАСТЕРА В ЗБУДЖЕНОМУ ЯДРІ $^{17}\text{O}^*_{6,356(1/2^+)}$ З РЕАКЦІЇ $^{13}\text{C}(^{11}\text{B}, ^7\text{Li})^{17}\text{O}$ ТА ЙОГО РОЛЬ У МОДЕЛЮВАННІ s-ПРОЦЕСІВ У ЗІРКАХ

С. Ю. Межевич

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Вважається, що основним джерелом повільних нейтронів для s-процесів у зірках масою $\leq 9M_{\odot}$ є реакція $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$. Експериментальні перерізи цієї реакції поміряно до найменшої енергії $E_{\text{с.ц.м.}} = 270$ кеВ, хоча в зірках ця реакція проходить при значно нижчих енергіях. Розрахунки астрофізичного фактору, зв'язаного з перерізом реакції $\sigma(E)$ формулою:

$$S(E) = \sigma(E) \cdot E \cdot \exp(2\pi\eta) \quad (\eta - \text{кулонівський параметр}),$$

вказують на можливе швидке зростання цього фактору [1], а отже, і перерізу реакції $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$, при наближенні енергії α -частинок до нуля, що зв'язане з впливом резонансного стану 6,356 МеВ ($1/2^+$) ядра ^{17}O , який знаходиться дуже близько до порогу розвалу $\alpha + ^{13}\text{C}$. Експериментально, значення спектроскопічного фактору (S_a) α -кластера для стану 6,356 МеВ ($1/2^+$) ядра ^{17}O визначено шляхом прямих вимірювань перерізів для передачі α -частинок в реакціях $^{13}\text{C}(^6\text{Li}, d)^{17}\text{O}$ [2, 3], $^{13}\text{C}(^7\text{Li}, t)^{17}\text{O}$ [4] та $^{13}\text{C}(^{11}\text{B}, ^7\text{Li})^{17}\text{O}$ [5], але в цих роботах є відмінність отриманого значення S_a майже на порядок, що є критичним в розрахунках для моделювання s-процесів у зірках.

У даній роботі отримано експериментальні дані для кутових розподілів реакції $^{13}\text{C}(^{11}\text{B}, ^7\text{Li})^{17}\text{O}$ для переходу у збуджений стан 6,356 МеВ ($1/2^+$) ядра ^{17}O при енергії $E_{\text{лаб}}(^{11}\text{B}) = 45$ МеВ та проведено аналіз даних в рамках методу

зв'язаних каналів реакцій. Потенціали взаємодії ядер для вхідного та вихідного каналів бралися у формі Вудса - Саксона з параметрами дійсної частини, вибраними таким чином, щоб ці потенціали були максимально близьким до потенціалів, обчислених в моделі подвійної згортки для відповідних систем, в області взаємодії цих ядер. Параметри уявної частини підбиралися шляхом підгонки теоретичних розрахунків до експериментальних даних для основних та збуджених станів ядер ${}^7\text{Li}$ та ${}^{17}\text{O}$. Спектроскопічні амплітуди нуклонів та кластерів обчислювались в рамках трансляційно-інваріантної моделі оболонок (ТІМО). Теоретичні перерізи для реакції ${}^{13}\text{C}({}^{11}\text{B}, {}^7\text{Li}){}^{17}\text{O}_{1/2+}$ із значенням спектроскопічного фактору $S_a = 0,34$, обчисленого в рамках ТІМО, добре узгоджуються з експериментальними даними для цієї реакції. Значення спектроскопічного фактору $S_a = 0,34$ є близьким до значень, отриманих з реакцій ${}^{13}\text{C}({}^7\text{Li}, t){}^{17}\text{O}$ [4] та ${}^{13}\text{C}({}^{11}\text{B}, {}^7\text{Li}){}^{17}\text{O}$ [5].

1. *Dortleff H.W. et al.* Reaction rates of the s-process neutron sources ${}^{22}\text{Ne}(\alpha, n){}^{25}\text{Mg}$ and ${}^{13}\text{C}(\alpha, n){}^{16}\text{O}$ // *Astrophys J.* - 1993. - Vol. 414. - P. 735 - 739.
2. *Keely N. et al.* DWBA analysis of the ${}^{13}\text{C}({}^6\text{Li}, d){}^{17}\text{O}$ reaction at 10-MeV/nucleon and its astrophysical implications // *Nucl. Phys.* - 2003. - Vol. A726. - P. 159 - 172.
3. *Kubono S. et al.* Determination of the subthreshold state contribution in ${}^{13}\text{C}(\alpha, n){}^{16}\text{O}$, the main neutron-source reaction for the s-process // *Phys. Rev. Lett.* - 2003. - Vol. 90. - P. 062501.
4. *Pelegriti M.G. et al.* Indirect study of the ${}^{13}\text{C}(\alpha, n){}^{16}\text{O}$ reaction via the ${}^{13}\text{C}({}^7\text{Li}, t){}^{17}\text{O}$ transfer reaction // *Phys. Rev.* - 2008. - Vol. C77. - P. 042801.
5. *Guo B. et al.* New determination of the ${}^{13}\text{C}(\alpha, n){}^{16}\text{O}$ reaction rate and its influence on the s-process nucleosynthesis in AGB stars // *Astrophys. J.* - 2012. - Vol. 756. - P. 193 - 203.

ВЗАЄМОДІЯ ДЕЙТРОНІВ З ЛЕГКИМИ α -КЛАСТЕРНИМИ ЯДРАМИ У ТРИЧАСТИНКОВОМУ НАБЛИЖЕННІ

В. П. Михайлюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

На основі теорії багаторазового дифракційного розсіяння й α -кластерної моделі з дисперсією [1] розраховано характеристики, що спостерігаються у пружному розсіянні дейтронів з енергіями 400 і 700 MeV ядрами ${}^{12}\text{C}$ і ${}^{16}\text{O}$. У такому підході ядра ${}^{12}\text{C}$ і ${}^{16}\text{O}$ розглядалися такими, що складаються із трьох і чотирьох α -кластерів, з найбільшою ймовірністю розташованих у вершинах рівностороннього трикутника й тетраедра, відповідно. При розрахунках використовувались багаточасткові густини ядер ${}^{12}\text{C}$ і ${}^{16}\text{O}$, отримані з α -кластерної моделі з дисперсією, з параметрами, отриманих раніше з порівняння розрахованих і вимірених зарядових формфакторів даних ядер.

Дані характеристики розсіяння були розраховані на основі тричастинкового $n + p + A$ дифракційного наближення [2], у якому враховувалися внески як S -, так і D -хвилі у хвильовій функції дейтрону, що налітає, та використовувались амплітуди розсіяння нуклонів ядрами ^{12}C і ^{16}O , раніше отримані на основі α -кластерної моделі з дисперсією [1]. У даному підході розрахунки виконувалися без використання будь яких додаткових параметрів, що підганяються.

Проведені розрахунки показують, що розраховані характеристики $d\text{-}^{12}\text{C}$ і $d\text{-}^{16}\text{O}$ розсіяння в основному узгоджуються з наявними експериментальними даними. Відмінності між розрахованими й вимірними характеристиками розсіяння найбільш помітно проявляються у поведінці аналізуючих здатностей $A_{yy}(\theta)$.

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. *Berezhnoy Yu.A., Fedorchenko D.V., Mikhailyuk V.P., Pilipenko V.V.* Intermediate-energy deuteron scattering from α -cluster nuclei // Phys. Rev. C. - 2014. - Vol. 90, No. 1. - P. 014611.

ОПТИМІЗАЦІЯ СВІТЛОЗБОРУ В КРІОГЕННИХ СЦИНТИЛЯЦІЙНИХ БОЛОМЕТРАХ НА ОСНОВІ ОКСИДНИХ КРИСТАЛІВ

В. М. Мокіна¹, Ф. А. Даневич¹, Х. Краус², В. Б. Михайлик^{2,3}

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Оксфордський університет, Оксфорд, Великобританія

³ Даймонд Лайт Соурс, Оксфорд, Великобританія

Сцинтиляційні болометри є перспективними детекторами для пошуку темної матерії та подвійного бета-розпаду завдяки високій енергетичній роздільній здатності, низькому енергетичному порогу, можливості ефективно ідентифікувати частинки. Збільшення ефективності збору сцинтиляційних фотонів є важливою вимогою в таких експериментах. Метою наших вимірювань було виявити залежність світловиходу та енергетичної роздільної здатності від форми (циліндрична, гексагональна, чотирикутна та трикутна) та стану поверхні кристалу (полірована або шліфована), а також від матеріалу (тефлон чи відбивач 3М) та форми відбивача світла (циліндричний чи у формі зрізаного конуса) на прикладі сцинтиляційних кристалів CaWO_4 та ZnWO_4 у різних умовах оптичного контакту та відбивання світла. Найкращі результати були отримані для кристалу CaWO_4 у формі трикутної призми. Показано, що шліфована поверхня та відбивач у формі усіченого конуса з матеріалу 3М значно покращують світловихід. Моделювання світловиходу кристалів було проведено за допомогою програми ZEMAX. Результати моделювання узгоджуються з експериментальними даними.

РАДІАЦІЙНА ТОЛЕРАНТНІСТЬ МІКРОСТРІПОВИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ КРЕМНІЄВОЇ ТРЕКОВОЇ СИСТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТУ СВМ

**Є. Л. Момот^{1,2}, В. М. Міліція¹, В. М. Пугач¹,
В. О. Кива¹, Ю. Є. Сорокін^{1,3}, Й. Хойзер³**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Goethe-Universität, Frankfurt am Main, Germany

³ GSI, Darmstadt, Germany

Кремнієва трекова система (STS, Silicon Tracking System) – це одна з головних складових частин СВМ експерименту (Дармштадт, Німеччина), яка розташовується в дипольному магніті і призначена для реконструкції треку, визначає імпульс заряджених частинок, що виникають при взаємодії пучка важких іонів з мішенню. STS складається з 8 планарних трекових станцій. Відгук двосторонніх кремнієвих мікростріпових сенсорів на хіти заряджених частинок буде використовуватись для реконструкції треків. Радіаційне навантаження на сенсори може значно вплинути на цей відгук. Для дослідження радіаційно-толерантних прототипів STS мікростріпових сенсорів вони були опромінені до $2 \cdot 10^{14}$ n_{eq}/cm^2 . Досліджено сенсори двох виробників CiS (Німеччина) та Hamamatsu (Японія). Були проведені експерименти з ефективності збору заряду з останніми прототипами сенсорів з різними видами кабелів: подвійною металізацією (кожний стріп з'єднаний з сусіднім стріпом на протилежному кінці з другим металевим шаром) та зовнішнім міжстріповим кабелем для з'єднання стріпів на їхніх краях. Критерієм відбору було визначення MPV – Most Probable Value (найбільш ймовірної величини заряду) при наборі даних від джерела ^{90}Sr . Ця величина визначалась при фітуванні спектрів Ландау та Гаусівською згорткою, при цьому найбільш ймовірна величина – це пік спектру. До опромінення на обох сенсорах спостерігався пік від мінімуму іонізуючих частинок величиною біля 130 ADC. В таблиці приведено результати вимірів для детекторів виробника Hamamatsu:

Тип сенсора	Тип з'єднання	MPV (ADC)	
		N-сторона(400В, -4°C)	P сторона(470В, -6,7°C)
СВМ05Н4W18	Міжстріповий кабель	123,5 ± 0,4	128,5 ± 0,9
СВМ05Н4W10	Подвійна металізація	122,5 ± 0,4	115 ± 1,7

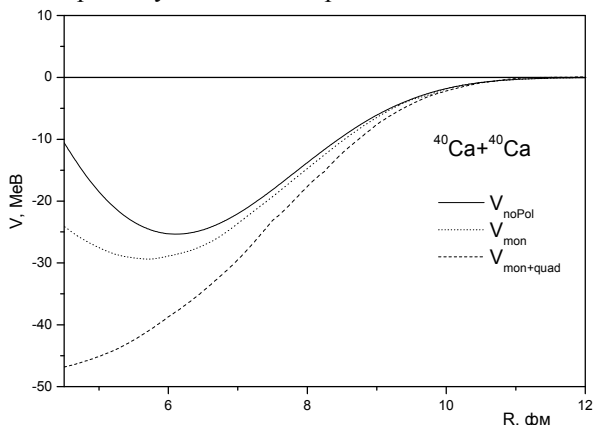
Зроблено висновок про майже однакову та достатню для практичного застосування толерантність досліджуваних сенсорів. Будуть представлені також результати нещодавнього експерименту на синхротроні (2,4 ГеВ/нуклон, Юліх, Німеччина), головною метою якого було порівняння сенсорів з різними типами з'єднань та тестування нової STS станції.

ВПЛИВ АНТИСИМЕТРИЗАЦІЇ ТА ПОЛЯРИЗАЦІЇ НА ПОТЕНЦІАЛ ЯДЕРНО-ЯДЕРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

В. О. Нестеров

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

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



Потенціал взаємодії системи $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$ в рамках двоцентрової оболонкової моделі без поляризації (V_{noPOL}), з урахуванням лише монопольної поляризації (V_{mon}), з урахуванням монопольної та квадрупольної поляризації ($V_{\text{mon+quad}}$).

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.

ПОШУКИ СУПЕРСИМЕТРІЇ НА CMS ДЕТЕКТОРІ ПРИ $\sqrt{s} = 7$ TeV В КІНЦЕВИХ СТАНАХ ІЗ МІООНАМИ, ДЖЕТАМИ І ВТРАЧЕНОЮ ПОПЕРЕЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ

Т. В. Обіход¹, С. Т. Лук'яненко²

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут», Харків*

Представлено результати пошуку суперчастинок із утворенням джетів, міюнів і втраченої поперечної енергії. Дослідження засновано на виборці

протон-протонного зіткнення при $\sqrt{s} = 7$ TeB, яке відповідає $4,36 \text{ фб}^{-1}$ інтегрованої світимості, накопиченої протягом 2011 р. Для моделювання SUSY сигналу було застосовано mSUGRA/MSSM модель і використано два критерії відбору для пошуків суперсиметричних подій. Фони стандартної моделі було оцінено за допомогою MADGRAPH і POWHEG програм. Отримані дані знаходяться у згоді із очікуваннями стандартної моделі.

ЕКСПЕРИМЕНТ ЛНСЬ. ДОСЛІДЖЕННЯ CP СИМЕТРІЇ ТА РАДІАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ (ДО 60-РІЧЧЯ ЦЕРН)

О. О. Охріменко, В. М. Пугач

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Представлено результати по дослідженню порушення CP симетрії в розпадах красивих (**B**) та чарівних (**D**) мезонів в експерименті ЛНСЬ, на Великому адронному колайдері (ЦЕРН, Женева). Результати отримано із повного набору накопичених даних для інтегральної світимості 3 фб^{-1} в протон-протонних зіткненнях при енергії у системі центру мас 7 та 8 TeB. Для одержання статистично вагомих даних експеримент виконується в умовах надвисоких радіаційних навантажень. Вимірювання радіаційного фону та моніторинг світимості експерименту здійснюється Системою радіаційного моніторингу (СРМ) на основі технології металевих детекторів ІЯД НАН України.

Представлено виміряні величини, що характеризують порушення CP симетрії: фаза ϕ_s з розпаду B_s мезонів ($\phi_s = 70 \pm 68 \pm 8$ мрад); частоти осциляцій B_d та B_s мезонів ($\Delta m_d = 0,5156 \pm 0,0051 \pm 0,0033 \text{ нс}^{-1}$ та $\Delta m_s = 17,768 \pm 0,023 \pm 0,006 \text{ нс}^{-1}$); асиметрія розпадів B_d та B_s мезонів у кінцевий стан з K та π мезонами ($A_{CP}(B_d) = -0,080 \pm 0,007 \pm 0,003$, $A_{CP}(B_s) = +0,27 \pm 0,04 \pm 0,01$), а також характеристики інших розпадів, в т.ч надзвичайно рідкісних, з очікуваними сигналами Нової Фізики. Отримані результати в межах експериментальних похибок в основному узгоджуються із передбаченнями Стандартної Моделі (СМ). Оскільки СМ не в змозі пояснити спостережувану асиметрію баріонної матерії (на 2 порядки величини), дослідження порушення CP симетрії є перспективними для пошуку Нової Фізики за рамками СМ.

ДИФЕРЕНЦІЙНІ ПОПЕРЕЧНІ ПЕРЕРІЗИ УТВОРЕННЯ V^0 ЧАСТИНОК У ПРОТОН-ПРОТОННИХ ТА ПРОТОН-ЯДЕРНИХ ЗІТКНЕННЯХ В ЕКСПЕРИМЕНТІ ЛНСЬ

О. О. Охріменко¹, В. М. Пугач¹, І. О. Костюк^{1,2}

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *КНУ імені Тараса Шевченка, Київ*

Представлено результати експерименту ЛНСЬ (ЦЕРН) по вимірюванню диференційних поперечних перерізів утворення V^0 частинок (K_S^0 мезонів та Λ

баріонів) у протон-протонних та протон-ядерних (ядра ^{208}Pb) зіткненнях при енергіях у системі центру мас 7 та 5 TeV, відповідно. Данні перерізи ($d\sigma/dydp_T$, де y – рапідіті, p_T – переданий поперечний імпульс V^0 частинки) наведені для різних діапазонів поперечного імпульсу (p_T) (в межах від 0,15 до 2,5 GeV/c) та рапідіті (y) (від 2,5 до 4,5 та від 2,0 до 4,0 для протон-протонних та протон-ядерних зіткнень, відповідно). З метою зменшення систематичних похибок обраховано також відношення поперечних перерізів утворення анти- Λ баріонів до K_S^0 мезонів ($\sigma(\text{анти-}\Lambda)/\sigma(K_S^0)$) та до Λ баріонів ($\sigma(\text{анти-}\Lambda)/\sigma(\Lambda)$) залежно від поперечного імпульсу для вищезгаданих зіткнень.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ НОВИХ РЕЖИМІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ LHCb

О. О. Охріменко, В. М. Пугач

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Представлені результати модернізації Системи радіаційного моніторингу (СРМ) експерименту LHCb під час профілактичної перерви 2013 - 2014 рр. Зміни здійснено в електрико-механічній схемі СРМ та в програмному забезпеченні. Оцінено відгук СРМ за нових режимів експерименту LHCb на Великому адронному колайдері (протон- протонні зіткнення при енергії в системі центра мас $\sqrt{s}=13$ TeV, час між зіткненнями згустків протонних пучків 25 нс, миттєва світимість до $4 \cdot 10^{32}$ $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$). Представлено результати тестування модернізованої СРМ. Розглянуто можливості СРМ по моніторингу потоків заряджених частинок та інтегральної світимості експерименту, а також плани та ідеї для подальшого удосконалення СРМ.

СИСТЕМА ОЦІНКИ ЯКОСТІ МІКРОСТРІПОВИХ ДЕТЕКТОРІВ ДЛЯ КРЕМНІЄВОГО ТРЕКЕРА СВМ. ДОСЛІДЖЕННЯ В ІЯД НАН УКРАЇНИ

Я. В. Панасенко^{1,2}, В. О. Кива¹, В. М. Міліція¹, В. М. Пугач¹, Й. Хойзер³

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Physikalisches Institut, Universität Tübingen, Germany*

³ *GSI, Darmstadt, Germany*

СВМ експеримент буде досліджувати властивості ядерної матерії в екстремальних умовах, що будуть створені в ультрарелятивістських зіткненнях важких іонів. Його ключовий детектор – Кремнієва Трекова Система (КТС) – буде реконструювати треки частинок з роздільною здатністю по імпульсу 1 % і множинності заряджених частинок до 600 в апертурі детектора (покриває полярний кут 2 5° - 25°). Висока густина треків та строгі вимоги до роздільної здатності по імпульсу вимагають наявності системи з великою кількіс-

тю каналів та малою кількістю матеріалу. КТС буде складатися близько з 1300 двосторонніх кремнієвих мікростріпових детекторів, загальною площею $\sim 4 \text{ м}^2$, і матиме 2,1 мільйони каналів. Мікростріповий сенсор з кроком 58 мкм, площею $62 \times 62 \text{ мм}^2$, товщиною 285 мкм, з 1024 стріпами з однієї сторони – є основною структурною одиницею КТС.

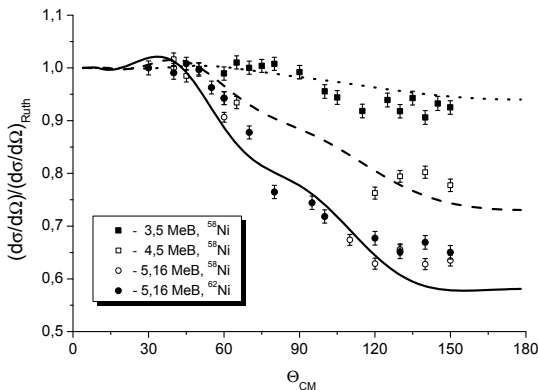
Система оцінки якості спрямована на встановлення критеріїв відбору сенсорів для КТС, виходячи з вимог до радіаційної стійкості та дизайну самої КТС, та перевірку відповідності сенсорів цим критеріям. Як складова розробки системи оцінки якості детекторних модулів в ІЯД, були виконані тести двосторонніх кремнієвих сенсорів типу СВМ05 (вольт-амперні характеристики), тести з використанням лазерного стенду та вимірювання амплітудного відгуку до альфа-випромінювання від лабораторного радіоактивного джерела. Дослідження виконані як з неопроміненими, так і з опроміненими сенсорами. Були вивчені процеси ділення зарядку в міжстріповому проміжку. Результати аналізу виконаних досліджень представлені в даній доповіді.

ПРУЖНЕ РОЗСІЯННЯ ДЕЙТРОНІВ НА ЯДРАХ $^{58,62}\text{Ni}$ ЗА ПІДБАР'ЄРНИХ ЕНЕРГІЙ

**Ю. М. Павленко, В. П. Вербицький, О. В. Бабак, О. І. Рундель,
О. К. Горпинич, О. Д. Григоренко, А. В. Степанюк, Т. О. Корзина**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Переріз пружного розсіяння дейтронів на ядрах $^{58,62}\text{Ni}$ за енергій 3,5, 4,5 і 5,16 MeV було розраховано в рамках оптичної моделі.



Диференціальні перерізи пружного розсіяння дейтронів на ядрах $^{58,62}\text{Ni}$ за енергій 3,5 MeV (пунктирна лінія), 4,5 MeV (штрихова лінія) і 5,16 MeV (суцільна лінія). Експериментальні дані [1] позначено символами відповідно до схеми на рисунку.

Потенціал взаємодії дейтрона з ядром нікеля був змодельований як сума потенціалів протона і нейтрона та малий комплексний потенціал, який враховує можливість вибування дейтрона з пружного каналу завдяки розвалу в кулонівському полі. Використання потенціалу дає змогу узгодити розрахункові і експериментальні перерізи пружного розсіяння (рисунок). Розрахунки показують, що за підбар'єрних енергій, вплив процесів кулонівського розвалу на пружне розсіяння є досить малим.

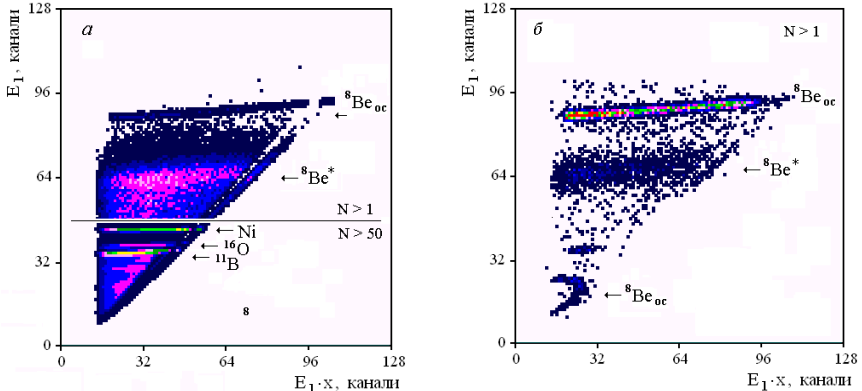
1. Pavlenko Yu.N., Terenetskiy K.O., Verbitskii V.P. et al. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics. - 2012. - Vol. 76, No. 8. - P. 888 - 891.

ПРЕЦИЗИЙНІ ВИМІРЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ І КУТОВИХ РОЗПОДІЛІВ ПРОДУКТІВ ВЗАЄМОДІЇ ПРОТОНІВ З ЯДРАМИ ^{11}B

Ю. М. Павленко¹, О. К. Горпинич¹, А. В. Степанюк¹, Ю. Я. Карлишев¹,
Т. О. Корзина¹, Д. В. Касперович^{1,2}, Л. Л. Дулгер^{1,2}, В. В. Осташко¹,
В. О. Кива¹, І. П. Дряпаченко¹, Е. М. Можжухін¹, А. Ф. Шаров¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ
² Національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Визначення імпульсного розподілу продуктів ядерних реакцій в якомога ширшому діапазоні при збереженні високої роздільної здатності суттєво розширює інформативність експерименту як за кількісним показником отриманих даних, так і за якістю їхньої інтерпретації та ідентифікації досліджуваних процесів.



Двовимірні матриці, що відповідають енергетичним і кутовим розподілам продуктів взаємодії $p + ^{11}\text{B}$. *a* – інклюзивний спектр ($\theta_{1(\text{ПЧД})} = (122 \pm 9)^\circ$, $\varphi_1 = 0^\circ$); *b* – спектр α -частинок з реакції $p + ^{11}\text{B} \rightarrow \alpha + \alpha + \alpha$, що реєструвалися під тим же кутом $\theta_{1(\text{ПЧД})} = (122 \pm 9)^\circ$ у збігах з другою α -частинкою ($\theta_2 = 40^\circ$, $\varphi_2 = 0^\circ$). Окрім внесків резонансів ^8Be в спектрах спостерігаються внески розсіяння протонів на ядрах ^{11}B , Ni (підкладка мішені) та ^{16}O (домішка мішені).

З цієї точки зору ефективним інструментом є позиційно-чутливі детектори (ПЧД). В даній роботі ПЧД використано для вимірювання енергетичних і кутових розподілів продуктів взаємодії $p + {}^{11}\text{B}$ при енергії протонів $E_p = 3,75 \text{ MeV}$ (тандем-генератор ЕПП-10К ІЯД НАН України) в кінематично повних і неповних експериментах з метою дослідження процесів збудження і розпаду резонансів ${}^8\text{Be}$ в реакції $p + {}^{11}\text{B} \rightarrow \alpha + \alpha + \alpha$ (рисунок).

Наведені спектри ілюструють динаміку зміни спектральних розподілів частинок, що реєструвалися в ПЧД, зі зміною координати $x \sim \theta_{1(\text{ПЧД})}$ (апертура ПЧД – $40 \text{ Ч } 6 \text{ мм}^2$ з окремим вікном $2,2 \text{ Ч } 6 \text{ мм}^2$). Для побудови спектральних розподілів для різних кутів реєстрації в межах апертури ПЧД розроблено алгоритми перетворення матриць $(E_1 - E_1(x))$ у відповідні диференціальні перерізи. Оцінена кутова роздільна здатність за даних умов вимірювань становить $\Delta\theta_{(\text{ПЧД})} \sim 1^\circ$.

ЧАС-ПРОЛЬОНА МЕТОДИКА ІДЕНТИФІКАЦІЇ НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОДУКТІВ ЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ В КОРЕЛЯЦІЙНИХ ВИМІРЮВАННЯХ НА БЕЗПЕРЕРВНИХ ПУЧКАХ ПРИСКОРЮВАЧА

**Ю. М. Павленко¹, Ю. Я. Карлишев¹, О. К. Горпинич¹, А. В. Степанюк¹,
Л. Л. Дулгер^{1,2}, Д. В. Касперович^{1,2}, С. І. Форостенко², В. С. Родін²**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

Експериментальні дослідження ядерних реакцій при низьких енергіях значно ускладнюються неможливістю застосування ($\Delta E - E$)-методу для ідентифікації низькоенергетичних продуктів реакцій. На безперервних пучках прискорених частинок (на відміну від імпульсних пучків) непридатним є і звичайний метод часу прольоту з часовою прив'язкою до згустку пучка.

В розробленій методиці вимірюється різниця часу прольоту $\Delta t = t_1 - t_2$ від мішені до детекторів двох кінцевих продуктів реакції. «Стартовим» сигналом для часових вимірювань слугує сигнал, що відповідає реєстрації збігів цих частинок, а на вхід «стоп» конвертера час-амплітуда подається затриманий сигнал від одного із детекторів. Для підвищення відносної точності визначення Δt один із детекторів встановлюється на великій відстані від мішені, а другий – на мінімально можливій.

Розрахунок різниці часу прольоту Δt для частинок 1 і 2 з тричастинкової реакції $p + T \rightarrow 1 + 2 + 3$ здійснюється з використанням кінематичної залежності $E_2 = f(E_1)$. Відповідність розрахованих енергетичних залежностей $\Delta t = f(E_1)$ та $\Delta t = f(E_2)$ з отриманими в експерименті є додатковим критерієм відбору кореляційних подій, що відповідають даному тричастинковому каналу реакції.

Для тестування методики на безперервному пучку тандем-генератора

ЕГП-10К реакційна камера була доповнена вузлом, що забезпечує прольотну базу $L = 75$ см для реєстрації одного із продуктів реакцій під кутом $\theta = 45$ є. Експериментальні дослідження реакції $d + {}^7\text{Li}$ при $E_d = 6,0$ МеВ підтверджують ефективність використання час-прольотних кореляційних вимірювань для ідентифікації тричастинкових каналів реакцій, а також для визначення перерізів збудження зв'язаних станів ядер в бінарних реакціях.

КІНЕМАТИЧНО ПОВНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКЦІЇ ${}^{11}\text{B}(p, 3\alpha)$ З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОПІКСЕЛЬНИХ ДЕТЕКТОРІВ TimePix

Е. О. Петренко, М. В. Пугач

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Досліджено реакцію ${}^{11}\text{B}(p, 3\alpha)$ з використанням мікропиксельного детектора TimePix (CERN). Грануляція та часово-енергетична чутливість детектора TimePix дає змогу вимірювати просторові та енергетичні розподіли продуктів ядерних реакцій з високою роздільною здатністю по кутам та енергіям. Тестові експерименти на Тандем-генераторі ІЯД НАН України продемонстрували ефективність методики та програмного забезпечення [1] для кінематично повних досліджень реакції ${}^{11}\text{B}(p, 3\alpha)$ в області фазового простору інтерференційних явищ в широкій області полярних (θ) та азимутальних (ϕ) кутів. Розроблено і планується подальше удосконалення програмного пакету для аналізу даних з детекторів TimePix із застосуванням методів машинного навчання (штучні нейронні мережі, генетичні алгоритми і т.д.). Наводиться приклад нейронної мережі, де залежно від показників набору параметрів алгоритм приймає рішення про сорт частинки («1» - α -частинка, «0» - все інше). Створене програмне забезпечення дає змогу розрахувати умови експерименту для спостереження інтерференції короткоживучих станів ядра та виконання аналізу енергетичних спектрів кінцевих продуктів з врахуванням конструктивної чи деструктивної інтерференції. Отримано двовимірні енергетичні спектри, виміряні в режимі збігів TimePix детектора ($\theta_2 = 120^\circ$, $\phi_2 = 180^\circ$), та однодіодного кремнієвого детектора ($\theta_1 = 45^\circ$, $\phi_1 = 0^\circ$). Виміряні вклади від розпаду вузького стану ${}^8\text{Be}_{\text{о.с.}}$ та першого збудженого ${}^8\text{Be}^*$ (2,9 МеВ, $\Gamma = 1,46$ МеВ) вздовж кінематичного локусу реакції ${}^{11}\text{B}(p, 3\alpha)$. Із підгонки експериментальних спектрів альфа-частинок та розрахунків визначено залежність параметру фазового зсуву від полярних та азимутальних кутів, а також енергії налітаючих протонів в досліджуваній реакції.

1. Holy T., Pospisil S. et al. Data acquisition & processing software package for Medipix2 // Nucl. Instr. and Meth. - 2006. – Vol. A563. - P. 254 - 258.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК І ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЕКТРУ ПАРНО-ПАРНИХ ЯДЕР В АДІАБАТИЧНОМУ ПІДХОДІ

Р. М. Плекан, І. В. Хіміч

Ужгородський національний університет, Ужгород

Врахування в теорії ядра кутових і радіальних кореляцій нуклонів призводить до необхідності мати методи розрахунку енергетичного спектру двонуклонних станів парно-парних ядер, які виходять за рамки одонуклонних наближень. Актуальність вивчення стаціонарних станів парно-парних ядер полягає у тому, що можна дослідити внесок двонуклонних збуджень в ширину гігантського дипольного резонансу та структуру нейтронного гало, наявність якого експериментально встановлено для ряду легких ядер, наприклад, ${}^6\text{He}$, ${}^{11}\text{Li}$, ${}^{14}\text{Be}$, а також ефекти надплинності ядерної матерії.

Відомо, першим на можливість надплинності ядерної матерії вказав Боголюбов [1]. Він висунув гіпотезу про те, що по аналогії з існуванням зв'язаних куперівських пар електронів, які призводять до явищ надпровідності і надплинності в атомній фізиці, в ядрі повинні існувати зв'язані стани двох нуклонів за рахунок залишкової взаємодії. Найбільш послідовно парні кореляції нуклонів одного сорту враховуються в надплинній моделі ядра [2, 3] на основі формалізму вторинного квантування.

В атомній фізиці добре зарекомендував себе гіперсферичний адіабатичний підхід [4], завдяки якому досягнутий значний прогрес у класифікації автоіонізаційних станів двоелектронних систем та вивченні парних кореляцій електронів. У теорії ядра на базі цього підходу розвинуто адіабатичну тричастинкову модель [5], в якій парні кореляції між нуклонами враховуються у припущенні про розділення руху нуклонів ядра на швидкий рух по кутових змінних і адіабатичний (повільний) рух вздовж гіперрадіусу. У запропонованій моделі парно-парне ядро розглядається як система, що складається із відповідного остова і двох валентних нуклонів, що рухаються в полі ядерного остова.

У роботі в рамках адіабатичного підходу проводиться теоретичний опис характеристик і основних властивостей спектру парно-парних ядер. Ефективне середнє поле ядерного остова моделюється потенціалом Вудса-Саксона з одночастинковою спін-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. Ефективність підходу ілюструється на прикладі чисельних розрахунків енергетичних спектрів для цілого ряду парно-парних ядер. Досліджуються внески у відповідні спектри енергій спарювання, обумовлених залишковою взаємодією тотожних валентних нуклонів, та аналізуються основні механізми формування збуджених станів парно-парних ядер.

1. *Боголюбов Н.Н.* К вопросу об условия сверхпроводимости в теории ядерной материи // Докл. АН СССР. - 1958. - Т. 119, № 1. - С. 52 - 55.
2. *Soloviev V.G.* On the Superfluid State of the Atomic Nucleus // Nucl. Phys. - 1958/59. - Vol. 9, Iss. 4. - P. 655 - 664.
3. *Belyaev S.T.* Effect of Pairing Correlations on Nuclear Properties // Dan. Mat. Fys. Medd. - 1959. - Vol. 31, No. 11. - P. 1 - 55.
4. *Zhen Z. Macek J.H.* Asymptotic Adiabatic Hyperspherical Potential Curves // Phys. Rev. A. - 1986. - Vol. 34, Iss. 2. - P. 836 - 845.
5. *Плекан Р.М., Пойда В.Ю., Хімич І.В.* Дослідження кореляцій нуклонів парно-парних ядер в рамках адиабатичної тричастинкової моделі ядра // УФЖ. - 2004. - Т. 49, № 8. - С. 743 - 753.

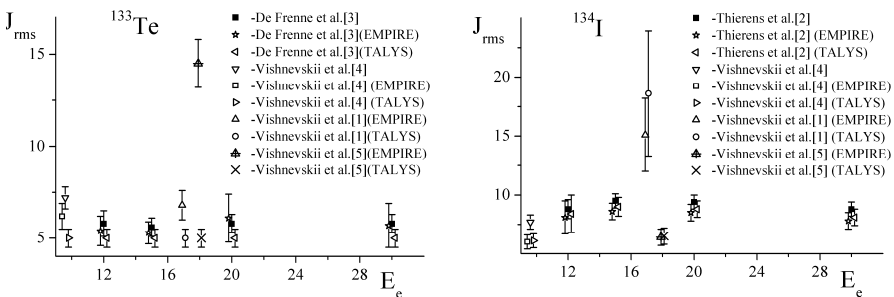
ОБЧИСЛЕННЯ СЕРЕДНІХ КУТОВИХ МОМЕНТІВ В ПЕРВИННИХ ФРАГМЕНТАХ ФОТОПОДІЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІЗОМЕРНИХ ВІДНОШЕНЬ

В. А. Плюйко^{1,2}, О. М. Горбаченко¹, О. І. Давидовська², Є. П. Ровенських²

¹ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

У роботі проаналізовано та тестовано, запропоновану авторами у [1], розширену статистичну модель Хьюзенги - Вандебоша для обчислення середніх куткових моментів $\bar{J} = \sum_j JP(J) / \sum_j P(J)$ фрагментів поділу з використанням ізомерних відношень $R = \sigma_m / \sigma_g$, де $\sigma_m(\sigma_g)$ - переріз утворення фрагменту в ізомерному (основному) стані.



Аналіз виконано на прикладі первинних фрагментів поділу ядер ²³⁵U, ²³⁷Np, ²³⁹Pu під дією гальмівного випромінювання з різними граничними енергіями E_e [1 - 5]. Для розрахунку гамма-переходів в ізомерний та основний стани були використані коди EMPIRE 3.2[6] та TALYS 1.4[7]. Результати

обчислень $J_{rms} = (\overline{J^2})^{1/2}$ для фрагментів фотоподілу ядра ^{235}U представлені на рисунках. Проаналізовано залежності середніх кутових моментів від виразів для густин ядерних рівнів, радіаційних силових функцій, та нейтрон-протонного надлишку. Продемонстровано, що результати обчислень, які отримані за допомогою розробленого методу, узгоджуються з раніш отриманими іншими авторами.

1. *Vyshnevskiy I. M., Zheltonozhskii V. O. et al. // Ядерна фізика та енергетика. - 2014. - Т. 15. - С. 111.*
2. *Thierens H., Proot B. et al. // Phys. Rev. C. - 1982. - Vol. 25, No. 3. - P. 1546.*
3. *De Frenne D., Proot B. et al. // Phys. Rev. C. - 1984. - Vol. 29, No. 5. - P.1777.*
4. *Vishnevskii I.N., Davidovskaya O.I. et al. // Известия РАН. - 2010. - Vol. 74. - P. 538.*
5. *Vishnevskii I.N., Zheltonozhskii V.A. et al // Abstract of of ISINN22, Dubna 2014. - P. 85.*
6. *Herman M., Capote R. et al. // Nuclear Data Sheets. - 2007. - Vol. 108. - P. 2655; <http://www.nndc.bnl.gov/empire/>*
7. *Koning A.J., Hilaire S., Duijvestijn M.C. // Proc. of the Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology (Nice, France, 22 - 27 May, 2007). - P. 211; <http://www.talys.eu/>*

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДВІЙНОГО БЕТА РОЗПАДУ ^{116}Cd

**О. Г. Поліщук^{1,2}, А. С. Барабаш³, П. Беллі⁴, Р. Бернабей^{4,5},
Я. В. Васильєв⁶, Ф. А. Даневич¹, С. Д'Анжело^{4,5}, А. Інчікітті²,
Ф. Капелла⁷, В. Карачіолло⁷, В. В. Кобичев¹, С. І. Коновалов³,
М. Лаубенштейн⁷, Д. В. Пода^{1,8}, В. І. Третяк^{1,2}, Д. М. Черняк¹, Р. Черулли⁷,
В. М. Шлегель⁶, В. І. Юматов³**

¹ Інститут ядерних досліджень, Київ

² НІЯФ, відділення у Римі, Рим, Італія

³ Інститут теоретичної та експериментальної фізики, Москва, Росія

⁴ НІЯФ, відділення «Тор Вергата», Рим, Італія

⁵ Римський університет «Тор Вергата», Рим, Італія

⁶ Інститут неорганічної хімії ім. А.В. Ніколаєва, Новосибірськ, Росія

⁷ Національна лабораторія Гран-Сассо, Ассерджі, Італія

⁸ Центр ядерної фізики та матеріалознавства, Орсе, Франція

Ізотоп ^{116}Cd є одним з найбільш перспективних для досліджень подвійного бета-розпаду (2β) з огляду на сприятливі теоретичні передбачення та можливості експериментальних досліджень (високі енергія розпаду $Q_{2\beta} = 2813,5(13)$ кеВ та ізотопна розповсюдженість 7,49 %). Дослідження 2β розпаду ^{116}Cd ведуться у підземній лабораторії Гран Сассо (Італія) за допомогою

низькофононих скінтіляційних кристалів вольфрамату кадмію, збагачених ізотопом ^{116}Cd ($^{116}\text{CdWO}_4$, збагачення 82 %, загальна маса 1175 г). У жовтні 2013 та у березні 2014 років детектор був вдосконалений з метою зниження фону. У результаті вдосконалень фон детектору в районі досліджуваного ефекту 27 - 2,9 МеВ знизився до 0,11 відліків/(рік \times кг \times кеВ). Енергетична роздільна здатність детектора при енергії 2β розпаду ^{116}Cd становить близько 5 %. Вимірювання продовжуються з головною метою дослідити з якомога вищою точністю двонейтринний 2β розпад ^{116}Cd , а також підвищити чутливість до безнейтринних каналів розпаду. Чутливість експерименту для різних каналів 2β розпаду ^{116}Cd становить 10^{20} - 10^{23} років. Очікується, що двонейтринний розпад ^{116}Cd буде вимірний із похибкою менше 10 %. Спостережено неоднорідність розподілу торію вздовж кристалічної булі $^{116}\text{CdWO}_4$ і високу концентрацію радіоактивних елементів (калію, радію і торію) у залишку після росту кристалу. Це свідчить про значну сегрегацію цих елементів, а отже, дає можливість суттєвого зниження радіоактивної забрудненості кристалів шляхом повторної кристалізації. Триває набір та аналіз даних.

ПОТЕНЦІАЛИ ВЗАЄМОДІЇ ВАЖКИХ ІОНІВ З ЛЕГКИМИ ЯДРАМИ У ШИРОКОМУ ДІАПАЗОНІ ЕНЕРГІЙ

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Проведено детальне дослідження поведінки наявних експериментальних даних диференційних перерізів пружного, непружного розсіяння та перерізу реакції у системах $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$, $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ та інших в енергетичному діапазоні від 1 до 200 МеВ/нуклон. Виявлено, що у діапазоні переданих імпульсів від 0 до 3 - 4 фм⁻¹ диференційні перерізи демонструють яскраво виражений дифракційний характер розсіяння для усіх енергій з досліджуваного діапазону. Проаналізовано еволюцію положень восьми перших дифракційних максимумів (та мінімумів) та значень перерізів пружного розсіяння в максимумах зі зміною енергії взаємодії. Виконано аналіз експериментальних даних пружного, непружного розсіяння та перерізу реакції у рамках оптичної моделі та методу зв'язаних каналів. Побудовано енергетично-залежний оптичний потенціал взаємодії для даних систем у повному діапазоні енергій. Отриманий потенціал задовільно описує всі наявні експериментальні дані, чітко відображає характерні риси поведінки перерізів.

1. Понкратенко О.А., Улещенко В.В., Ширма Ю.О. Енергетична залежність потенціалу взаємодії ядер $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ // Ядерна фізика та енергетика. - 2013. - Т. 14, № 3.
2. Понкратенко О.А., Рудчик А.А., Рудчик А.Т. та ін. Глобальні потенціали взаємодії для дифракційного розсіяння $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ та $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ у широкому діапазоні енергій // Ядерна фізика та енергетика. - 2014. - Т. 15, № 3.

ОЦІНКА ЗАКРИТОСТІ ХІМІЧНИХ СИСТЕМ НУКЛІДІВ РЯДІВ ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U

О. М. Поц, М. В. Стець, В. Т. Маслюк

Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород

Для визначення часових параметрів (тривалість існування, вік, дата події) хімічних систем нуклідів рядів ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U у зразках, важливим є визначення закритості (відкритості) цієї системи від надходження в зразок або втрат, речовини, що містить ці нукліди. Зазначимо, що ряди ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U розглядаються окремо. Відомо, що забезпечити і гарантувати закритість системи протягом тривалого контакту зразка з навколишнім середовищем практично неможливо.

В значній мірі вимірювання закритості системи здійснено в методі стандартних множин нуклідів, який базується на даних ядерної гамма-спектрометрії зразків. Для цього використовується експериментальний нуклідний спектр активностей нуклідів рядів ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U , який порівнюється зі стандартами – відповідними модельними (розрахунковими) нуклідними спектрами гамма-активностей.

Отже, порівняння експериментального нуклідного спектру і стандартних спектрів і є виміром «стандартності» – деякої властивості множини нуклідів рядів.

Можна показати, що математичне по суті поняття «стандартність множини нуклідів», та хімічне по суті поняття «закритість хімічної системи нуклідів» – еквівалентні. Таким чином, вимірюючи «стандартність множини нуклідів», здійснюємо вимірювання «закритості хімічної системи нуклідів».

Розглядаються практичні приклади.

АЛГОРИТМИ ДЕКОМПОЗИЦІЇ НУКЛІДНИХ СПЕКТРІВ ГАММА-АКТИВНОСТЕЙ РЯДІВ ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U У ЗАДАЧАХ ВИЗНАЧЕННЯ ДАТИ ПОДІЇ

О. М. Поц, М. В. Стець, В. Т. Маслюк

Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород

Результатом ядерної гамма-спектрометрії зразків є масив даних, який упорядкований тим чи іншим способом, зокрема графічно, як спектрограма (спектри) активностей нуклідів.

Розглядається можливість методу стандартних множин нуклідів рядів ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U , який призначений в основному для визначення дати події (реєстрованої зміни кількості речовини хоча б одного нукліда ряду).

У найбільш простому випадку експериментальні нуклідні спектри гамма-активностей будуть близькі до стандартів – модельних (розрахункових) нук-

лідних спектрів, і тому їхній власний час дає змогу визначити дату події – тривалість існування відповідної експериментальної множини нуклідів ряду. Однак у більшості випадків експериментальні нуклідні спектри будуть складною сумою (композицією) стандартних нуклідних спектрів, що утворилися у процесі взаємодії хімічної системи зразка з хімічною системою навколишнього середовища цього зразка. Композиція ускладнює ідентифікацію стандартного спектру в експериментальному спектрі і тому служить джерелом систематичних похибок. Представлений метод використовує алгоритми, які дають змогу вирішити цю відому проблему оберненої задачі – декомпозицію експериментальних нуклідних спектрів – шляхом підбору передбачуваних стандартних спектрів у сумі, і послідовного вилучення їх з експериментальних нуклідних спектрів.

Розглядаються практичні приклади.

ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНИХ МІШЕНЕЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОПОДІЛУ МІНОРНИХ АКТИНІДІВ НА ЕЛЕКТРОННОМУ ПРИСКОРЮВАЧІ МІКРОТРОНИ М-30

І. В. Пилипчинец, О. О. Парлаг, О. І. Лендел, В. Т. Маслюк

Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород

Для дослідження характеристик фотоподілу (γ , f) мінорних актинідів (наприклад: ^{237}Np , ^{239}Pu , ^{241}Am) в області енергій гігантського дипольного резонансу (від порогу (γ , f) - до порогу (γ , nf)-реакцій) широко використовують пучки гальмівного випромінювання електронних прискорювачів. Для їхнього одержання застосовують конвертори з тугоплавких металів. Вихід гальмівного випромінювання залежить від товщини конвертора та енергії електронів, що ініціюють реакцію $e \rightarrow \gamma$. При оптимальній товщині конверторів (тобто такій, за якої вихід гальмівного випромінювання максимальний) реакція $e \rightarrow \gamma$ відбувається тільки для частини електронів. Залишкові електрони, які пройшли через конвертор, попадаючи на досліджувані мішені, додатково ініціюють в них $e \rightarrow \gamma$, $e \rightarrow \gamma \rightarrow n$ реакції, які є джерелом систематичних похибок експерименту. Тому, для стимуляції реакцій фотоподілу мінорних актинідів необхідно застосовувати «чисті» пучки високоенергетичного гамма-випромінювання. Це можливо тільки при використанні моноенергетичних джерел, однак способи отримання таких пучків з придатними для проведення аналізу параметрами надзвичайно дорогі. У випадку ж використання пучків гальмівного випромінювання необхідно здійснювати їхню очистку від залишкових електронів і фотонейтронів, тобто застосовувати фільтри, які б ефективно поглинали їх і при цьому не спотворювали спектри гамма-випромінювання.

У результаті експериментальних досліджень встановлена можливість використання карбіду бору для очистки пучка гальмівного випромінювання від

залишкових електронів та фотонейтронів (з енергією до ~ 100 еВ) при створенні комбінованих мішеней для стимуляції реакції фотоподілу мінорних актинідів. Комбіновані мішені з танталу (1 мм) та карбіду бору (19 мм) поглинають до 95 % залишкових електронів при ослаблені по фотонам менше, ніж на ~ 5 % для енергії електронів 17,5 МеВ [1].

1. *Парлаг О.О., Маслюк В.Т., Довбня А.М. та ін.* Застосування карбіду бору B_4C для очищення пучків гальмівного випромінювання електронних прискорювачів // Заявка на корисну модель № u 2014 06312 від 06.06.2014 р. (Рішення про видачу патенту № 22850/ЗУ/14 від 12.11.2014.)

ВИХОДИ ТА ЗАПІЗНЮЮЧЕ ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРОДУКТІВ ФОТОПОДІЛУ ^{241}Am

**І. В. Пилипчинец¹, О. О. Парлаг¹, О. І. Лендел¹,
В. Т. Маслюк¹, О. Ф. Лейко²**

¹ *Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород*

² *Ужгородський національний університет, Ужгород*

Експериментальні дані про виходи й інтенсивності запізненого γ -випромінювання продуктів фотоподілу ядерних матеріалів необхідні для розробки методів аналізу їхнього вмісту у відпрацьованому ядерному паливі та схем трансмутації [1]. Це, в першу чергу, стосується ізотопу ^{241}Am та продуктів його реакцій, утворених по каналах (n, f) і (γ , f) [2].

В роботі представлено результати експериментальних досліджень залежності інтенсивності запізненого γ -випромінювання продуктів ($^{85\text{m}}\text{Kr}$, $^{91\text{m}}\text{Y}$, ^{92}Sr , ^{97}Zr , ^{99}Mo , ^{105}Ru , ^{131}Te , ^{131}I , ^{132}Te , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I , ^{138}Cs , ^{139}Ba , ^{140}Ba , ^{142}La , ^{143}Ce , ^{147}Nd , ^{149}Nd) фотоподілу ізотопу ^{241}Am від часу активації та витримки при максимальній енергії гальмівного випромінювання 12,5 МеВ. Для стимуляції реакції фотоподілу використовувалося гальмівне випромінювання мікротрона М-30. Спектрометричні вимірювання проводилися за допомогою $\text{Ge}(\text{Li})$ - детектора (100 см^3) протягом 0,08 ч 98 годин. З отриманих експериментальних значень часових залежностей інтенсивності запізненого γ -випромінювання продуктів фотоподілу ^{241}Am були розраховані їхні відносні кумулятивні та повні виходи [3].

1. *Iyengar A. et al.* Distinguishing fissions of ^{232}Th , ^{237}Np and ^{238}U with beta-delayed gamma rays // Nuclear Instruments and Methods. В. - 2013. - Vol. 304. - P. 11 - 15.
2. *Беденко С.В., Золотовський А.В., Лызко В.А. и др.* Оценка действующего значения потока гамма-излучения в ядерных реакторах с графитовым замедлителем // Изв. Томского политехн. ун-та. - 2010. - Т. 316, № 2. - С. 72 - 75.
3. *Парлаг О.О.* Масові розподіли уламків фотоподілу ^{237}Np при енергії гальмівного випромінювання 12,5 МеВ // Ядерна фізика та енергетика - 2009. - Т. 10, № 3. - С. 288 - 292.

ОСТАННІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ BGO-OD

М. В. Романюк
(від колаборації BGO-OD)

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Фотонародження мезонів є унікальним інструментом для вивчення спектру збудження нуклонів. Окрім гарно вивчених π та η каналів необхідно також отримати інформацію про канали з дивними, векторними та псевдоскалярними мезонами. Експеримент BGO-OD (прискорювач ESLA, Бонн, Німеччина) побудований для вивчення таких станів з великою кількістю заряджених та нейтральних частинок.

Представлено статус експерименту та результати з останнього набору даних. У рамках експерименту вперше використовувалась система мішені з рідким дейтерієм для фотореакцій на нейтроні. Детектори центральної частини були удосконалені циліндричними MWPCs камерами навколо мішені, що дають змогу проводити трекінг заряджених частинок.

Web-ІНТЕРФЕЙС ДОСТУПУ ДО ЕЛЕКТРОННОЇ ПОШТИ

О. М. Семенюк, О. М. Ковальов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Корпоративні мережі за своєю архітектурою орієнтовані на локальні інформаційні сервіси, а необхідність зовнішнього доступу (з інших мереж) до корпоративних ресурсів потребує створення додаткових програмних засобів. Зокрема актуальним з точки зору зручності та мобільності є забезпечення абонентам корпоративних мереж зовнішнього доступу до їхніх скриньок електронної пошти. Такий доступ найпростіше забезпечити використовуючи клієнт серверну технологію, що передбачає встановлення і налаштування під конкретні задачі серверної частини та зв'язаною з нею клієнтської частина, що може являти собою програму, яка встановлюється на комп'ютер чи мобільний пристрій користувача, або інтерфейс доступу з використанням WEB-браузера через глобальну мережу Інтернет.

Особлива увага під час розробки Web-інтерфейсу була приділена захисту поштового сервера і поштового трафіку. За базові критерії були прийняті засоби захисту побудовані на основі міжнародного стандарту ISO/IEC 15408, що описує сервіси безпеки та їхньої комбінації і такі додатки, як ідентифікація і аутентифікація, управління доступом, протоколювання і аудит, шифрування, контроль цілісності, екранування, аналіз захищеності, забезпечення відмово стійкості, забезпечення безпечного відновлення, тунелювання та управління.

У Web-інтерфейсі в якості серверної частини використано *nix платформу

на базі Ubuntu Server 12.04.5 LTS, яка розповсюджується за ліцензією GPL. Клієнтською частиною слугує програмний комплекс Rouncube, робота з яким можлива за допомогою будь-якого веб-браузера. Дані програмні засоби були вибрані завдяки їхньому відкритому коду та можливості змінювати та конфігурувати, як серверну, так і клієнтську частини залежно від необхідних умов.

Комплекс Rouncube аналогічний по зовнішньому вигляду до інтерфейсів поштових клієнтів, що використовуються на поширених поштових серверах (ukr.net, mail.ua, yandex.ua, gmail.com, mail.ru, gambler.ru тощо).

Розроблений Web-інтерфейс виконує всі стандартні функції поштового клієнта по відправці-отриманню пошти, керуванню поштовими папками, створенню адресної книги, сортуванню листів за шаблоном по папках (з використанням вбудованих фільтрів), а також дає змогу змінювати зовнішній вигляд інтерфейсу. Він налаштований з використанням антивірусних та антиспамових програм, підтримкою протоколів шифрування та програмного фаєрволу.

В якості альтернативи розглядається також крос платформний клієнт Citadel, який крім роботи з поштою користувача надає можливість обмінюватися миттєвими повідомлення, містить нотатник, груповий календар та планувальник. Даний клієнт може бути використаний в будь-якій корпоративній мережі.

Зараз комплекс перебуває в стадії тестових випробувань.

ФОРМА СПЕКТРА И УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ НИЗКОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ РАСПАДА ^{152}Eu

Л. П. Сидоренко

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Измерено угловое распределение испускания электронов низкой энергии из распада радиоактивного источника ^{152}Eu . Измерения выполнены в цилиндрической геометрии, что минимизирует искажения углового распределения испускания электронов околонулевой энергии из поверхности источника. Радиоактивный источник укреплялся на оси вращения в центре металлической цилиндрической сетки, у внешней поверхности которой размещался детектор электронов – шеврон микроканальных пластин (МКП). При измерениях определялась зависимость интенсивности излучения электронов от угла θ вылета их из поверхности (θ – угол между нормалью к поверхности и направлением вылета). Полученная зависимость сравнивается с теоретической [1]. Сравнение позволяет сделать такие выводы:

1. Угловое распределение зависит от энергии испущенных электронов E_e . Для быстрых электронов ($E_e > 24$ эВ) оно шире косинусоидального, что согласуется с теорией, а для околонулевых электронов ($E_e \leq 24$ эВ) – заметно уже последнего, что противоречит расчетам [1].

2. Качественно верная форма спектра электронов низкой энергии из [1]

количественно не согласуется с экспериментальными спектрами, в которых интенсивность околонулевых электронов относительно хвоста электронов высокой энергии значительно больше предсказанной теорией.

3. Заниженная интенсивность околонулевых электронов в теории можно объяснить малой прозрачностью поверхностного барьера в кристалле для электронов малой энергии. Наличие у поверхности заряда ΔZ должно изменить величину барьера и повысить его прозрачность.

4. Улучшение качественного согласия теории и эксперимента с увеличением длины статического экранирования заряда в твердом теле указывает на то, что экранирование не влияет на заряд ΔZ , вызывающий эмиссию околонулевых электронов.

1. *Dzyublik A. Ya., Spivak V. Yu. // Ukr. J. Phys. - 2008. - Vol. 53. - P. 120.*

ВИДОЗМІНЕНИЙ ЯДЕРНО-АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ НАНОМЕТРИЧНИХ ТОВЩИН САМОПІДТРИМУЮЧИХ ПЛІВОК ТА ПОВЕРХНЕВИХ ПОКРИТЬ

В. І. Сорока

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

До типової схеми методики зворотного розсіяння додається монітор-переривник повністю сформованого пучка прискорених іонів. Процедура вимірювання товщини тепер потребує набору двох спектрів. Один спектр отримується для досліджуваної мішені. Другий – для мішені, яка імітує товстоту підкладку. Однакові експозиції при наборі обох спектрів забезпечуються монітором-переривником. Висота спектра, оцінена для поверхні товстої підкладки, несе інформацію про загальну кількість іонів, які попадають на мішень, та про тілесний кут, який стягується детектором. Якщо підібрати підкладку з того ж самого хімічного елемента, що і досліджувана мішень, то кінцева формула для розрахунку товщини значно спрощується. Зникають параметри поперечних перерізів розсіяння. Якщо мішень є достатньо тонкою і поперечний переріз швидко не змінюється з енергією, то з'являється можливість для вимірів вибирати не тільки область резерфордівського розсіяння, а й області ядерного потенціального або резонансного (широкі резонанси) розсіянь. Точність вимірювання поліпшується. Сфера застосування методу поширюється і на самопідтримуючі плівки, і на поверхневі шари. Метод з успіхом випробувано при вимірюванні товщин самопідтримуючих, вуглецевих плівок, як перезарядних мішеней для тандемного прискорювача. Його також випробувано при вимірюванні товщини поверхневого шару титану структури титан - кремній.

ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ ВУГЛЕЦЕВОЇ ПЕРЕЗАРЯДНОЇ МІШЕНІ ДЛЯ ТАНДЕМНОГО ПРИСКОРЮВАЧА ТА ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ТИТАНУ СТРУКТУРИ ТИТАН - КРЕМНІЙ

**В. І. Сорока, В. В. Осташко, В. А. Онищук,
Е. М. Можжухін, М. В. Арцимович, Д. А. Кушпій,
І. В. Посмітюх, А. Ф. Шаров, А. А. Шевчук**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Виконано вимірювання товщини та однорідності по товщині тонкої, самопідтримуючої, вуглецевої плівки як перезарядної мішені для тандемного прискорювача ЕПГ-10К ІЯД НАН України. При вимірюваннях використовується не руйнуючий, ядерно-аналітичний метод з прискореними до енергії 3,5 МеВ протонами. Метод було видозмінено з метою досягнення більшої точності, чутливості та розширення сфери застосування. У стандартну схему зворотного розсіяння іонів уводиться додатковий елемент – монітор-переривник пучка. Це змінює процедуру отримання експериментальних даних і спрощує формулу для розрахунків. Описано розроблену конструкцію переривника та особливості використання тримача мішеней. Товщина перезарядної мішені виявилася рівною в середньому $7,3 \cdot 10^{17}$ атомів/см² (~ 9,5 мкг/см²). У порівнянні з оптимальною така товщина при прискоренні протонів є завеликою. Неоднорідність по товщині не перевищує похибку експерименту. Метод також випробувано при вимірюванні товщини поверхневого шару титану структури титан - кремній. Цей результат порівнюється з результатом, отриманим нами раніше для цієї ж мішені стандартним методом резерфордівського розсіяння, з використанням альфа-частинок на однокінцевому електростатичному прискорювачі ЕГ-5.

ВПЛИВ ЗВ'ЯЗКУ КАНАЛІВ РЕАКЦІЇ НА ПРУЖНЕ РОЗСІЯННЯ ${}^7\text{Li} + {}^{18}\text{O}$ ПРИ ЕНЕРГІЇ 114 МеВ

Ю. М. Степаненко, А. А. Рудчик, О. А. Понкратенко, В. В. Улещенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Спираючись на експериментальні дані пружного, непружного розсіяння [1], а також реакцій з виходом ядер ${}^9\text{Be} + {}^{16}\text{N}$, ${}^8\text{Be} + {}^{17}\text{N}$, ${}^8\text{Li} + {}^{17}\text{O}$ [2 - 4] при взаємодії іонів ${}^{18}\text{O}$ енергії $E_{\text{лаб.}}({}^{18}\text{O}) = 114$ МеВ з ядрами ${}^7\text{Li}$, проведено ґрунтовне дослідження впливу зв'язку каналів різноманітних реакцій передачі на потенціал пружного розсіяння ${}^7\text{Li} + {}^{18}\text{O}$ [1]. Аналіз виконано у рамках методу зв'язаних каналів реакцій з врахуванням як кожного каналу окремо так і всіх каналів реакцій, для яких поміряно диференціальні перерізи, разом. Ка-

нали непружного розсіяння зі збудженням нижчих рівнів ядер ${}^7\text{Li}$ та ${}^{18}\text{O}$ також включались у схему зв'язку каналів. Визначено параметри оптичних потенціалів взаємодії ядер ${}^9\text{Be} + {}^{16}\text{N}$, ${}^8\text{Be} + {}^{17}\text{N}$, ${}^8\text{Li} + {}^{17}\text{O}$, а також ${}^7\text{Li} + {}^{18}\text{O}$ у випадку одночасного врахування зв'язку всіх розглянутих каналів реакції. Визначено зміну параметрів потенціалів під впливом зв'язку каналів.

1. Rudchik A.A., Rudchik A.T., Kliczewski S. et al. Elastic and inelastic scattering of ${}^7\text{Li} + {}^{18}\text{O}$ versus ${}^7\text{Li} + {}^{16}\text{O}$ // Nucl. Phys. A. - 2007. - Vol. 785. - P. 293 - 306.
2. Rudchik A.T., Stepanenko Yu.M., Kemper K.W. et al. Comparison of the ${}^7\text{Li}({}^{18}\text{O}, {}^{17}\text{N}){}^8\text{Be}$ and ${}^{18}\text{O}(d, {}^3\text{He}){}^{17}\text{N}$ reactions // Phys. Rev. C. - 2011. - Vol. 83. - P. 024606.
3. Rudchik A.T., Stepanenko Yu.M., Kemper K.W. et al. ${}^8\text{Li}$ optical potential from ${}^7\text{Li}({}^{18}\text{O}, {}^{17}\text{O}){}^8\text{Li}$ reaction analysis // Nucl. Phys. A. - 2009. - Vol. 831. - P. 139 - 149.
4. Rudchik A.T., Stepanenko Yu.M., Kemper K.W. et al. The ${}^7\text{Li}({}^{18}\text{O}, {}^{16}\text{N}){}^9\text{Be}$ reaction and optical potential of ${}^{16}\text{N} + {}^9\text{Be}$ versus ${}^{16}\text{O} + {}^9\text{Be}$ // Nucl. Phys. A. - 2011. - Vol. 860, Is. 1. - P. 8 - 21.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДВІЙНОГО БЕТА РОЗПАДУ ${}^{100}\text{Mo}$ НА ЗБУДЖЕНІ РІВНІ ${}^{100}\text{Ru}$

В. І. Третяк (від NEMO-3 колаборації)

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Подвійний бета (2β) розпад ${}^{100}\text{Mo}$ на збуджені рівні ${}^{100}\text{Ru}$ вивчався за допомогою низькофонового HPGe детектора об'ємом 600 см^3 та зовнішнього зразку молібдену масою 2588 г, збагаченого ізотопом ${}^{100}\text{Mo}$ до 97.5%. Вимірювання протягом 2288 годин були проведені у підземній лабораторії Модан (Франція) на глибині, що відповідає 4800 м водного еквіваленту. При 2β розпаді на перший збуджений 0^+_1 рівень ${}^{100}\text{Ru}$, що має енергію 1130,3 кеВ, збудження знімається двома γ квантами 539,5 та 590,8 кеВ. Відповідні піки були зареєстровані в експериментальному спектрі HPGe детектора; площі їх дорівнюють 129 ± 14 та 110 ± 13 відліків (тобто ефект зареєстрований на рівні $\sim 9\sigma$). Вимірний період напіврозпаду $T_{1/2} = 7,5 \pm 0,6(\text{стат}) \pm 0,6(\text{сист}) \times 10^{20}$ років узгоджується з результатами попередніх експериментів, але має найменшу похибку. Для 2β переходів на інші збуджені рівні ${}^{100}\text{Ru}$ (від 2^+_1 з енергією 539,5 кеВ до 0^+_3 з енергією 2051,7 кеВ) встановлені лише обмеження на $T_{1/2}$ на рівні $\sim(0,3 - 1,1) \times 10^{22}$ років, що в більшості є найкращими результатами на даний час.

ПОШУКИ БЕЗНЕЙТРИННОГО 2β РОЗПАДУ ^{100}Mo З ДЕТЕКТОРОМ NEMO-3

В. І. Третяк (від NEMO-3 колаборації)

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Представлено результати пошуку безнейтринного подвійного бета ($2\beta\nu$) розпаду ^{100}Mo з детектором NEMO-3, що забезпечує повну реконструкцію топології подій (вимірювання треків, індивідуальних енергій та напрямків руху випромінених електронів за допомогою 6180 трекових елементів та 1940 сцинтиляційних детекторів). Вимірювання проводились впродовж 43994 годин (5,02 року) у підземній лабораторії Модан (Франція, 4800 м водного еквіваленту) з лютого 2003 по січень 2011 р. Мішені у вигляді тонких ($40 - 60 \text{ мг/см}^2$) фольг з 7 різних збагачених 2β нуклідів (^{48}Ca , ^{82}Se , ^{96}Zr , ^{100}Mo , ^{116}Cd , ^{130}Te , ^{150}Nd) займали повну площу близько 20 м^2 . Мішень із молібдену, збагаченого ізотопом ^{100}Mo до 97,5%, була найбільш масивною – 6914 г. Не дивлячись на велику експозицію експерименту ($34,7 \text{ кг} \times \text{років}$), $2\beta\nu$ розпад ^{100}Mo спостережений не був; отримане лише обмеження на період напіврозпаду $T_{1/2} > 1,1 \times 10^{24}$ років з 90 % С.Л. (для механізму легких мас нейтрино), що є найкращим результатом на даний час для цього ізотопу. Це обмеження відповідає обмеженню на масу нейтрино $< (0,3 - 0,9) \text{ eV}$, залежно від використаних ядерних матричних елементів.

МОДЕЛЮВАННЯ ТРИЧАСТИНКОВИХ КАСКАДНИХ РОЗПАДІВ РЕЗОНАНСІВ З ВРАХУВАННЯМ КУТОВИХ КОРЕЛЯЦІЙ

В. В. Улещенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Проведено аналіз каскадних розпадів резонансів на три частинки. У моделі вважається, що в момент розпаду кожне ядро знаходиться в заданому збудженому стані і має заданий імпульс, а також спіновий стан, що описується хвильовою функцією. Проміжний резонанс каскадного розпаду також має визначений спіновий стан.

Методом Монте-Карло промодельовано розпади високозбуджених станів ядра ^{12}C на три альфа-частинки. Розглянуто розпади рівнів 0^+ (10,3 MeV), 2^+ (10,03 MeV), 2^- (11,83 MeV) та 1^+ (15,11 MeV). Отримано ймовірні розподіли альфа-частинок у детекторах для вибраних умов реєстрації. Різні квантові числа (спін та парність) резонансів, що розпадаються, а також проміжного стану ядра ^8Be , спричиняють суттєво відмінні кутові залежності розпадів, що потенційно дає можливість відрізнити вклади різних початкових станів. Проведено оцінки точності експерименту, необхідної для виявлення кутових кореляцій альфа-частинок у кінцевому стані.

ВЕРОЯТНОСТЬ ОДНОФОТОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ ПОЗИТРОНОВ, УСРЕДНЕННАЯ ПО АТОМНЫМ ЭЛЕКТРОНАМ

С. Н. Федоткин

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

В задачах, связанных с процессами аннигиляции позитронов с электронами атома обычно рассматривается взаимодействие позитрона с одним из атомных электронов. Однако, иногда возникает необходимость определить суммарную вероятность процесса, связанную с возможностью аннигиляции с другими атомными электронами. В этом случае вычисляют вероятность процесса для каждого электрона по отдельности и затем суммируют эти вероятности.

Поэтому вместо этой достаточно трудоемкой работы предлагается некоторый более простой метод, позволяющий приближенно вычислять усредненную по всем электронам атома вероятность одноквантовой аннигиляции позитронов. Для этого используется приближение Томаса-Ферми, в котором рассчитывается усредненная плотность электронов атома как функция координат. Этот метод обычно используется для вычисления полной энергии ионизации атома и имеет ограничения, связанные с тем, что он применим для атомов с большим зарядом Z . В настоящей работе с его помощью вычисляются усредненные для атомной оболочки сечения процессов одноквантовой аннигиляции позитронов.

С этой целью в рамках метода Томаса-Ферми используется приближение Тейтца

для среднего потенциала, в котором движутся атомные электроны. В этом потенциале можно аналитически вычислить среднюю плотность электронов атома $n(r)$ как функцию координат r :

$$n(r) = \frac{Z}{4\pi a^3} \left(\frac{r}{a}\right)^{-3/2} \left(1 + \alpha \frac{r}{a}\right)^{-3}.$$

Здесь $a = 0,88534 Z^{-1/3} a_B$ и $\alpha = 0,53625$ - параметры потенциала Тейтца, a_B - боровский радиус. Далее делается предположение, что величина $n(r)/Z$ соответствует моллю в квадрате некой усредненной по всем электронам волновой функции $\psi_{at}(r)$ и затем с этой волновой функцией стандартным образом вычисляется сечение однофотонной аннигиляции. Умноженное на заряд ядра Z это сечение соответствует усредненному для всех электронов сечению. Расчеты были выполнены для случая очень малых скоростей позитронов. Вычисленные таким образом сечения для атомов с зарядом $Z = 82$ и $Z = 90$ оказались несколько больше сечений, рассчитанных для электронов К-оболочки в этих атомах [1].

1. Johnson W.R., Buss D.J., Carroll C.O. // Phys. Rev. - 1964. - Vol. 135, No. 5A. - P. A1232.

ПОРІВНЯННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ З СИМУЛЯЦІЄЮ, ВИКОРИСТОВУЮЧИ ДЕТЕКТОРИ “InGrid” ДЛЯ МІНІ-ЧАСОПРОЛЬотної КАМЕРИ

**А. В. Чаус^{1,2,3}, М. П. Тігов², П. Кола², Д. Аттє²,
О. Безшийко⁴, О. Федорчук⁴**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *CEA Saclay, Paris, France*

³ *DESY, Hamburg, Germany*

⁴ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

Одним із наступних побудованих міжнародних експериментів у фізиці високих енергій планується бути міжнародний лінійний колайдер (ILC). Дизайн ILC складається з двох детекторів: великий міжнародний детектор (ILD) та кремнійовий детектор (SiD). Одним з головних компонентів ILD є часопрольотна камера (TPC). Дана робота охоплює розробку зчитувальної електроніки на базі “Micromegas” [1] технології в комбінації з CMOS піксельними чіпами “Timex” [2]. Утворений детектор має назву “InGrid”, може вимірювати кожен окремих електрон та має просторову роздільну здатність ~ 30 мкм.

У часопрольотній камері реконструкція треків відбувається наступним чином: дві координати отримуються як зарядовий профіль зі зчитувальної електроніки, а третя координата вираховується за допомогою часу прольоту електронів до зчитувальної електроніки. У науковому центрі CEA Saclay було побудовано міні-часопрольотну камеру (mini-TPC). Використовуючи цю камеру, було протестовано декілька зразків “InGrid” детекторів.

Також було побудовано восьмичіповий модуль (“Octopus”), геометрія якого 2×4 чіпи. Для реконструкції треків з “Octopus”, виміряних на тестовому пучку в DESY (Гамбург), був написаний алгоритм OctoCEA. Досліджена просторова роздільна здатність за наявності магнітного поля і без нього. Результати реконструкції співвідносяться з теоретичними розрахунками.

1. *Giomataris Y., Rebourgeard P., Robert J.P., Charpak G. MICROMEGAS: A High granularity position sensitive gaseous detector for high particle flux environments. - Nucl. Instrum. Meth. - 1996. - Vol. A376. - P. 29.*
2. *Llopart X., Campbell M., Dinapoli R. et al. Medipix2: A 64-k pixel readout chip with 55- μ m square elements working in single photon counting mode. - IEEE Transactions on Nuclear Science. - 2002. - Vol. 49. - No. 5. - P. 2279.*

ПОШУК ЧОРНОЇ МАТЕРІЇ НА МІЖНАРОДНОМУ ЛІНІЙНОМУ КОЛЛАЙДЕРІ (ILC)

А. В. Чавс^{1,2,3}, М. П. Тігов², Д. Ліст³

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² CEA Saclay, Paris, France

³ DESY, Hamburg, Germany

Існування Чорної Матерії може підтвердити можливість існування нових феноменів в районі електро-слабкої взаємодії. Гіпотеза слабковзаємодіючої масивної частинки (WIMP) може бути досліджена на ILC. На сьогоднішній день взаємодія WIMP до часток Стандартної моделі невідома, саме тому дослідження утворення WIMP в $e + e$ - зіткненнях є цікавим питанням для фізики високих енергій.

У цій роботі досліджено можливість відкриття (або виключення) існування WIMP при можливому створенні WIMP-пар на ILC. Реконструкція WIMP-пар відбувається за допомогою енергії фотонів у початковому радіаційному стані. В даній роботі показано, що завдяки ILC може бути підтверджене існування WIMP навіть, якщо їхня анігіляція до електронів відбувається на рівні декількох відсотків. Розглянуто декілька теоретичних моделей: модель, яка використовує ефективні оператори [1] та космологічна модель [2]. Для обох теоретичних моделей проведена інтерпретація чутливості експерименту для різних WIMP мас.

Результати отримані у ході цієї роботи також порівняні з сучасними результатами експерименту CMS, де аналіз базується на монотрековому кінцевому стані. ILC може досягнути ліміти до 2 TeV для діапазону взаємодії Λ для Векторного оператора використовуючи світимість 500 fb^{-1} , а також енергію в центрі мас 500 GeV та пучків без поляризації. Більше того, використовуючи поляризовані пучки, ми можемо значно покращити чутливість.

1. *Yoonseok John Chae, Maxim Perelstein*. Dark Matter Search at a Linear Collider: Effective Operator Approach. - JHEP. - 2013. - Vol. 1305. - P. 138.
2. *Christoph Bartels and Jenny List*. Model-independent WIMP searches at the ILC, eConf C0705302 (2007).

МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОАКТИВНОГО ФОНУ КРІОГЕННИХ БОЛОМЕТРІВ З КРИСТАЛАМИ $Zn^{100}MoO_4$ ДЛЯ ПОШУКУ $0\nu 2\beta$ РОЗПАДУ ЯДРА ^{100}Mo В УСТАНОВЦІ EDELWEISS У ПІДЗЕМНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ МОДАН

Д. М. Черняк^{1,2}, Ф. А. Даневич¹, А. Джуліані², В. В. Кобичев¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Центр ядерних наук та матеріалознавства, Орсе, Франція

Безнейтринний подвійний ($0\nu 2\beta$) бета-розпад є гіпотетичним процесом, експериментальне спостереження якого дасть змогу визначити масу і схему масових станів нейтрино та дослідити ряд ефектів за межами стандартної моделі елементарних частинок (майоранівська природа нейтрино, незбереження лептонного заряду, домішки правих струмів у слабкій взаємодії тощо). Надзвичайно перспективними детекторами для пошуку $0\nu 2\beta$ -розпаду є низькотемпературні сцинтиляційні болометри завдяки їхній високій енергетичній роздільній здатності, великій ефективності реєстрації та можливості розділення α/β -подій.

Проект LUMINEU (Luminescent Underground Molybdenum Investigation for NEUtrino mass and nature) націлений на пошук $0\nu 2\beta$ -розпаду ізотопу ^{100}Mo ($Q_{2\beta} = 3034$ кеВ) за допомогою сцинтиляційних болометрів на основі кристалів молібдату цинку збагачених ізотопом ^{100}Mo ($Zn^{100}MoO_4$). Були розраховані енергетичні спектри фону 48-ми детекторів $Zn^{100}MoO_4$ розмірами $\varnothing 60 \times 40$ мм розміщених у кріостаті експерименту EDELWEISS у підземній лабораторії Модан (Франція). За допомогою програмного пакету GEANT4 оцінено внески до очікуваного фону в області $0\nu 2\beta$ -розпаду ^{100}Mo від внутрішньої забрудненості сцинтиляторів торієм і радієм, космогенних радіонуклідів та радіоактивної забрудненості елементів детектора дочірніми ^{232}Th і ^{238}U . Досліджено вплив форми кристалів $Zn^{100}MoO_4$ на форму спектру дwoнейтринного подвійного бета-розпаду ^{100}Mo . Моделювання проводилося для кристалів $Zn^{100}MoO_4$ у вигляді циліндру, паралелепіпеду та шестигранної призми, з фіксованою масою 495 г та висотою 40 мм. Показано, що форма спектру дwoнейтринного подвійного бета-розпаду однакова в межах похибки для кристалів молібдату цинку із молібдену збагаченого ізотопом ^{100}Mo масою близько 60 г [1] різної форми.

1. *Barabash A.S. et al.* Enriched $Zn^{100}MoO_4$ scintillating bolometers to search for $0\nu 2\beta$ decay of ^{100}Mo with the LUMINEU experiment // *Eur. Phys. J. C.* - 2014. - Vol. 74. - P. 3133.

МЕТАЛЕВІ МІКРО-ДЕТЕКТОРИ ДЛЯ ЗОБРАЖЕННЯ І МОНІТОРИНГУ ПРОФІЛЮ ПУЧКА В ПРОМЕНЕВІЙ ТЕРАПІЇ

**В. Яковенко^{1,2}, О. Ковальчук¹, Ю. Сорокін^{1,3}, В. Пугач¹, О. Охріменко¹,
Й. Презадо⁴, І. Мартінез-Ровіра⁴**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² ТОВ Медична Клініка «Інновація», Люмїж

³ GSI, Darmstadt, Germany

⁴ Laboratoire Imagerie et Modülisation en Neurobiologie et Cancérologie,
IN2P3, Orsay, France

Основна концепція променевої терапії – опромінення пухлину високою дозою іонізуючого випромінювання, забезпечуючи при цьому поглинену дозу в навколишніх здорових тканин на толерантному рівні. Радіотерапія потребує радіаційно-стійкі детектори (прилади) для моніторингу пучка, які б забезпечували вимірювання розподілу поглинутої дози та зображення в реальному часі.

Металеві мікро-детектори (ММД) були розроблені в Інституті ядерних досліджень НАН України разом із дослідниками з MPIfK (Heidelberg) і DESY (Hamburg). Фізика і техніка ММД надають можливість застосування для вимірювання і зображення пучків заряджених частинок і синхротронного випромінювання. Надтонка товщина ММД (порядку 1µм) у поєднанні з його високою радіаційною стійкістю (біля 100 МГр) створює умови для неперервного утримування детектора у пучці. Ці переваги дають змогу створювати надійні системи радіаційного моніторингу для потреб променевої терапії.

Наша група приймає участь у спільних дослідженнях, тематикою яких є неінвазивний 3D моніторинг поглинутої дози під час променевої адронної терапії [1]. Для забезпечення точного моніторингу профілю пучка у відділі фізики високих енергій ІЯД НАН України створено (64 × 64)- канальний ХУ ММД із системою накопичення даних X-DAS. Проведено перші випробування системи на електронному прискорювачі в ІЯД НАН України, а також тестові вимірювання на медичному прискорювачі (Varian Clinac 2100C) в Медичній Клініці «Інновація». У Гейдельбергському центрі важкої йонної терапії проведено перші вимірювання системи для адронних пучків (протони, йони ¹²C та ¹⁶O). ММД продемонстрував надійну роботу при он-лайн моніторингу профілю пучка. Прокалібрована система здатна забезпечувати моніторинг дозового навантаження в режимі реального часу. Попередні результати досліджень свідчать про можливість застосування ММД у клінічній практиці.

1. Prezado Y., Montarou G., Pugatch V. et al. Towards in vivo dosimetry in ¹²C therapy: Proposal for the translational access to the “Union of Light Ions Centers in Europe”, 2012. (<http://ulice.web.cern.ch/ulice/>).

Тези доповідей з атомної енергетики

МОЖЛИВІСТЬ РАДІАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ ПРИ АВАРІЇ НА АЕС З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

І. С. Азаров¹, В. Л. Сидоренко², Ю. П. Серeda²

¹ *Національний авіаційний університет, Київ*

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

Проведення комплексного моніторингу радіаційної обстановки в реальному масштабі часу, а також прогнозування виникнення і розвитку аварій на АЕС та їхніх наслідків являє собою однією з найбільш важких проблем, які стоять перед нашою державою.

На сьогоднішній день використовуються, в силу ряду об'єктивних причин, тільки наземні мобільні засоби дистанційного моніторингу за радіаційним станом оточуючого середовища навколо АЕС. Тому становить науковий інтерес розробка методів проведення повітряної радіаційної розвідки в зоні аварії на АЕС і визначення шляхів створення вітчизняних безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які дають змогу спеціалістам збирати в режимі реального часу інформацію про час і розвиток аварійних ситуацій та правильно й об'єктивно розставити пріоритети в розробці аварійних планів.

Мобільний комплекс моніторингу радіаційної обстановки з використанням БПЛА повинен включати в себе: 1) дистанційно керований БПЛА літакового, вертолітного або квадрокоптерного типу, забезпечений блоками сенсорів (відеокамера, анемометр, датчик тиску, дозиметри, радіометрії, газоаналітичні прилади небезпечних і шкідливих газів тощо), реєстрації та передачі даних, автопілота, ручного управління та електричного живлення. Можливі варіанти змінних електронних модулів різних призначень; 2) наземний пункт управління (НПУ), що повинний мати блоки реєстрації та обробки даних, відображення індикації, управління БПЛА.

Основні технічні вимоги до проектованого БПЛА: можливість ручного дистанційного управління і виконання польоту в автоматичному режимі; радіус керованого польоту до 10 км зі швидкістю (60 - 80) км/год протягом однієї години; злітна вага БПЛА – біля 5 кг; корисне навантаження (відеоканал переднього огляду, автопілот, пристрій обробки проб, датчики і дозиметри тощо) становить (1,5 - 2,0) кг; номінальна напруга живлення знаходиться в діапазоні від 3,4 до 5,5 В; струм споживання становить не більше 200 мА.

До складу БПЛА також повинна входити GPS антена і GPS /ГЛОНАСС навігаційний модуль, який визначає географічні координати супутникової антени і передає ці дані по стандарту «NMEA», інформація від якого повинна надходити на бортовий мікропроцесор (контролер) (однокристальна мікроЕОМ з RISC архітектурою сімейства «мікроАТХ» виробництва компанії

Atmel) та «мікро-SD» карту пам'яті. Мікроконтролер є узгоджуючою ланкою між окремими блоками і управляє його функціями в цілому згідно із записаними в ППЗУ програмами. Формат збереження файлу повинний відповідати вимогам стандарту «KML», тобто збереження даних можуть бути візуалізовані в програмі «Google Earth» будь-якої актуальної версії. Сигнал формату «PPM» від приймача пульту дистанційного управління повинний надходити на порт мікроконтролера, в якому декодується програмою.

Таким чином, приведений пілотний проект БПЛА як засіб дистанційного радіаційної обстановки в реальному масштабі часу може виконувати повітряну розвідку в зоні можливої аварії АЕС, здійснювати відбір проб газів і аерозолів в різних шарах факелу аварійного викиду, проводити реєстрацію небезпечних і шкідливих факторів аварії на різних відстанях від джерела викиду з автоматичною передачею відеоінформації на НПУ з подальшою обробкою даних на персональному обчислювальному комплексі із спеціальним програмним забезпеченням для прийняття управлінських рішень.

РОЗРОБКА СЦЕНАРІЮ МОЖЛИВОГО РОЗВИТКУ АВАРІЇ НА ПРИКЛАДІ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

С. І. Азаров¹, О. В. Тарановський²

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² ТОВ «Енергориск», Київ

Наслідки події катастрофи на ЧАЕС показали, що важливим питанням керування важкими аваріями на АЕС є контроль вибухонебезпечності, оскільки вибух привів до руйнування захисних бар'єрів безпеки та значних викидів радіоактивних продуктів в навколишнє середовище. Тому необхідно виконати моделювання розвитку сценарію раннього етапу аварії з оцінкою впливу вибухонебезпечного водню на пошкодження конструкції ядерного реактора.

Різке підвищення температури конструкційних матеріалів при порушенні умов охолодження активної зони реактора РВПК-1000 привело до активної їхньої взаємодії з водяною парою, що супроводжується утворенням водню і виділення тепла.

При температурах нижче 1140 К цирконій має щільно впаковану гексагональну структуру (α -фаза), що при більш високих температурах переходить в β -фазу, яка має об'ємно-центровану кубічну структуру. У присутності кисню α -фаза цирконію існує при більш високих температурах. Таким чином під шаром діоксиду цирконію при високих температурах знаходиться шар α -цирконію, а під ним шар β -цирконію. Товщина α -підшару залежить від температури.

Кінетика пароцирконієвої реакції істотно прискорюються при температурах понад 1500 - 1700 К і супроводжуються, в основному, наступними ефектами: інтенсивне виділення тепла при високих температурах; виділення

водню; зміна фізичних властивостей матеріалу оболонки твелів, зокрема, зниження механічної міцності через окрихчування; підвищення температури плавлення від 2170 К (Zr) до 2900 К (Zr_2).

Взаємодія цирконію з парою відбувалася протягом усього часу до моменту вибуху пароводневої суміші. Кількість водню, що утворюється, дуже велика: приблизно за 30 сек утворюється більше 10^5 моль водню, тобто більше 2000 м³. Така кількість водню крім створення істотного надлишкового тиску у вільних об'ємах активної зони реактора з повітрям утворює суміш, що неодмінно вибухне, оскільки в аварійному реакторі було досить багато джерел запалювання, таких як розпечені частки палива, нагріті металоконструкції.

Достатніми умовами дефлаграції і детонації водньоутримуючої пароповітряної суміші є критичне сполучення концентрацій пального-окиснювача-флегматизаторів при певному термодинамічному стані суміші 1. При аналізі вибухонебезпечності традиційно як критерій виникнення умов дефлаграції і детонації водню використовується трикомпонентна діаграма Шапіро-Моффетте: пальне - водень, окиснювач - повітря, флегматизатор - пара. Виникнення і розвиток дефлаграційно-детонаційних процесів, що мають термохімічну природу буде залежати в основному від:

- концентрації і теплофізичних властивостей компонентів середовища;
- початкового термодинамічного стану;
- зовнішніх умов, що визначають розвиток механізмів горіння і детонації.

Розрахунковим шляхом було встановлено, що при згорянні водню виділиться енергія, що дорівнює в середньому близько 260 кДж/моль реагенту, а при вибуху -10^5 моль водню, що утворився, виділиться енергія більше $3 \cdot 10^7$ кДж, причому ця енергія буде розсіяна у виді імпульсу тривалістю в долі секунди.

Процеси дефлаграції і детонації будуть відрізнятися за максимальним значенням і тривалістю імпульсу збурювання тиску, напрямку фронту збурювання тиску і відбитої хвилі збурювання, а також за іншими визначальними параметрами. Для вибухонебезпеки водньоутримуючої пароповітряної суміші найбільш значимими механізмами горіння є FA-механізм ("Flame Acceleration") і DDT-механізм (Deflagration-to-detonation transition), що мають різні умови виникнення і наслідки 1.

Для умов вибухонебезпечності водню важлива не тільки загальна маса водню, що виділяється, але і його локальна концентрація. Найбільша локальна концентрація газоподібного водню в початкові моменти часу буде в місцях розгерметизації реакторного контуру. З огляду на високу летучість і дифузійність газоподібного водню, варто очікувати досить швидке його поширення по об'єму активної зони реактора і зниження значень локальних концентрацій у місцях розгерметизації реакторного контуру.

Визначальним фактором необхідних умов вибухонебезпечної водоутримуючої пароповітряної суміші в гермооб'ємі є співвідношення швидкості

локальної генерації газоподібного водню і швидкості поширення водню по парогазовому середовищу гермооб'єму.

Таким чином, реалізація умов вибухонебезпеки водньоутримуючої пароповітряної суміші істотно залежить від сценаріїв розгерметизації першого контуру і умов потрапляння джерел водню на поза корпусній стадії важкої аварії на ЧАЕС. Отримані з використанням даного сценарію дані вказують на першорядну роль водню при руйнуванні активної зони реактора 4-го блоку Чорнобильської АЕС і катастрофічних наслідках цієї події.

1. *Brcitung W., Royl P.* Procedure and tools for deterministic analysis and control of hydrogen behavior in severe accidents // Nuclear Engineering and Design. – 2002. - Vol. 202. - P. 249 - 268.
2. *Hydrogen Combustion Analysis of Dry-Type PWR Plant in Japan* ICONE-8412. - 2000.

**РЕАЛІЗАЦІЯ ПЕРШОГО ЕТАПУ МОДЕРНІЗАЦІЇ ШТАТНИХ
ОДНОЯРУСНИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ЗБІРОК НА ЕНЕРГОБЛОЦІ № 1
ЮЖНО-УКРАЇНСЬКОЇ АЕС З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
КОНТРОЛЮ МЕТАЛУ КОРПУСУ РЕАКТОРА
В НАДПРОЕКТНИЙ ПЕРІОД ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

**В. М. Буканов, В. В. Ількович, О. В. Гриценко,
В. Л. Дем'янін, О. Г. Васильєва**

Інститут ядерних досліджень 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 матеріалознавчий супровід експлуатації корпусу ВВЕР-1000 тільки на час проектного строку. Для забезпечення супроводу експлуатації корпусу в надпроектний період необхідна розробка і реалізація додаткової програми ЗС. Тому спеціалістами Інституту ядерних досліджень НАН України були розроблені загальні положення додаткової програми, яка базується на модернізації штатних одноярусних КЗ.

На основі результатів випробувань ЗС штатної програми та моніторингування радіаційного навантаження КР визначено орієнтовні строки початку робіт з розробки додаткових програм ЗС для ряду енергоблоків АЕС України з реакторами ВВЕР-1000. Виявилося, що найбільш критична ситуація зі строками склалася для енергоблоку № 1 Южно-Української АЕС. Тому на цьому енергоблоці розпочалися роботи з поетапної реалізації нової програми ЗС.

У рамках реалізації першого етапу на цьому енергоблоці після закінчення 28-ої паливної кампанії з реактора була вивантажена КЗ 5Л2 і доставлена в Інститут ядерних досліджень НАН України для модернізації.

З метою оптимізації схеми розміщення ЗС модернізованої КЗ 5Л2 у реакторі:

1) визначено орієнтацію збірки відносно активної зони під час опромінення в реакторі за допомогою вимірювання активності Mn^{54} в пробах металу, узятих з торців її шайб;

2) визначено орієнтацію пазів у трубах, в яких може бути розміщена збірка 5Л2.

Далі КЗ 5Л2 була модернізована, встановлена назад у реактор і зорієнтована відносно активної зони за допомогою спеціального обладнання.

Для реалізації додаткової програми ЗС на реакторі енергоблоку № 1 Южно-Української АЕС необхідно провести дозиметричний експеримент з метою визначення характеристик поля нейтронів в місцях розташування ЗС. Тому на цьому енергоблоці у реактор також було встановлено три двох'ярусні КЗ з імітаторами ЗС, які оснащені розширеним по номенклатурі і складу комплектом нейтронно-активаційних детекторів.

АНАЛІЗ ФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ В РАДІАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

І. М. Вишневський¹, В. І. Сахно¹, С. І. Азаров¹, В. М. Євланов²

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки, Київ*

В останні роки спостерігається інтенсивне зростання радіаційних технологій в різноманітні області промислової індустрії і медицини. Цей процес супроводжується збільшенням кількості промислових радіаційних установок, розширенням асортименту виробів, що обробляються іонізуючим випромінюванням, впровадженням нових способів і методів радіаційної обробки. Пучки електронів (eV), гальмівне випромінювання (X-ray) і гамма-випромінювання (Y-ray) від радіонуклідних джерел широко використовуються в різних промислових радіаційно-технологічних процесах (РТП) [1].

До таких процесів відносяться стерилізація медичних препаратів та інструментарію, радіаційна полімеризація і вулканізація, радіаційна обробка сільськогосподарської продукції та дезінсекція зерна, пастеризація і стерилізація харчових продуктів, розробка нових матеріалів з унікальними властивостями, очистка стокових вод і топочних газів, митний контроль, дефектоскопія тощо.

Для моделювання процесу опромінення мішеней пучками електронів, гальмівним і гамма-випромінюваннями використовують різні розрахункові методи, такі як [2, 3]:

- Transport Codes (FLURA, GEANT, SHEILD, GETM et al.);
- Codes (ACAPE, QAD /ORNL/RSICC/NEA, SAS-3, TORT);
- Спеціалізовані програмні пакети (MCNP, ITS, EGS тощо).

Наведено програмні пакети транспорту різних видів іонізуючих випромінювань через речовину. Вони є середовищем розробки, яке можна використовувати для створення комп'ютерних програм під вирішення різних конкретних ядерно-фізичних задач, у тому числі в галузі ядерно-радіаційних технологій. Однак, з цими кодами можуть працювати тільки колективи професіоналів, до яких входять фізики-фахівці в галузі транспортування іонізуючого випромінювання через речовину, математики/програмісти.

Слід зазначити, що значущість фізичного, математичного та комп'ютерного моделювання при вирішенні практичних задач у радіаційних технологіях, відмічена в міжнародних стандартах [4, 5].

У зв'язку з цим необхідно розробити і створити пакет спеціалізованих прикладних програм моделювання транспортування електронів, гальмівного випромінювання і гамма квантів через гомогенні і гетерогенні матеріали і для вирішення практичних завдань у промислових радіаційних технологіях.

1. *Томчай С.П., Сахно В.И., Вишневский И.Н. и др.* Радиационная установка с ускорителем электронов ИЯИ НАН Украины // Атомная энергия. - 2003. - Т. 94, вып. 2. - С. 163 - 166.
2. *Beskrovnaia L., et al.* Verification of Monte Carlo Transport Codes FLUKA, GEANT 4 and SHEILD for Radiation Protection Purposes at Relativistic Heavy-ion Accelerators // Nucl. Instr. Meth. B. - 2008. - Vol. 266. - P. 4058.
3. *Nuclear Energy Agency Data Base.* The abstract of the computer programs [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.nea.fr/html/dbprog>
4. *ASTM Standard E2322-02* - Standard Guide for Selection and Use of Mathematical Methods for Calculation Absorbed Dose in Radiation Processing Applications, annual Book of ASTM Standards 12.2002.
5. *ISO 11137-3:2006*, Sterilization of health care products - RADIATION- Part 3: Guidance on dosimetric aspects / ISO/ Case postal 56, CH-1211, Geneva, Switzerland.

ПРОБЛЕМИ БЕЗПЕКИ ВНУТРІШНІХ ЯДЕРНИХ СИСТЕМ ЯФУ

І. М. Вишневський¹, С. І. Азаров¹, В. М. Євланов²

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки, Київ*

В останні роки спостерігається сплеск активності неконтрольованого розповсюдження ядерних і радіоактивних матеріалів (ЯМ і РМ). Україна у лютому 2007 р. приєдналась до глобальної ініціативи боротьби з актами ядерного тероризму, спрямованої перш за все на попередження придбання, перевезення або застосування у терористичних цілях ЯМ і РМ, а також на запобі-

гання протиправних дій щодо ядерно-фізичних установ (ЯФУ). Тому, на даний період часу, особливо актуально постають проблеми, пов'язані з розробкою сучасних технічних засобів захисту ЯФУ. Ці засоби захисту повинні задовольняти науково обґрунтованим вимогам по забезпеченню належного рівня безпеки ЯФУ, бути надійними в експлуатації і відповідати необхідному рівню захисту об'єктів підвищеної небезпеки.

Для підвищення ефективності спостереження за несанкціонованим розповсюдженням ЯМ і РМ в теперішній час використовуються різноманітні по призначенню інтегровані системи автоматизованого контролю і спостереження (САКС). При виборі САКС необхідно дотримуватись основних принципів організації охорони ЯФУ, які зводяться до створення універсального комплексу інженерно-технічних засобів охорони (КІТЗО). Перший рубіж охорони включає в себе зовнішній периметр (санітарно-захисну зону), другий – приміщення, де експлуатуються ЯФУ, третій – внутрішній об'єм приміщення (сховища, контейнери з ЯМ і РМ).

В процесі розробки проекту САКС для захисту ЯФУ нами були запропоновані вдосконалені методи і моделі для рішення задач оптимального вибору системи контролю і управління доступом для конкретного об'єкту, що охороняється з урахуванням вимог, які пред'являються за час експлуатації засобів безпеки. Наведені моделі і методи базуються на використанні класичних методів адитивної функції згортки Байеса - Лапласа, матриці парних порівнянь, методу на базі створення оптимальної множини Парето при багатьох критеріях, критеріях Вальда.

Важливими елементами САКС є датчики та лінії зв'язку. Їхня надійність знижується під впливом радіації, кліматичних факторів та електромагнітних перешкод. Хибні спрацювання апаратури контролю параметрів ЯФУ можуть бути досліджені за допомогою різноманітних критеріїв (максимальної правдоподібності, ідеального спостерігача тощо). Разом з тим постає необхідність розвитку програмних засобів і проведення експериментальних досліджень.

З урахуванням сучасних вимог до безпеки внутрішніх ядерних систем будуть проведені дослідження на ЯФУ ІЯД (дослідницькому ядерному реакторі, циклотронах У -240, У-120 та установці «Електроніка-005») з використанням як програмних продуктів так і експериментів відповідно до розроблених програм надійності та впливу зовнішніх факторів для САКС.

ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТОРА ВВР-М ПІСЛЯ КОНВЕРСІЇ НА НИЗЬКОЗБАГАЧЕНЕ ПАЛИВО

П. М. Ворона

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У рамках міжнародної ініціативи по нерозповсюдженню ядерної зброї здійснено переведення (конверсію) дослідницького реактора ВВР-М з палива на основі високозбагаченого урану (ВЗУ - паливо: 36 % по ^{235}U) на паливо з

низькозбагаченим ураном (НЗУ- паливо: 19,75 % по ^{235}U). Конверсію реалізовано на основі нових тепловиділяючих збірок (ТВЗ) типу ВВР-М2 з НЗУ - паливом російського виробництва.

При конверсії реактора на НЗУ - паливо важливим є збереження його продуктивності як джерела нейтронів для багатоцільового використання. Продуктивність дослідницького реактора прийнято визначати як щільність потоку нейтронів в усіх експериментальних пристроях (ЕП), обладнаних в реакторі для роботи з нейтронами.

Проектні ЕП в реакторі ВВР-М включають канали двох типів: 1) горизонтальні експериментальні канали (ГЕК) для виводу пучків нейтронів в експериментальний зал реактора – 10 каналів; 2) вертикальні експериментальні канали (ВЕК) для опроміньєнь досліджуваних матеріалів у локальних полях теплових нейтронів усередині реактора, зокрема: а) у берилієвому відбивачі – 13 каналів; б) у графітовій призмі теплової колони – 4 канали.

Розраховані величини нейтронних потоків у експериментальних пристроях реактора при конверсії на НЗУ – паливо та двох варіантах компоновки АКЗ

Збагачення палива по ^{235}U , %	Щільність нейтронного потоку, 10^9 нейтрон \cdot $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$										ВЕК у АКЗ, розмір (по кількості видалених ТВЗ)
	ГЕК, номери виведених пучків нейтронів										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
36	АКЗ однорідна (без експериментальних пристроїв)										
	3,32	4,96	3,07	4,54	3,19	1,30	1,94	1,20	4,18	0,935	
19,75	3,20	4,73	2,97	4,47	3,06	1,24	1,82	1,16	4,05	0,876	1 ТВЗ
	АКЗ робоча (з експериментальними пристроями)										
	3,21	5,25	3,44	5,08	3,53	1,47	2,15	1,34	4,49	0,61	$7,4 \cdot 10^4$

Додаткові ЕП у АКЗ реактора монтуються безпосередньо на місці видалених ТВЗ для опроміньєнь досліджуваних матеріалів у локальних нейтронних полях необхідного спектрального складу відповідно до потреб конкретних експериментів. В реакторі ВВР-М використовуються ЕП наступних розмірів (по кількості видалених ТВЗ): а) ВЕК на 1ТВЗ – матеріалознавчі канали, спеціальні ампули для накопичення радіоактивних ізотопів; б) ВЕК на 7, 12 та 19 ТВЗ – нейтронні пастки (водні порожнини) теплових нейтронів.

Виходячи з потреб перспективного планування та завчасного вибору оптимальних нейтронно-фізичних умов для проведення різнопланових експериментів на реакторі (одночасно на ГЕК та БЕК), запропоновано оптимальний варіант компоновки ЕП в АКЗ реактора, проведено розрахунки потоків нейтронів в ЕП до та після конверсії реактора на НЗУ- паливо (див. табл.). Розрахунки виконано методом статистичних випробувань (метод Монте-Карло) з використанням комп'ютерного коду MCNP-4C.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПАЛИВА PWR І BWR

В. В. Гальченко

ТОВ «Інститут підтримки експлуатації АЕС», Київ

При проведенні різноманітних розрахунків, пов'язаних з дослідженням і прогнозуванням поведінки палива, важливу роль грають питання коректності визначення ізотопного складу палива, та його зміна в процесі вигорання та витримки. Єдиною можливістю покращувати такі розрахункові методики є порівняння результатів розрахунків з наявними експериментальними даними.

Наявність досить детальної інформації що до опромінення і витримки для експериментальних зразків палива BWR і PWR дало можливість провести деяку верифікацію розрахункової залежності що до визначення концентрації ^{137}Cs , та протестувати можливість використання залежності для визначення деяких характеристик ВТВЗ, необхідних для подальших розрахунків ізотопного складу.

У роботі наведено порівняльний аналіз розрахунків ізотопного складу для палива PWR і BWR з використанням модулів SAS2H, ORIGEN, STARBUCS програмного комплексу SCALE5. Було проаналізовано близько п'ятдесяти експериментальних зразків для чотирьох різних реакторних установок для палива з різними характеристиками. Зроблено деякі висновки що до можливостей використання залежності визначення концентрації ^{137}Cs , та процедури підготовки файлів вхідних даних і методики проведення розрахунків для визначення ізотопного складу відпрацьованого ядерного палива.

РОЗКИД ФЛЮЕНСУ ДЛЯ ЗРАЗКІВ-СВІДКІВ, ЯКІ ВИЗНАЧАЮТЬ КРИТИЧНУ ТЕМПЕРАТУРУ КРИХКОСТІ

М. Г. Голяк, Л. І. Чирко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

На енергоблоках АЕС України виконується штатна програма зразків-свідків, мета якої – відстеження змін механічних властивостей матеріалів корпусу реакторів в процесі всього періоду експлуатації. Одним з критеріїв

надійності отриманих результатів є однорідність нейтронного опромінення ЗС. Типова програма контролю металу КР за зразками-свідками вимагає, щоб накопичені флюенси зразками, які випробовуються на ударний вигин для визначення критичної температури крихкості T_{kF} , не відрізнялися від середнього по групі значення флюенсу більше, ніж на $\pm 10\%$. Для випробувань група ЗС має складатися з не менш як з 12 зразків. Як показує досвід, невдала конструкція контейнерних збірок із зразками-свідками та розміщення КЗ вище активної зони в області високого градієнта нейтронного потоку призводить до великого розкиду флюенса в групах зразків, призначених для визначення радіаційного зсуву критичної температури крихкості.

Застосування технології реконструкції, яка останнім часом використовується в ІЯД НАНУ в рамках виконання робіт з дослідження ЗС, дає можливість вирішити проблему однорідності опромінення ЗС. Реконструкція по суті являє собою відновлення стандартних зразків Шарпі і COD з половинок випробуваних ОС шляхом зварювання вставок з хвостовиками і нанесення концентраторів напружень. Але досить часто і вона не дає можливості відібрати ЗС за необхідною однорідністю нейтронного опромінення особливо при великих флюенсах.

В зв'язку з тим, що значення флюенса нейтронів в рівнянні для ΔT_F входить з показником степеню 1/3, то можна очікувати, що погрішність визначення ΔT_F буде приблизно втричі нижче, ніж погрішність визначення флюенса.

З метою визначення впливу розкиду значень флюенса нейтронів, накопичених зразками-свідками, призначеними для визначення зсуву критичної температури крихкості, на точність визначення T_{kF} проведено аналіз, який ґрунтується на нормативних значеннях коефіцієнту окрихчування для металу зварного шва $A_F = 20\text{ }^\circ\text{C}$ і температури у вихідному стані $T_{K0} = 0\text{ }^\circ\text{C}$. Показано, що при розкиді значень флюенса F в межах $\pm 15\%$ точність визначення критичної температури крихкості перебуває в межах $\pm 5\%$, що забезпечує вимогу Типової програми, згідно якої при обробці результатів випробувань ЗС оцінка довірчих інтервалів проводиться для вірогідності 95%.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОДУ SERPENT

**В. І. Гулік^{1,2}, В. М. Павлович², В. М. Хотяїнцев³,
О. М. Хотяїнцева², А. Н. Ткаczyk¹**

¹ *University of Tartu, Tartu, Estonia*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

³ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

Подальший розвиток ядерної енергетики не можливий без впровадження нових типів ядерних реакторів. Такі реактори мають відповідати усім вимогам безпеки, використовувати різні види ядерного палива, а також мати змогу кон-

курувати з іншими джерелами енергії в економічному плані. Реактори на хвилі ядерних поділів та підкритичні ядерні реактори, що керуються зовнішніми джерелами нейтронів потенційно можуть задовольняти вищенаведеним вимогам.

Теоретично реактори на хвилі ядерних поділів мають працювати у режимі саморегулювання критичності, що забезпечує безпечну роботу таких реакторів. Вони також здатні працювати на природному урані, збідненому урані та торієвому паливі. Підкритичні ядерні системи працюють при $K_{\text{эф}} = 0,9 - 0,97$, та можуть швидко регулюватись зовнішнім джерелом нейтронів. Вони також здатні переробляти радіоактивні відходи від традиційних ядерних реакторів шляхом трансмутації.

Для дослідження нейтронно-фізичних властивостей перспективних ядерних реакторів використовуються різноманітні програми моделювання ядерних процесів. Такі програми можна розділити на два основні типи: 1. Детерміністичні коди, що в своїй роботі використовують детерміністичні методи розв'язку рівняння переносу нейтронів та 2. Коди Монте-Карло, що в своїй роботі використовують стохастичні методи (Наприклад, Метод Монте Карло). Детерміністичні коди мають високу швидкість роботи, але при цьому допускається досить висока похибка в результатах та неможливість працювати із складною геометрією ядерних реакторів. Основний недолік методу Монте Карло – значний комп'ютерний ресурс, який потрібен для досягнення прийнятних результатів при моделюванні ядерних реакторів. Із значним розвитком комп'ютерних технологій, нейтронно-фізичні програми розрахунку ядерних реакторів на основі методу Монте Карло завойовують все більшу популярність. Найбільш розповсюджений Монте Карло код – це код MCNP, що був розроблений в Лос-Аламоській національній лабораторії (США). З 2004 р. у VTT Technical Research Centre (Фінляндія) почав розроблятися новий Монте-Карло код Serpent, що має ряд переваг перед кодом MCNP.

У презентації будуть представлені основні результати моделювання хвильових та підкритичних реакторів за допомогою коду Serpent.

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ НА РАЭС-3

В. Л. Демехин, В. Н. Буканов, Е. Г. Васильева, А. М. Пугач, С. М. Пугач

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Осуществление контроля за состоянием металла корпуса реактора (КР) ВВЭР-1000 в течение всего назначенного срока службы, а также в период продленного срока службы является одним из основных условий обеспечения надежной и безопасной эксплуатации реактора и реакторной установки в целом. Важным источником информации о состоянии металла КР является программа образцов-свидетелей (ОС).

Для осуществления контроля состояния металла КР в период продленного срока службы в соответствии с требованиями Типовой программы контроля

свойств металла корпусов реакторов ВВЭР-1000 по образцам-свидетелям ПМ-Т.0.03.120-08 (ГП НАЭК «Энергоатом», 2008) необходима разработка и реализация дополнительных программ ОС, которые обеспечивали бы опережающее облучение образцов по сравнению с КР.

Важным этапом разработки дополнительной программы ОС для конкретного реактора ВВЭР-1000 должно быть проведение дозиметрического эксперимента, целью которого является получение надежной информации об условиях облучения ОС в рассматриваемом реакторе.

Реализация эксперимента требует решения ряда научно-технических задач, например:

- разработать схему эксперимента, включая схему расположения нейтронно-активационных детекторов (НАД);
- разработать документацию по изготовлению контейнерных сборок (КС) и установке их на штатные места;
- разработать методику определения ориентации труб, предназначенных для установки КС, по отношению к центральной оси реактора;
- изготовить КС, укомплектовать их детекторами и установить их в реактор для облучения;
- выгрузить КС из реактора после облучения, перевезти их в ИЯИ и разобрать контейнеры с НАД в защитных камерах;
- выполнить спектрометрические измерения облученных детекторов.

Первый метрологический эксперимент был реализован на энергоблоке № 3 Ровенской АЭС, где 3 сборки, содержащие около 300 НАД из чистого ниобия, железа и меди в 42 контейнерах, были установлены и облучены в течение одной топливной кампании. В результате были получены экспериментальные данные о характеристиках поля нейтронов, необходимые для разработки дополнительной программы ОС.

В настоящее время аналогичный эксперимент проводится на энергоблоке № 1 ЮУАЭС.

ПЕРЕРІЗ ВЗАЄМОДІЇ ЯДЕР ^{232}Th З ДЕЙТРОНАМИ ЕНЕРГІЇ 4,4 ГеВ

**Ю. В. Кіш^{1,2}, І. Адам^{1,3}, І. І. Гайсак², Й. Врзалова^{1,3}, Л. Заворка¹,
К. Катовскі⁴, А. А. Солнишкін¹, С. І. Тютюнников¹, Ж. Х. Хушваков¹,
В. М. Цупко-Ситніков¹, В. В. Чілап⁵**

¹ Об'єднаний інститут ядерних досліджень, Дубна, Росія

² Ужгородський національний університет, Ужгород

³ Інститут ядерної фізики Чеської академії наук, Ржеж, Чехія

⁴ Технічний університет Брно, Брно, Чехія

⁵ Центр фізико-технічних проєктів «Атоменергомаши», Москва, Росія

Взірці ^{232}Th з алюмінієвою фольгою опромінювались дейтронами з енергією 4,4 ГеВ на Нуклотроні ОІЯД. Це дозволяло визначити інтегральний потік

дейтронів і форму пучка, використовуючи методику активації алюмінієвої фольги в реакції $^{27}\text{Al}(d, 3p2n)^{24}\text{Na}$. Інтеграл склав величину $5,25(46) \cdot 10^{11}$ за 2420 хв опромінення. Маса взірця становила 0,2067 г і площа 1,3225 см². Після опромінення взірці транспортувались в ЛЯП на комплекс ЯСНАПП-2, де вимірювались γ -спектри з допомогою HPGe-детектора фірми Canberra (ефективність 18%, роздільна здатність 1,9 кеВ на лінії 1332 кеВ ^{60}Co).

Виміри γ -спектрів проводились декілька разів на протязі різних часових інтервалів. Ідентифікація ядер, утворених в результаті реакцій дейтронів з ^{232}Th проводилась з використанням таблиць ізотопів та програмних засобів.

Послідовно визначалися положення піків, площа під піком, проводилось видалення фонових ліній, корекція ефективності детектора та нелінійності апаратури, після чого проводилась ідентифікація ізотопів, виявлених в спектрах, ідентифікація продуктів по періодам напіврозпаду, визначення швидкостей реакцій. Також вводилися поправки на гамма-збіг.

Отримані експериментальні дані для перерізу утворення радіоактивних ізотопів порівнювались з розрахунками по програмі MCNPX 2.7 [1]. Для більшості ізотопів спостерігається хороше узгодження експериментальних та розрахункових даних, але для невеликого числа ізотопів різниця експерименту та розрахунків сягає порядку.

1. *Pelowitz D.B.* // LA-CP-11-00438, LANL, 2011.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОИЗОТОПНОГО СОСТАВА АКТИВНОСТИ СПЕЦИЗДЕЛИЙ ЧАЭС

**А. М. Максименко¹, М. Д. Бондарьков¹, В. Н. Глыгало¹,
В. Г. Песков², А. П. Цивун²**

¹ ГНИУ «Чернобыльский центр по проблемам ядерной безопасности, радиоактивных отходов и радиоекологии» ДАЗВ Украины, Славутич

² ГСП «Чернобыльская атомная электростанция» ДАЗВ Украины, Славутич

Целью работы было исследование радиационных характеристик специзделий СИ ЧАЭС, обусловленных нейтронной активацией, разработка методики определения границы раздела активированной и неактивированной частей СИ, обоснование вариантов обращения со СИ.

Результаты проведенных исследований СИ с помощью β - γ -спектрометрических и радиохимических методов позволили установить корреляционные соотношения между трудными измеримыми радионуклидами ^{55}Fe , ^{59}Ni , ^{63}Ni , легкоизмеримыми ^{137}Cs и ^{60}Co , а также мощностью экспозиционной дозы (МЭД). Показано, что предусмотренные для узла сканирования линии измельчения длинномеров (ЛИД) ЧАЭС широкодиапазонные блоки детектирования (БД) STTC производства фирмы CANBERRA позволят выполнять измерения удельной активности ключевого радионуклида в диапазоне от 300

до $9 - 10^9$ Бк/г, что позволит проводить предварительную сортировку ТРО по трем категориям.

Вышесказанное позволило обосновать и установить числовое значение критерия наличия/отсутствия наведенной активности в материале СИ; разработать «Методику выполнения измерений удельной активности радионуклидов активационной природы в конструкционном материалах СИ. Определение границ наведенной активности»; Определить способы дезактивации с целью освобождения СИ от регулирующего контроля или перевода этих СИ в другую категорию.

Кроме того в данной работе предложены методы выявления негерметичных стержней СУЗ, включая диагностику наличия и оценку количества воды в скрытой полости, разработаны методы удаления воды из скрытой полости, и установлена работоспособность предложенных методов путем необходимых лабораторных и натурных исследований.

ВАЛІДАЦІЯ БІБЛІОТЕК ЯДЕРНИХ ДАНИХ ДЛЯ КОДУ WIMSD5B

А. А. Мішин¹, В. В. Гальченко¹, Н. М. Рабченко²

¹ *ТОВ «Інститут підтримки експлуатації АЕС», Київ*

² *Київський науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут «Енергопроект», Київ*

Робота містить порівняльний аналіз розрахунків активної зони ВВЕР-1000 за допомогою коду DYN3D з використанням константного забезпечення, яке було підготовлено кодом WIMSD5B із застосуванням різних бібліотек ядерних даних.

Програмний продукт DYN3D призначено для розрахунку стаціонарних та аварійних режимів реакторів ВВЕР у тривимірній гексагональній геометрії. Структурно DYN3D складається з блоку нейтронної кінетики та теплогідродинаміки, при чому останній розраховує теплогідродинамічні параметри лише в межах активної зони реактора.

Для виконання розрахунків DYN3D потребує задання в якості вхідних даних набору нейтронно-фізичних констант для кожного типу ТВЗ, наявного в паливному завантаженні – в розрахунковому діапазоні глибин вигорання необхідно задати референсні значення нейтронно-фізичних параметрів, та апроксимаційні коефіцієнти для моделювання їхньої залежності від робочих параметрів реакторної установки.

Підготовку малогрупових констант для палива ВВЕР-1000, за допомогою коду WIMSD5B було проведено із використанням бібліотек ENDFB-6, ENDFB-7, IAEA, JEF2.2, JEFF3.1, JENDL3, розроблених за підтримки МАГАТЕ в рамках проекту модернізації бібліотек WIMS. З використанням отриманих даних було проведено розрахунок 1-7 паливних кампаній енергоблоку № 2 ХАЕС, і, таким чином, отримано окремий розподіл глибин вигорання

ня на початок 8-ї паливної кампанії для кожної бібліотеки з урахуванням перевантажень. Було отримано поля енерговиділення впродовж роботи 8-го паливного завантаження із використанням власного набору нейтронно-фізичних констант та початкового розподілу вигоряння для кожної з досліджуваних бібліотек. Результати даних по полях енерговиділення та тривалості кампанії, отриманих з використанням різних бібліотек ядерних даних порівнювалися із результатами вимірювань на енергоблоці засвідчують, що дані бібліотеки WL'86 добре корелюють з емпіричними даними, а серед бібліотек, випущених в рамках проекту модернізації якістю результатів відзначається JEF2.2.

МЕТОД МИНИМИЗАЦИИ ВЕРОЯТНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ ВВЭР-1000 С УЧЕТОМ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В ТВС

С. Н. Пельх¹, М. В. Максимов¹, М. В. Никольский¹, С. Д. Рябчиков²

¹ Одесский национальный политехнический университет, Одесса

² Харьковский физико-технический институт, Харьков

Предложена модель учета неравномерности энерговыделения среди твэлов в ТВС ВВЭР-1000 путем условного разбиения твэлов каждой ТВС на приведенные группы по уровню энерговыделения.

Для каждого года четырехлетнего топливного цикла каждой ТВС, для каждой из четырех приведенных групп твэлов, в каждом из условно выделенных аксиальных сегментов усредненного по приведенной группе твэла, рассчитаны коэффициенты относительного удельного объемного энерговыделения, что позволило найти среднюю поврежденность оболочек твэлов для каждой из приведенных групп твэлов.

Разработан метод расчета вероятности накопления поврежденности оболочек твэлов ВВЭР-1000 с учетом неравномерности энерговыделения в ТВС, позволяющий более точно прогнозировать надежность оболочек твэлов в маневренных режимах эксплуатации реактора по сравнению с методом расчета вероятности накопления поврежденности оболочки усредненного по ТВС твэла, а также более корректно выполнять минимизацию вероятности накопления поврежденности оболочек твэлов.

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ КРИХКОСТІ ОПРОМІНЕНИХ МАТЕРІАЛІВ КОРПУСІВ РЕАКТОРІВ ВВЕР-1000

В. М. Ревка, Л. І. Чирко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Питання матеріалознавчого супроводу займають важливе місце у комплексі заходів по забезпеченню безпечної експлуатації АЕС протягом всього терміну

служби. В першу чергу це стосується корпусів ядерних реакторів (КР), які перебувають під впливом експлуатаційних факторів, що призводять до старіння матеріалу. Згідно вимогам правил та норм в атомній енергетиці необхідно контролювати зміни механічних властивостей металу КР, використовуючи, в тому числі руйнівні методи випробувань в рамках програми зразків-свідків.

Одним із параметрів, що характеризує схильність металу до крихкого руйнування, є критична температура крихкості T_K . Під час експлуатації температура T_K поступово підвищується під впливом опромінення та може досягти максимально допустимого значення, вище якого умови крихкої міцності КР не виконуються і подальша експлуатація енергоблоку не дозволяється без відповідного обґрунтування.

Для оцінки величини T_K , наприклад для проектного флюенсу нейтронів, необхідно знати критичну температуру крихкості у вихідному стані та її зсув ΔT_K внаслідок опромінення в процесі експлуатації. Для забезпечення консервативної оцінки використовують додатковий температурний запас M , що враховує невизначеності величини ΔT_K .

У даному дослідженні проведено аналіз даних зразків-свідків металу КР ВВЕР-1000 з метою визначення температурного запасу M . Для аналізу були використані результати випробувань на ударний вигин зразків-свідків типу Шарпі для основного металу (29 експериментальних точок) та металу зварних швів (44 точки) корпусів реакторів АЕС України. Було показано, що розкид даних для залежності ΔT_K від флюенсу нейтронів для досліджуваних матеріалів можна охарактеризувати стандартним відхиленням 5°C . Отже, в якості температурного запасу M може бути використане подвійне стандартне відхилення 10°C .

Додатково проведено статистичний аналіз даних для отримання кореляційного співвідношення між критичними температурами крихкості T_{K0} (паспорт корпусу реактора) та T_{KI} (результати випробувань зразків-свідків) матеріалів КР ВВЕР-1000 у неопроміненому стані. Аналіз показав, що в середньому значення T_{K0} більше на 15°C , ніж температура T_{KI} . Отриманий взаємозв'язок є лінійним із коефіцієнтом кореляції $0,95$ та стандартним відхиленням 6°C . В рамках цього дослідження запропонована формула для оцінки температури T_{K0} , що може бути використана для визначення із необхідним рівнем консерватизму критичної температури крихкості матеріалів при обґрунтуванні безпечної експлуатації корпусу реактора ВВЕР-1000.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ ПРИ ПОМОЩИ ТЕОРИИ ПЕРКОЛЯЦИИ

В. В. Рязанов

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Для нейтронных процессов в ядерном реакторе наиболее важными характеристиками являются вероятность перколяции, вероятность возникновения

самоподдерживающейся цепной реакции, и значения порога перколяции, пропорционального коэффициенту размножения нейтронов. Если интенсивность гибели нейтрона за время $\Delta t \rightarrow 0$ (поглощение средой или уход из системы) обозначить $\lambda_c \Delta t + 0(\Delta t)$, а интенсивность деления ядра нейтроном $\lambda_f \Delta t + 0(\Delta t)$ ($\lambda_f = v \Sigma_f$, v - скорость нейтронов, Σ_f - макроскопическое сечение деления), то вероятность деления ядра нейтроном равна $c = \lambda_f / (\lambda_f + \lambda_c)^{-1}$. Эффективный коэффициент размножения нейтронов $k_{эф} = c \bar{V}$, где \bar{V} - математическое ожидание числа вторичных нейтронов в одном акте деления. Число $c_c = \inf\{c: P(c) > 0\}$ называется порогом перколяции, а также критической вероятностью, при которой впервые возникает кластер, простирающийся по всей решетке. Здесь $P(c) = \lim_{n \rightarrow \infty} P(n, c)$, где $P(n, c)$ - вероятность перколяции при n поколениях нейтронов и вероятности деления ядра нейтроном c . Будем считать, что и для конечных значений n существует порог перколяции $c_{cn} = \inf\{c_n: P(n, c) > 0\}$.

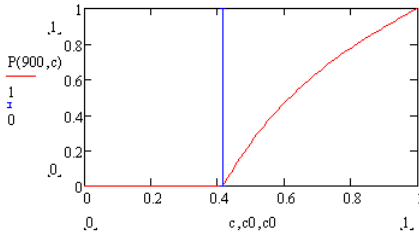


Рис. 1.

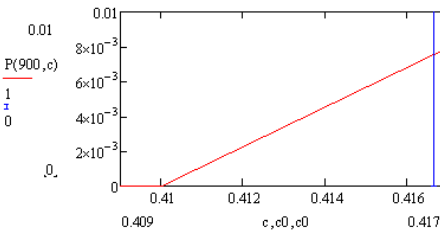


Рис. 2.

На рис.1 показано поведение функции $P(900, c)$. Вертикальная линия показывает значение $c_c = \bar{V}^{-1}$ при $n \rightarrow \infty$. Так как система конечна, число поколений $n = 900$, то критическая вероятность не равна $c_c = \bar{V}^{-1}$. Это видно из рис.2, где показан более крупный масштаб рис. 1, диапазон изменения величины c от 0,409 до 0,417. Из рис. 2 видно, что $c_{c900} \approx 0,41 < \bar{V}^{-1}$. И вероятность возникновения цепной реакции не равна нулю в интервале 0,41, 0,417. Таким образом, важную роль на этой стадии играет время, число поколений нейтронов n . Так как

эффективный коэффициент размножения равен $k_{эф} = c \bar{V}$, то для n -го поколения нейтронов $k_{эф n} = c_n \bar{V}$, для $c_n = c_{cn}$, $k_{эф n} c < 1$. В процессе развития цепной реакции $k_{эф}$ растет от 0 до 1. Можно оценить время, за которое значения $c_0 = c_{c\infty}$ достигают какого-то заданного уровня. Такова картина эволюции, развития во времени самоподдерживающейся цепной реакции. Эти результаты могут оказаться важными в стадии пуска реактора, когда поглощающие стержни изменяют величину вероятности c и, как видно из рис. 2, снижена безопасность реактора.

УДОСКОНАЛЕНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАНЬ ЗМІШАНИХ В-, Г-ПОЛІВ У РЕАКЦІЙНІЙ КАМЕРІ РАДІАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ІЯД НАН УКРАЇНИ

**В. І. Сахно, Т. В. Ковалінська, І. М. Вишневський,
А. Г. Зелінський, І. А. Остапенко**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Викладено результати удосконалення радіаційної установки ІЯД для здійснення кваліфікаційних випробувань обладнання АЕС. Метою роботи було удосконалення системи радіаційних вимірювань і вирішення проблеми метрології змішаних радіаційних полів з певним співвідношенням β - і γ -компоненти. Завданням було створення нових датчиків електронної і гама-компоненти радіаційного поля, придатних до використання на радіаційній установці ІЯД при функціональних і кваліфікаційних випробуваннях.

Удосконалення каналу вимірювань β -компоненти здійснено шляхом розробки широко-апертурного циліндра Фарадея апертурою 10 см і кутом зору 110 градусів. Для його використання удосконалено структуру каналу відображення і реєстрації інформації. Діюча система доповнена каналом цифрової обробки і відображення інформації на базі стандартизованої комп'ютерної системи PC-lab.

Модернізація конструкції приладу для вимірювань γ -складової. Досліджено особливості його роботи і знайдено оптимальні режими його роботи для вимірювання інтенсивності радіаційного поля при кваліфікаційних випробуваннях в реакційній камері установки. Отримано сімейство його вольтамперних характеристик в холостому режимі роботи (без радіаційного поля) та в його присутності при різній інтенсивності і співвідношеннях β - і γ -компоненти. За допомогою удосконаленого приладу в реакційній камері установки досліджені особливості формування змішаного радіаційного поля в межах струму первинних електронів до $I_{\text{дд}} = 0,4$ А та його конверсії на вольфрамовій мішені з коефіцієнтом перекриття 0,5. За результатами було сформоване змішане поле з потужністю 4,5 кГр/год, що відповідає нормативному рівню для кваліфікаційних випробувань обладнання АЕС.

ТЕХНІКА ТА МЕТОДИ РАДІАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ У ДОСЛІДЖЕННЯХ НА ПУЧКАХ ЕЛЕКТРОНІВ 4 МеВ РАДІАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ІЯД

**В. І. Сахно, Т. В. Ковалінська, І. М. Вишневський,
А. Г. Зелінський, І. А. Остапенко**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Обговорюються результати удосконалення засобів технологічної дозиметрії на промисловому прискорювачі електронів 4 МеВ з пучком потужністю

більше 5 кВт. Метою була модернізація системи радіаційних вимірювань на основі ядерної та промислової електроніки.

Удосконалена система складається з 5-ти паралельних каналів. Основні канали системи базуються на датчиках спеціальної розробки – зовнішньому індукційному датчику струму, прозорому для пучка, та циліндра Фарадея з суміщеними функціями вимірювання щільності пучка електронів та потужності дози. Обробка сигналів здійснюється стандартними промисловими електронними вимірювальними приладами і комп'ютерним вимірювальним комплексом РС-лаб. Обговорюються параметри датчиків та електронних засобів.

Оригінальним елементом системи є електронний прилад, створений в секторі радіаційних технологій для оперативного контролю енергетичних характеристик пучка. Прилад аналогів в Україні немає. Він одночасно надає інформацію про середню енергію та енергетичний склад електронів в пучку. Робочий діапазон визначення енергії 2 - 10 МеВ. Енергетичний розподіл в пучку відображається з сіткою 1 МеВ. Прилад працездатний при будь-якій конфігурації радіаційного поля з інтенсивністю потоку електронів до 10 нА/см² в перерізі до 80 × 80 см.

Удосконалену систему радіаційних вимірювань введено до експлуатації. Разом з автономним радіометричним приладом, створеним для моніторингу радіаційної обстановки в приміщенні прискорювача, ці новації забезпечують сучасні експериментальні можливості установки. Наводяться параметри системи радіаційних вимірювань, які можуть бути корисні для науковців та технологів при плануванні експериментальних робіт на установці ІЯД. Обговорюється досвід її використання для отримання нових наукових даних про поглинання енергії електронів при опроміненні складних органічних та мінеральних матеріалів та їхніх композицій.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ПРИСКОРЮВАЧА 0,5 МеВ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО РАДІАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Викладаються результати розробки прискорювача електронів на енергію 400 кеВ з метою удосконалення радіаційного дослідницького комплексу ІЯД НАН України. Наводяться матеріали техніко-економічного обґрунтування нового прискорювача та аналіз перспективних напрямків його застосування. Аналізується досвід використання таких прискорювачів в розвинутих країнах світу.

Обговорюються проблеми проектування. Обґрунтовується оптимальна структура прискорювача прямої дії, де електрони прискорюються високим потенціалом. Такий прискорювач забезпечує плавне і контрольоване регулю-

вання струму пучка і його енергії, підвищену стабільність, високі радіаційні потужності. Для його проектування головною проблемою є джерела високої напруги та системи випуску пучка в повітря.

Викладено проблеми розробки силового джерела напруги 400 - 500 кВ та обґрунтовується структура такого пристрою для перетворення енергії мережі змінного струму 50 Гц в постійний струм високої напруги. Обговорюються особливості вибраної конструкції вузла виводу пучка з прискорювача в атмосферу через тонку фольгу двома паралельними вікнами випуску зі скануванням магнітним полем. Очікувані втрати енергії електронів близько 50 кеВ компенсуються оригінальною безінерційною системою захисту випрямляча і випускного пристрою від перевантаження. Представлено проект блоку інжекції та прискорення електронів до енергії 0,5 МеВ, розрахованого на досягнення струму в пучку до 50 мА. Наводиться структура нової установки та план розташування в технологічних приміщеннях.

ПРОВЕДЕННЯ «СТРЕС-ТЕСТІВ» ДОСЛІДНИЦЬКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ВВР-М ПРИ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ЗОВНІШНІХ ДІЯХ

В. І. Слісенко, Н. І. Мазіна, В. М. Макаровський, О. Г. Д'яков

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Після аварії на АЕС «Фукусіма-Даїчі» (Японія) більшість країн світу з метою підвищення безпеки експлуатованих ними ДЯР провели або проводять додаткові аналізи безпеки. З огляду на світові тенденції спеціалісти реактора ВВР-М виконали додаткові аналізи безпеки систем і елементів.

Метою проведення стрес-тестів є:

- оцінка можливих змін зовнішніх умов (природних і техногенних) у районі розміщення ДЯР;
- оцінка здатності систем і елементів ДЯР забезпечити безпеку при комплексній дії зовнішніх природних і техногенних факторів (зберегти цілісність захисних бар'єрів і дієздатність систем і елементів, важливих для безпеки);
- оцінка безпеки ДЯР при комплексній дії зовнішніх природних і техногенних факторів, що перевищують граничні значення, передбачені проектом реактора;
- оцінка ефективності і достатності існуючих технічних засобів і організаційних заходів з управління запроектованими аваріями і зниження їхніх наслідків.

Аналіз проводився не тільки на підставі розрахунків із застосуванням програмних засобів, але і з використанням результатів експериментальних досліджень, відомостей щодо позитивного досвіду експлуатації і з використанням інженерних оцінок.

При проведенні стрес-тестів було застосовано детерміністський підхід, допускаючи можливість послідовної і/чи одночасної відмови систем і елементів, деградації захисних бар'єрів, втрати передбачених технічних засобів і

заходів щодо управління аваріями. При цьому як вихідна подія з обґрунтування безпеки реактора розглядається будь-які одинарні порушення: відмова в системах, зовнішні впливи, помилкові дії персоналу. Поряд з вихідною подією при аналізі аварійної ситуації, розглянуто залежну від вхідної події додаткову відмову активного пристрою безпеки чи пасивного пристрою, що має механічні рухомі частини.

АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАМІНІ НОВИМИ ДІЛЯНОК ТРУБОПРОВОДІВ І ВСТАВОК 1-ГО КОНТУРУ ВВР-М

В. І. Слісенко, Н. І. Мазіна, В. М. Макаровський, О. Г. Д'яков

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

З метою підвищення безпеки експлуатації та для усунення дефекту (тріщини) трубопроводу 1-го контуру і вставок було прийнято рішення щодо заміни дефектної напірної ділянки і всмоктувальної ділянки трубопроводу. Заміна елементів трубопроводу здійснювалась згідно «Технічного рішення щодо концепції усунення дефекту (негерметичність) напірної ділянки із алюмінієвого сплаву САВ-1 трубопроводу 1-го контуру та заміни запірних засувок», узгодженого Держатомрегулювання.

Нові ділянки трубопроводу та вставки виготовлено із алюмінієвого сплаву АМГ-3 на заводі «Атоменергомаш», м. Энергодар, Запорізька обл. Заміна здійснювалась за нормативним документом у зв'язку з тим, що при виготовленні нових ділянок трубопроводу і вставок замінено алюмінієвий сплав САВ-1, із яких вони виготовлені, на алюмінієвий сплав АМГ-3. Розміри замінюваних елементів залишено без змін, не зазнала змін і конфігурація трубопроводу 1-го контуру.

Демонтаж-монтаж виконано персоналом реактора, який має практичні навички та досвід роботи з елементами трубопроводу 1-го контуру дослідницького реактора ВВР-М. Демонтаж-монтаж ділянок трубопроводу із алюмінієвого сплаву ускладнювалось несприятливими умовами: підвищеним радіаційним фоном та геометричними розмірами приміщень, в яких вони знаходяться. Потужність еквівалентної дози гамма-випромінювання під днищем бака реактора становить 6 Бер/год (0,06 Зв/год.), в районі фланця всмоктувальної ділянки і 2,3 Бер/год (0,023 Зв/год.) під днищем бака на периферії ніші. Потужність еквівалентної дози гамма-випромінювання у місцях прове дення робіт – до 400 мБер/год.

Отже, модифіковані ділянки трубопроводу 1-го контуру відповідають нормам і правилам з ядерної та радіаційної безпеки при всіх умовах експлуатації. Замінені ділянки трубопроводу і вставки будуть захищені від внутрішніх та зовнішніх впливів, не приведуть до збільшення дозових навантажень на персонал або населення, аварійних наслідків та негативного впливу на навколишнє середовище.

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО НАЯВНУ НАДІЙНІСТЬ ЕНЕРГОБЛОКУ АЕС ДЛЯ ОЦІНКИ СТУПЕНЮ РИЗИКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

А. Н. Харабет, О. Є. Зотєєв, О. О. Чулкін, В. О. Зотєєв

Одеський національний політехнічний університет, Одеса

Опрацьовуючи напрямок оцінки наявного стану надійності енергетичного обладнання блоку ВВЕР-1000 через поєднання декількох джерел постачання інформації про можливі його відмови, ми за останній рік одержали наступні результати:

1. спираючись на нечіткий алгоритм згортання даних з різних джерел одержання інформації, є доцільним спочатку відібрати чотири таких джерела;

2. оформивши маловизначену вхідну інформацію постачальника обладнання про рекомендований строк його експлуатації у якості нечіткої лінгвістичної змінної «проект», можна задовольнятися п'ятьма базовими термами на універсумі в 20 років;

3. аналогічним чином, але у відповідних універсумах, можна також оформити вхідні лінгвістичні змінні «дані вимірів», «статистика» та «експертиза». «Дані вимірювань» узагальнюють всі результати інструментальних перевірок наявного стану обладнання. Перевірки мають бути виконаними незалежними фахівцями. «Статистика» - це результати фіксації подій, які сталися на діючому обладнанні. Фіксацію виконує штатний персонал блоку упродовж змін у відповідних журналах або в базах даних АСУ. «Експертиза» - це результат обстеження обладнання експертами, які відбираються з найкращих фахівців за особою процедурою;

4. у якості лінгвістичної змінної на виході нечіткої системи прийняття рішень про ступінь безпечності (або ризику) експлуатації даного обладнання, ми рекомендуємо ЛЗ «ризик». Доцільно назначити цій змінній більшу кількість термів, наприклад 10.

Наступним етапом підготовки системи є вибір типу нечіткого алгоритму. Доцільно у даному випадку прийняти алгоритм Мамдані, який сприймається багатьма фахівцями як достатньо випробуваний.

Далі необхідно підготувати та випробувати базу нечітких правил, які будуть функціонувати у алгоритмі Мамдані. Цей етап роботи є найбільш складним, тому що потребує поетапної перевірки з участю тих же експертних груп спочатку на моделі, а потім на діючому обладнанні. Перевірку на діючому обладнанні необхідно проводити лише під контролем фахівців з розробки системи.

СКАЧОК РЕАКТИВНОСТІ У РЕАКТОРІ НА ХВИЛІ ЯДЕРНИХ ПОДІЛІВ

В. М. Хотяїнцев¹, А. В. Аксьонов¹, О. М. Хотяїнцева², В. М. Павлович²

¹ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

Реактор на хвилі ядерних поділів (РХЯП) – це ядерний реактор, що працює за рахунок проходження ланцюгової реакції у вигляді автохвилі. Його перевагою є можливість використання збідненого урану в якості палива. У роботі шляхом чисельного моделювання досліджується динаміка РХЯП, у якому відбувається стрибкоподібна зміна ефективної концентрації поглинача, що у звичайному реакторі є рівнозначним стрибку реактивності. Використовується квазіодновимірна модель реактора циліндричної форми на швидких нейтронах, яка описує спільну кінетику ядерних концентрацій та густини потоку нейтронів і включає рівняння вигорання для концентрацій нуклідів та рівняння дифузії нейтронів в одноступеневому наближенні з урахуванням негативного зворотного зв'язку за температурою у найпростішій формі. Ефективна концентрація поглинача p є управляючим параметром моделі, який враховує втрати нейтронів за рахунок поглинання в охолоджувачі і конструкційних матеріалах та за рахунок витоку нейтронів у радіальному напрямку.

Нестационарна задача розв'язувалась чисельно. Після виходу на режим стаціонарної хвилі у певний момент ефективна концентрація поглинача p змінювалась миттєво на величину Δp . Встановлено, що в результаті потік нейтронів змінюється на певну величину, причому в два етапи, спочатку відносно швидко, а потім значно повільніше. В результаті реактор переходить у режим повільного повернення у стан стаціонарної хвилі, що відповідає новому значенню p , з характерним часом у кілька років. Показано, що стрибок потоку нейтронів на кожному з етапів (відносна величина якого не є малою) лінійно залежить від Δp , а кутовий коефіцієнт лінійної залежності залежить від величини коефіцієнта зворотного зв'язку.

РЕАКТИВНІСТЬ У ТЕОРІЇ СТАЦІОНАРНОЇ ХВИЛІ ЯДЕРНИХ ПОДІЛІВ

О. М. Хотяїнцева¹, В. М. Хотяїнцев², В. М. Павлович¹

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

Реактор на хвилі ядерних поділів (РХЯП) – це швидкий реактор, в якому область, де відбувається основна частина поділів ядер, не залишається на одному місці, як у звичайному реакторі, а переміщується вздовж реактора у

вигляді автохвилі. Швидкість стаціонарної хвилі сталої форми, а з нею і потужність реактора (остання практично прямо пропорційна швидкості), визначається виключно матеріальними параметрами РХЯП p_i , такими як початковий склад активної зони, її радіус тощо. У той же час, домінуючий в літературі підхід до розрахунку стаціонарної хвилі ідейно і програмно наслідує схему розрахунку традиційних реакторів, коли в рівняння переносу нейтронів або відповідний Моне-Карло код штучно вводиться параметр $k_{\text{эф}}$, який розраховується для конкретного реактора (тобто заданих p_i) і наперед заданої його потужності P . Оскільки знайдене $k_{\text{эф}} \neq 1$, постає питання, на скільки в реальності потужність даного реактора відрізняється від наперед заданої, або як треба змінити параметри реактора, щоб залишити незмінною потужність.

У даній роботі розвинута нами раніше теорія стаціонарної хвилі для моделі РХЯП з поглиначем розширена шляхом введення до рівняння дифузії нейтронів параметра $k_{\text{эф}}$. Отже, швидкість хвилі w залежить тепер як від ефективної концентрації поглинача p , так і від «реактивності» $\rho = (k_{\text{эф}} - 1)/k_{\text{эф}}$. В роботі показано, що p і ρ у випадку малих ρ входять до цієї залежності адитивно:

$$w = w(p + a\rho). \quad (1)$$

Тут a – додатній коефіцієнт, який визначається матеріальними параметрами РХЯП, w – безрозмірна швидкість хвилі, а залежність $w = w(p)$ в аналітичному вигляді була встановлена нами раніше. Отриманий результат дає відповідь на поставлені вище питання в межах розглянутої моделі РХЯП.

Пряме чисельне розв'язання задачі на стаціонарну хвилю для РХЯП з паливом основі ^{238}U підтверджує, що при фіксованій швидкості хвилі ρ лінійно спадає з ростом ефективної концентрації поглинача p , а значення коефіцієнта a , розраховані чисельно і за відповідною аналітичною формулою, співпадають. Збільшення концентрації поглинача при інших фіксованих умовах приводить до зменшення реактивності й у звичайному реакторі. Проте в роботі показано, що відповідні коефіцієнти пропорційності є різними, а отже формально введена «реактивність» у РХЯП відрізняється за смислом від реактивності у звичайних реакторах. Причиною такої відмінності є самоузгодженість розподілів потоку нейтронів і густини ядер у стаціонарній хвилі ядерних поділів.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕЙТРОНОВ С ВЕЩЕСТВОМ ПРИ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Ю. Г. Щепкин, В. И. Слисенко, Т. А. Костюк, Н. И. Мазина

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Исследовано проходжение нейтронов через пару образцов ^{235}U , Cd (одно-
временно находящихся на пучке) при высокой плотности взаимодействий

($\sim 10^9 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$). Обнаружено, что пропускание зависит от очередности прохождения нейтронов через образцы пары и асимметрия пропускания (АП) составляет $(-2,54 \pm 0,29)10^{-4}$. Для установления причины наблюдаемой АП проведены измерения с различными парами образцов.

В результате установлено, что АП наблюдается только для пар с присутствием ^{235}U . При уменьшении плотности взаимодействий уменьшается и АП. На основании рассмотренных исследований было сделано предположение, что причиной АП могут быть состояния ^{235}U (возбужденные осколками деления, вызываемого нейтронами) с аномально большими значениями параметров этих состояний – нейтронное сечение, время жизни и выход.

В таких случаях, наблюдаемую АП можно объяснить, как корреляцию образования этих состояний и взаимодействием с ними последующих нейтронов, что приводит к появлению составляющей сечения, зависящего от плотности взаимодействия, и появлению АП.

По результатам измерений АП и ее зависимости от времени экспозиции исследуемые пары образцов на пучке были оценены параметры предполагаемых состояний.

СТВОРЕННЯ АЛГОРИТМУ ТА НАПИСАННЯ ПРОГРАМИ ДЛЯ ОБРАХУНКУ КРИТИЧНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ КРИХКОСТІ НА ОСНОВІ ПІДХОДУ МАЙСТЕР КРИВОЇ

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Метою представленої роботи є аналіз підходу ГОСТ 25.506-85, ASTM E 1290-93 и ASTM E 1921-05 до побудови Майстер кривої та побудова алгоритму для подальшого написання програми, яка в свою чергу буде автоматично видавати необхідні результати.

Температурні залежності параметрів тріщиностійкості обробляються за допомогою методу Майстер кривої. При цьому використовується процедура розмірного корегування до товщини зразків 25,4 мм.

Підхід Майстер кривої передбачає, що температурна залежність параметрів в'язкості руйнування в області крихко-в'язкого переходу однакова для всіх сталей феритного класу (тобто сталей з об'ємноцентрованою кристалічною решіткою) незалежно від хімічного складу, термообробки і структурного стану. Підхід Майстер кривої заснований на статистиці Вейбулла, де для експериментальних даних визначені довірчі інтервали. Зазвичай використовується верхня 95% і нижня 5% довірча межа. Для отримання коректних даних метод Майстер кривої використовує процедуру підгонки значень K_{JS} за допомогою рівняння, що визначає максимальне значення коефіцієнта інтенсивності напружень, яке може бути достовірно отримано на зразках даної товщини та геометрії [ASTM E 1921-05].

Для оцінки величини T_0 для матеріалів в початковому стані, після опромінення або температурного старіння використовується мультитемпературний підхід. Значення T_0 визначаються за допомогою методу максимальної правдоподібності і чисельного рішення рівняння такого вигляду:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i \cdot \exp(0.019 \cdot (T_i - T_0))}{11 + 77 \cdot \exp(0.019 \cdot (T_i - T_0))} - \sum_{i=1}^n \frac{(K_{Jc}^i - 20)^4 \cdot \exp(0.019 \cdot (T_i - T_0))}{(11 + 77 \cdot \exp[0.019 \cdot (T_i - T_0)])^5} = 0,$$

де параметр δ_i дорівнює одиниці, коли експериментальні значення K_{Jc} не перевищують $K_{Jc(\text{limit})}$, і $\delta_i = 0$, якщо $K_{Jc} > K_{Jc(\text{limit})}$.

Відповідно до вище написаного було побудовано алгоритм, на основі якого написана програма, яка автоматично здійснює вищенаведені розрахунки. Достовірність розробленої програми була перевірена за допомогою порівняння розрахунків виконаних вручну та за допомогою розробленої програми.

Написана програма дала змогу зменшити часові витрати при обрахунку T_0 , перевірити правильність інших програм, які використовують закритий програмний код, та відкрити нові можливості при подальшому удосконаленні алгоритму та тіла програми.

Тези доповідей з радіаційної фізики та радіаційного матеріалознавства

КРЕМНІЄВИЙ СТРІП-ДЕТЕКТОР ДЛЯ МІКРОПУЧКОВОЇ РАДІАЦІЙНОЇ ТЕРАПІЇ

І. Є. Анохін, О. С. Зінець

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Мікропучкова радіаційна терапія (МПРТ) дає змогу мінімізувати побічний ефект опромінення на нормальні тканини, використовуючи просторово фрагментовано синхротронне випромінювання високої інтенсивності (до 10 кГр/с). Робота в режимі реального часу дає змогу вимикати пучок за кілька мікросекунд, якщо параметри пучка виходять за регламентні значення. Таким умовам контролю відповідає тонкий кремнієвий стріп-детектор, який мінімально впливає на пучок.

Розраховано відгук тонких стріп-детекторів (товщина 15 - 20 мкм) для моніторингу мікро-пучків рентгенівського випромінювання в реальному часі. Враховано, як розподіл електричного поля, так і збирання заряду в дифузійній області. Розрахунки виконано для різних параметрів стріп-детекторів і характеристик мікро-пучків. Показано, що детектори з меншою дифузійною довжиною надлишкових носіїв краще віддзеркалюють реальний розподіл інтенсивності.

Використання стріп-детектора в режимі пропускання зумовлює мінімальний вплив на пучок. Результати можуть бути використані при виборі оптимальних характеристик детекторів і умов опромінення при радіаційній терапії.

УТВОРЕННЯ ТА УПОРЯДКУВАННЯ ПУСТОТ У КРЕМНІЮ, ОПРОМІНЕНОМУ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ІОНАМИ ГЕЛІЮ

**В. І. Варніна, П. Г. Литовченко, Л. С. Марченко,
М. Б. Пінковська, М. І. Старчик, Г. Г. Шматко**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Відомо, що при тривалому опроміненні кремнію високоенергетичними іонами спостерігається ряд цікавих ефектів, таких як упорядкування дефектів та їхнього поширення за область гальмування іонів. Зацікавлення поведінкою гелію, імплантованого в кремній, виникло в зв'язку з тим, що великі флюенси іонів гелію спричиняють утворення пустот. Оскільки гелій слабо

розчинний в кремнію, він сегрегує у газонаповнені комплекси, які ростуть при нагріванні. З ростом температури гелій вивільнюється. Залишаються пустоти, в середині яких чиста поверхня і розірвані міжатомні зв'язки, на які можуть захоплюватися домішки. Це ефект гетерування – очищення від небажаних домішок.

Крім цього пустоти можуть бути центрами релаксації напружень в оточуючій ґратці кристалу.

Для контролю за вказаними процесами важливі експериментальні дані про природу і параметри (глибину та товщину) порушеної структури, що і стало предметом наших досліджень.

Ми отримали дані про структуру кремнію, опроміненого високоенергетичними іонами гелію з енергією 27,2 МеВ флюенсом $\Phi = 10^{16} \div 10^{17} \text{ см}^{-2}$ при варіації струму іонного пучка від 0,25 до 1 мкА. Методи дослідження: рентгенівська топографія, вибіркоче протравлювання, растрова електронна мікроскопія, металографія, мікропрофілометрія. Останній метод виявив розбухання матеріалу приблизно на 8 мкм у пробіжній для іонів гелію частині кремнію (до 360 мкм від поверхні). За металографічними даними на травленій поверхні зразків уздовж напрямку опромінення до кінця пробігу іонів спостерігалась шарова структура розподілу дефектів. Ширина шарів та їхня кількість змінювались залежно від інтенсивності опромінення.

Шари складались із пустот різної форми і розміру. Пустоти утворювались із окремих дефектів, що об'єднувались. Ширина шарів зменшувалась із наближенням до опроміненої поверхні зразка.

За проведеними на даний час розрахунками і дослідженнями вважається, що при великих флюенсах (порядку 10^{16} см^{-2}) опромінення кремнію іонами з енергією порядку десятків кілоелектронвольт при кімнатній температурі в області гальмування іонів утворюються аморфні області. З нагрівом можлива їхня рекристалізація, яка сприяє сегрегації газу. При досягненні певної температури гелій виходить із комплексів, залишаючи пустоти. Ми припускаємо, що у випадку високоенергетичного опромінення іонами гелію, як у нас, за рахунок виділення значної кількості енергії нагрів пробіжної для іонів частини кристалу, аморфізація та рекристалізація можливі вже в процесі опромінення.

У процесі рекристалізації аморфного кремнію кластери вакансій акумулюються всередині відновленого шару й утворюють «кишені» з пустот, які супроводжуються дислокаціями і дислокаційними сітками. Останні сприяють закріпленню пустот, тобто зменшують їхню рухливість.

Таким чином можна пояснити утворення періодичних структур, явище сегрегації та далекодію в кремнію, опроміненому високоенергетичними іонами гелію.

РАДІАЦІЙНІ ТА ЯДЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНСТИТУТІ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН УКРАЇНИ

**І. М. Вишневський, Г. П. Гайдар, О. В. Коваленко,
Т. В. Ковалінська, М. Ф. Коломієць, А. І. Липська,
П. Г. Литовченко, В. І. Сахно, В. М. Шевель**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У доповіді викладаються матеріали монографії авторів про найбільш вагомий результати прикладних досліджень, виконані в ІЯД НАНУ останніми роками. Монографія складається з двох розділів – розділу про досягнення в області радіаційних технологій та розділу про ядерні технології.

В доповіді акцент зроблено на ядерні технології, враховуючи велику кількість вже опублікованих матеріалів про радіаційні технології. До радіаційних відносяться технології з використанням гама-випромінювання з енергією до 5 MeV та пучків прискорених електронів з енергіями до 10 MeV. Вони забезпечують модифікацію оболонкових структур атомів і фактично керують ходом хімічних процесів опромінюваної речовини. Завдяки цьому дають змогу синтезувати матеріали з унікальними характеристиками або інтенсивно стимулювати природні процеси в органічних сполуках та живій матерії.

Ядерні технології до цього часу ще широко не висвітлювались. Вони спрямовані на модифікацію структур ядер атомів і отримання різних джерел іонізуючої радіації для використання в медицині, технологіях та побуті.

Обговорюються розроблені в ІЯД НАН України і впроваджені передові ядерні технології трансмутаційного легування напівпровідників, напрацювання ізотопних генераторів іонізуючих випромінювань для ядерної медицини та промисловості, розробки портативних джерел нейтронів для елементного аналізу в свердловинах та складних промислових виробках, виробництва радіофармацевтичних препаратів для діагностики і лікування в онкології.

Вітчизняним лідером розробки та поширення ядерних технологій в промисловості і наукових дослідженнях є Науково-технічний комплекс «Тритієва лабораторія» ІЯД НАНУ, який не має аналогів в Україні і відноситься до унікальних наукових комплексів, доступних лише високорозвинутим країнам.

Викладаються результати створення в цій лабораторії великого переліку атестованих джерел іонізуючих випромінювань різного призначення. Обговорюються конструкції технічних засобів з джерелами випромінювань для використання в різноманітних технологічних процесах промислового виробництва – як експериментальні, так і такі, що вже мають комерційне значення. Приводяться дані щодо унікальних технічних засобів, які зосереджені в лабораторії та перспективи їхнього ефективного використання для прогресу ядерних технологій.

ВПЛИВ ВЗАЄМОДІЇ МІЖ ЕЛЕКТРОННИМИ ЗБУДЖЕННЯМИ НА ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЮ З ОБЛАСТІ ТРЕКУ ШВИДКОЇ ЗАРЯДЖЕНОЇ ЧАСТИНКИ

І. Ю. Голіней, В. Й. Сугаков, А. А. Чернюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Вивчення процесів, що відбуваються в треці, є актуальним для розуміння як роботи сцинтиляційного лічильника, так і впливу опромінення на речовину загалом [1]. У даній роботі досліджено вплив взаємодії між електронними збудженнями (екситонами) на вихід світлового випромінювання з треку високоенергетичної зарядженої частинки в діелектричному середовищі.

Анігіляція екситонів та нерадіаційна складова часу життя екситонів приводять до втрат, що проявляються як зменшення інтенсивності люмінесценції. Вважаючи, що після створення в треку екситони рухаються від його ядра дифузійно, розраховано залежність кількості фотонів, випромінених екситонами на одиниці довжини треку, від параметрів системи. Показано, що анігіляція приводить до зменшення втрат при збільшенні радіусу трека і зростанні коефіцієнта дифузії екситонів

Для тонких плівок енергетичні втрати є однаковими вздовж осі треку. У цьому випадку вихід залежить від напрямку руху пролітаючої частинки відносно кристалографічних осей для кристалів з анізотропією коефіцієнта дифузії екситонів, що спостерігалось на досліді [2].

У випадку товстого люмінофору для оцінки повного числа випромінених квантів світла необхідно врахувати зміну енергії зарядженої частинки вздовж треку. Вважаючи, що початкова густина екситонів залежить від координати вздовж треку, для знаходження сумарної інтенсивності люмінесценції світловий вихід проінтегровано вздовж треку. Отримано, що вихід найбільше згає у випадку найбільших значень коефіцієнта дифузії екситонів, тобто, для ізотропних кристалів.

Динамічна взаємодія між екситонами приводить до зміни їхнього руху, впливає на відстань між ними, а, отже, на втрати на анігіляцію. Цікаво, чи можливе утворення тимчасово існуючої конденсованої фази в електронній системі в околі трека. Наведено оцінки втрат залежно від взаємодії – зростання при притяганні екситонів, зменшення при відштовхуванні. Використавши дані монографії [3] проаналізовано можливість утворення фази електронно-діркової рідини електрон-діркових крапель у неорганічних напівпровідниках при проходженні єдиної частинки. Розрахунки показують, що густина електронних збуджень в треку, утвореному протоном у кремнії, недостатня для їхньої конденсації у краплю, однак існує можливість виникнення крапель у треках частинок із більшим енерговиділенням на одиницю пробігу – багатозарядних ядер та легких частинок на зразок мюона.

1. Галунов Н.З., Тарасенко О.А. Формирование треков ионизирующих излучений в органических конденсированных средах. – Харьков: ИСМА, 2011.
2. Жевандров Н.Д. Оптическая анизотропия и миграция энергии в молекулярных кристаллах. – М.: Наука, 1987.
3. Райс Т., Хенсел Дж., Филлипс Т., Томас Г. Электронно-дырочная жидкость в полупроводниках. – М.: Мир, 1980.

ПРОХОДЖЕННЯ γ -ФОТОНІВ СКРІЗЬ ВІБРУЮЧІ ПОГЛИНАЧІ

О. Я. Дзюблик

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У рамках квантової електродинаміки розглядається проходження γ -фотонів скрізь мішень яка містить месбауерівські ядра і коливається як ціле. При цьому розглядаються періодичні коливання довільної форми. Фотон описується хвильовою функцією, запропонованою Бялініцкі - Бірулою. Виведені формули для форми хвильового пакету для фотона, що пройшов скрізь вібруючий кристал, яка набуває вигляд послідовності коротких імпульсів, що спостерігалися Вагізовим. Виведені формули можна вважати обґрунтуванням попередніх квазікласичних розрахунків Вагізова.

Особлива увага приділяється аномальному проходженню гамма-променів скрізь поглинач, що вібрує з високою частотою. Цей ефект був передбачений автором раніш і більш детально проаналізований зараз.

Розрахунки за допомогою хвильової функції фотона чудово узгоджуються з експериментами Вагізова. Тому основний сенс нашої роботи полягає в доведенні того, що квадрат модуля хвильової функції фотона визначає густину імовірності детектувати фотон в певний інтервал часу, так саме, як це має місце для масових частинок. Зазначимо, що поняття хвильової функції фотона ще й досі залишається досі дискусивним.

ДИФРАКЦІЯ ЛАУЕ КОЛІМОВАНИХ ПУЧКІВ ГАММА-ПРОМЕНІВ

О. Я. Дзюблик, В. Ю. Співак

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Розглядається подвійна дифракція пучків месбауерівського та синхротронного випромінювання спочатку на колімуючій щілині, а потім в ідеальному кристалі в геометрії Лауе. Як відомо з рентгенівської оптики, в такому випадку енергія розповсюджується в межах трикутника Бормана. Завжди аналіз розподілу інтенсивності випромінювання по основі трикутника Бормана робиться за допомогою наближення стаціонарної фази, яке придатне лише для слабо поглинаючих кристалів. У даній роботі розглядається вже загальний випадок кристалів з довільним поглинанням. Це має місце, коли

падаючі гамма-промені налаштовані в резонанс з переходами в мессбауерівських ядрах, що періодично розташовані в кристалічній ґратці. Розрахунок робиться за допомогою більш загального методу, а саме методу перевалу. У всіх попередніх роботах використовувалось наближення сферичної хвилі, запропоноване Като. Тобто електромагнітна хвиля, що дифрагує на вхідній колімуючій щілині, вважається повністю «розмазаною» по куту. Такий підхід не є придатним для синхротронного випромінювання, яке характеризується дуже вузьким розподілом по куту. Тому точний вираз для кутового розподілу фотонів, що дифрагували на щілині, теж нами враховується.

Показано, що мають місце маятникові осциляції інтенсивності гамма-випромінювання по основі трикутника Бормана, вимірюючи які, можна визначати параметри мессбауерівських ядер.

КОНФИГУРАЦИОННАЯ ПЕРЕСТРОЙКА ДИВАКАНСИЙ В n-Si

А. П. Долголенко

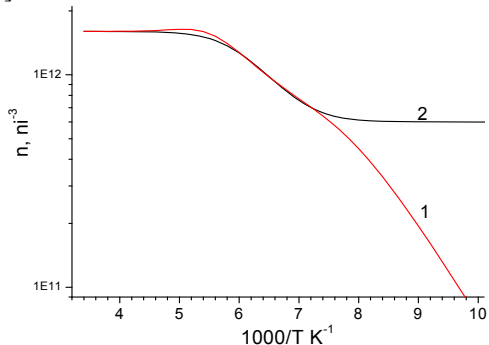
Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Дивакансия благодаря своим фундаментальным характеристикам [1] является одним из основных дефектов, созданных облучением ядерными частицами, была наиболее интенсивно изучена в кремнии как экспериментально, так и теоретически. Самая простая модель для дивакансии предполагает D_{3d} симметрию, которая при низких температурах (≤ 20 К) релаксирует в C_{2h} симметрию с малым энергетическим барьером $\cong 0,6$ эВ. При этом фононо-ассистированные переходы между этими двумя состояниями могут иметь место близко к комнатной температуре [2].

Уровни дивакансии $E_c-0,26$ и $E_c-0,17$ эВ в запрещенной зоне n-Si отстоят друг от друга на величину 0,09 эВ, но появление уровня $E_c-0,23$ эВ возможно, если дивакансия (V_2^{2-}) имеет возможность конвертировать из большей дисторсии (Q_1) в меньшую дисторсию (Q_2). Предположим, что дивакансия может переходить из одной конфигурации в другую,

а именно в процессе понижения температуры n-Si и перезарядки уровня $E_c-0,26$ эВ, дивакансия изменяет свою конфигурацию еще не захватив электрона и увеличивает концентрацию дивакансий с уровнем $E_c-0,17$ эВ.

Математически это можно описать как уменьшение концентрации акцепторов и мелких доноров в первой конфигурации дивакансии и добавление



концентрации акцепторов ко второй конфигурации дивакансии (V_2^{2-}). Действительно, тогда появляется уровень $E_c-0,23$ эВ (см. 2) дивакансии как совместная перезарядка этих уровней с различной дисторсией. Результаты расчета квадратичного уравнения, полученного из условия электронейтральности, показаны на рисунке, а параметры расчета в таблице.

Параметры расчета концентрации электронов в зоне проводимости в n-Si ($n_0 = 2,1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$) при наличии акцепторных уровней дивакансии в первой и во второй конфигурации в отношении 2,0 и обобщенного уровня дивакансии $E_c-0,23$ эВ

$N_d, \text{ см}^{-3}$	$N_a, \text{ см}^{-3}$	$\Delta n_a, \text{ см}^{-3}$	$\Delta n_d, \text{ см}^{-3}$	$E_c-E_a,$ эВ	Отношение концентраций
$2,1 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{12}$	$-1,4 \cdot 10^{12}$	$-5 \cdot 10^{11}$	0,26	$\text{Na}(0,26)/\text{Na}(0,17)$
$7 \cdot 10^{11}$	$7 \cdot 10^{11}$	$+1,4 \cdot 10^{12}$		0,17	=2
$1,6 \cdot 10^{12}$	$1,0 \cdot 10^{12}$			0,23	$\Delta n_a/N_a = 1,0$

Концентрация обобщенного уровня $E_c-0,23$ эВ уменьшается с уменьшением концентрации (Δn_a) дивакансии $V_2^{2-}(Q_1)$, которые могут конвертировать в $V_2^{2-}(Q_2)$.

1. *Watkins G.D., Corbett J.W.* Defects in irradiated silicon: Electron paramagnetic resonance of divacancy // *Phys. Rev.* - 1965. - Vol. 138, No. 2A. - P. 543 - 544.
2. *Долголенко А.П.* Конфигурационные переходы дивакансий в кремнии и германии // *Ядерная физика та енергетика.* - 2013. - Т. 14, № 2. - С. 163 - 171.

КОНФИГУРАЦИОННАЯ ПЕРЕСТРОЙКА ДИВАКАНСИЙ В p-Si

А. П. Долголенко

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

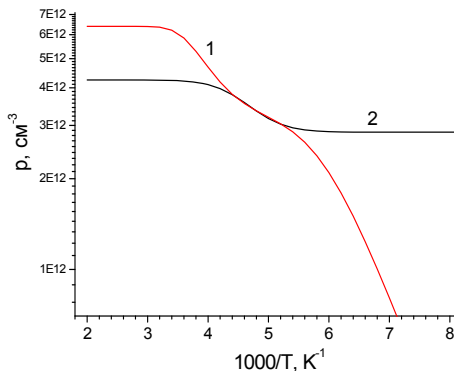
Дивакансия является одним из основных дефектов, созданных облучением ядерными частицами, благодаря своим фундаментальным характеристикам [1] наиболее интенсивно изучена в кремнии как экспериментально, так и теоретически. Самая простая модель для дивакансии предполагает D_{3d} симметрию, которая при низких температурах (≤ 20 К) релаксирует в C_{2h} симметрию с малым энергетическим барьером $\cong 0,6$ эВ. При этом фононо-ассистированные переходы между этими двумя состояниями могут иметь место даже при комнатной температуре [2].

Уровни дивакансии $E_v+0,365$ и $E_v+0,20$ эВ в запрещенной зоне p-Si отстоят друг от друга на величину $0,165$ эВ, но появление уровня $E_v+0,283$ эВ воз-

можно, если дивакансия (V_2^+) имеет возможность конвертировать из большей дисторсии (Q_1) в меньшую дисторсию (Q_2). Предположим, что дивакансия может переходить из одной конфигурации в другую, а именно в процессе понижения температуры p-Si и перезарядки уровня $E_v+0,365$ эВ, дивакансия изменяет свою конфигурацию при захвате дырки и увеличивает концентрацию дивакансий с уровнем $E_v+0,20$ эВ.

Математически это можно описать как уменьшение концентрации доноров в первой конфигурации дивакансии и их добавление к концентрации доноров во второй конфигурации дивакансии (V_2^+). Действительно, тогда появляется уровень $E_v+0,283$ эВ (см. 2) дивакансии как совместная перезарядка этих уровней с различной дисторсией. Результаты

расчета квадратичного уравнения, полученного из условия электронейтральности, показаны на рисунке, а параметры расчета в таблице.



Параметры расчета концентрации дырок в p-Si ($p_0 = 6,4 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$) при наличии донорных уровней дивакансии в первой и второй конфигурации в отношении 0,5 и обобщенного уровня дивакансии $E_v+0,283$ эВ

$N_a, \text{ см}^{-3}$	$N_d, \text{ см}^{-3}$	$\Delta p_d, \text{ см}^{-3}$	$E_v+E_d, \text{ эВ}$	Отношение концентраций
$6,4 \cdot 10^{12}$	$3,2 \cdot 10^{12}$	$-3,2 \cdot 10^{12}$	0,365	$N_d(0,365)/N_d(0,2)$
$3,2 \cdot 10^{12}$	$3,2 \cdot 10^{12}$	$+3,2 \cdot 10^{12}$	0,20	=0,5
$4,25 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{12}$		0,283	$\Delta p_d/N_d = 1,0$

Концентрация обобщенного уровня $E_v+0,283$ эВ уменьшается с уменьшением концентрации (Δp_d) дивакансии $V_2^+(Q_1)$, которые конвертируют в $V_2^+(Q_2)$.

1. *Watkins G.D., Corbett J.W.* Defects in irradiated silicon: Electron paramagnetic resonance of divacancy // *Phys. Rev.* - 1965. - Vol. 138, No. 2A. - P. 543 - 544.
2. *Долголенко А.П.* Конфигурационные переходы дивакансий в кремнии и германии // *Ядерна фізика та енергетика.* - 2013. - Т. 14, № 2. - С. 163 - 171.

АКТУАЛЬНІ НАПРЯМКИ РАДІАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Т. В. Ковалінська

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У доповіді обговорюються перспективи використання результатів прикладних досліджень, здійснених останнім часом в Інституті ядерних досліджень. Їхньою метою було визначення найбільш перспективних напрямків подальшого розвитку промислових технологій з застосуванням іонізуючих випромінювань. З аналізу отриманих результатів було встановлено перспективи використання радіації в технологіях нових матеріалів. Серед них виділяються технології нових цементуючих органо-мінеральних систем для будівельної індустрії, технології радіаційно-модифікованих композитних бітум-полімерних матеріалів підвищеної стійкості для дорожнього покриття, радіаційні технології полімерів для ядерних наномембран підвищеної міцності, стерилізації нових медичних препаратів з органічної сировини природного походження. Усі ці напрямки дають змогу створити сучасні матеріали з унікальними характеристиками. Апробація результатів досліджень на міжнародних нарадах засвідчила велику зацікавленість у всіх країнах до таких радіаційних технологій, особливо з урахуванням того, що для більшості це одночасно і корисне використання величезних мас полімерних відходів в усіх країнах.

У доповіді викладаються результати і оцінюються перспективи впровадження радіаційно-модифікованих термостійких матеріалів підвищеної міцності для дорожнього покриття, армовані відходами фіброматеріалів та вторинними полімерами, де одночасно вирішуються проблеми покращення експлуатаційних характеристик автошляхів і утилізація величезних мас промислових і побутових полімерних відходів.

Обговорюється радіаційна технологія нових цементуючих систем на основі композиції мінеральних та органічних складових з залученням механізмів передачі енергії іонізуючих випромінювань в матеріал. Наводяться характеристики нових бетонів, визначені при сертифікації їх за діючими стандартами. Обговорюються технології радіаційної полімеризації поліціануридів для виробництва ядерних трекових мембран підвищеної міцності та результати випробувань дослідних зразків таких мембран в провідних лабораторіях України, Франції, США.

Пропонується і обґрунтовується комплексний підхід до розвитку радіаційних технологій, куди слід включати і розробки нового покоління радіаційної техніки. З урахуванням очікуваних об'ємів виробництва, розробка цих напрямків є актуальною і перспективною задачею.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СВІТЛОДІОДНИХ СТРУКТУР У МЕДИЧНІЙ ПРАКТИЦІ

**Є. В. Малий¹, О. П. Мельник², М. В. Литовченко¹, М. Б. Пінковська¹,
В. П. Тартачник¹, В. В. Шлапацька³**

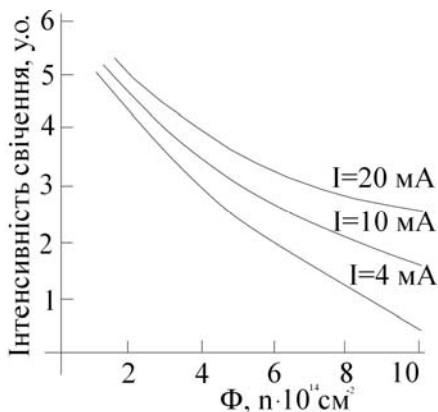
¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

³ Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України, Київ

Джерела світла сьогоденного покоління – світлодіоди характеризуються високою спектральною чистотою і придатні до використання в широкому спектральному діапазоні – від інфрачервоної до ультрафіолетової ділянок спектру. Порівняно з усіма іншими випромінювачами, світлодіодним структурам властиві суттєві переваги – низька енергоємність, мініатюрність, швидкодія, надійність, низька вартість. Область використання цих пристроїв постійно розширюється: вони ефективно застосовуються у точному приладобудуванні, виробництві побутової техніки, а також у медицині.

Фосфід галію – широкозонний напівпровідник групи $A^{III}B^V$, на основі якого легко вирощується р-п-перехід шляхом хімічного легування епітаксійних шарів. Уведення в ґратку ізоелектронної (щодо фосфору) домішки азоту формує електронну пастку, яка притягує вільну дірку; виникає екситон Ванье - Мотта великого радіуса. Рівень його основного стану розташований на глибині $E_c - 0,20$ меВ, що робить можливим при достатньому рівні збудження спостерігати висвічування цього центра навіть при кімнатній температурі (зелена вузька смуга $h\nu = 2,1$ еВ). Легуючи кристал GaP цинком і киснем одночасно, можна створити подібний до попереднього випромінюючий центр з $h\nu = 1,8$ еВ.



Формування дозного поля складної конфігурації на тілі пацієнта здійснюється за допомогою системи клинів та болусів специфічного профілю. Внаслідок впливу розмірів джерела немінуче виникає ефект пенумбри – напівтіні, який викликає переопромінення здорових тканин. Проблема захисту стає особливо актуальною у разі, якщо поблизу зони опромінення розташований критичний орган.

Дозова залежність інтенсивності свічення світлодіода GaP, знята в процесі опромінення електронами з $E = 2$ МеВ, лінійна до значення $\Phi = 5 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$, що дає змогу використовувати його в ролі дозиметра саме малих доз.

Особливо корисним може бути застосування електролюмінесцентного дозиметра при моделюванні протонного опромінення чи його плануванні у тканинно-еквівалентному фантомі. Відомо, що у цьому методі важливе значення має точність визначення положення піку Бреґга. Тому, коли у досліджуваній області розташувати поряд декілька світлодіодних сенсорів, розташування діода з максимальним рівнем деградації буде місцем локалізації піку Бреґга. При багатопольному опроміненні запропонований метод може допомогти сумістити піки Бреґга від різних пучків на одній мішені.

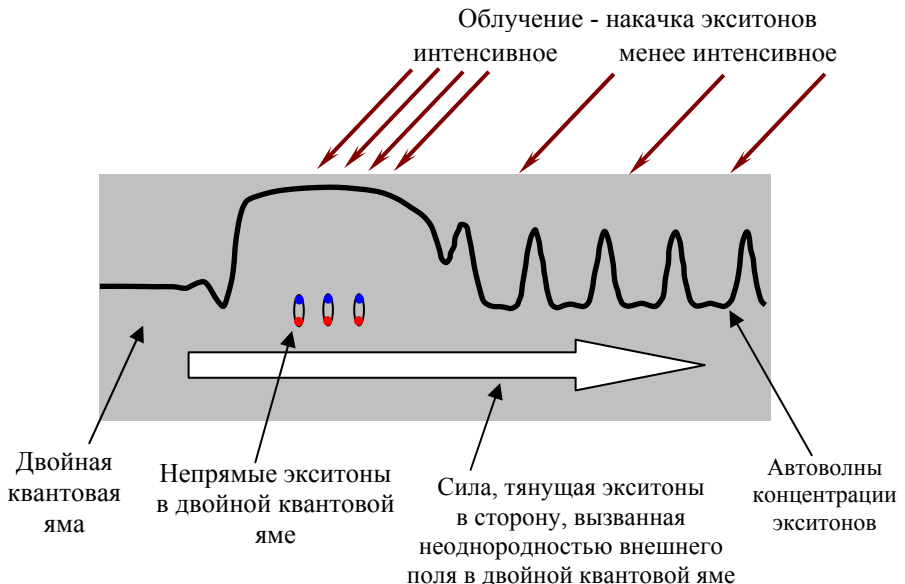
Також світлодіоди GaP можна застосувати для лікування тканин методом фотодинамічної терапії.

О ВОЗБУЖДЕНИИ АВТОВОЛН КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ ЭКСИТОНОВ ПРИ СТАЦИОНАРНОМ НЕОДНОРОДНОМ ОБЛУЧЕНИИ КВАНТОВЫХ ЯМ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

В. В. Михайловский, В. И. Сугаков

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Нелинейные среды богаты на существование в них разнообразных стационарных и нестационарных состояний и явлений. В данной работе рассматривается пример возникновения периодических колебаний, который может реализоваться при оптическом возбуждении системы, а нелинейной средой является система экситонов в двойной квантовой яме с плотностью экситонов, близкой к плотности экситонов в конденсированном состоянии.



Система изучается теоретически, получены стационарные и нестационарные решения для концентрации экситонов. Показано, что при стационарном неоднородном облучении (см. рисунок) при определённых условиях возникают островки конденсированной фазы (автоволны экситонной плотности), которые движутся в менее освещённую область. Обнаружен эффект, при котором расстояние между такими островками резко увеличивается при малом увеличении тянущей силы. Это связано с тем, что качественно изменяется режим генерации: при малых величинах тянущей силы автоволны распространяются независимо от неё, при больших величинах тянущей силы именно она определяет скорость распространения автоволн.

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ОПРОМІНЕННЯ ЧАСТИНКАМИ РІЗНИХ ВИДІВ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ GaP СВІТЛОДІОДІВ

**І. В. Петренко, О. В. Конорева, В. І. Куц, М. В. Литовченко,
П. Г. Литовченко, Є. В. Малий, М. Б. Пінковська, В. П. Тартачник**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Основною характеристикою світлодіодних структур є випромінювальна рекомбінація, інтенсивність якої обмежується формою зони провідності та концентрацією глибоких безвипромінювальних рівнів. Контроль за числом введених дефектів можна здійснювати, користуючись величиною швидкості видалення носіїв ($dn/d\Phi$). Значення цього параметра у неявному вигляді входить у вираз Шоклі для ВАХ несиметричного діода

$$I = \frac{q\sqrt{D_p/\tau_p} \cdot n_i^2}{n_n} \left(e^{\frac{qU}{mkT}} - 1 \right). \quad (1)$$

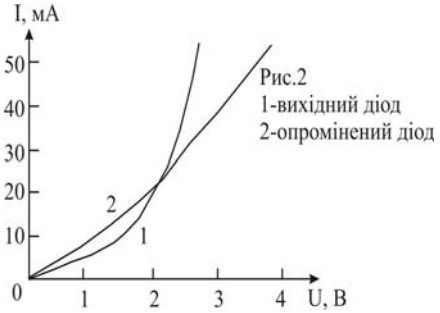
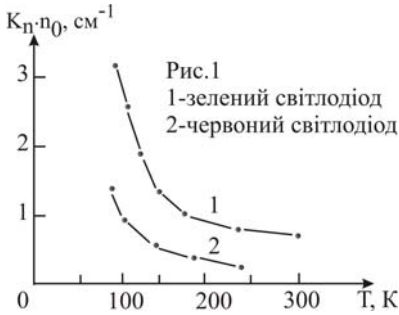
Дозна залежність часу життя неосновних носіїв заряду ($1/\tau_\Phi = 1/\tau_0 + \Phi/K_t$) значно слабкіша від експоненційної $n_n = n_0 e^{-K_n\Phi}$ для концентрації вільних носіїв, тому при оцінюванні ($dn/d\Phi$) її можна не враховувати.

Швидкість видалення носіїв ($dn/d\Phi$) при кімнатній температурі можна одержати шляхом порівняння ВАХ вихідного та опроміненого зразків, використовуючи вираз (1); подібним чином можна одержати також значення k_n – коефіцієнта пошкодження концентрації носіїв струму.

Для діодів, опромінених нейтронами, ця величина є функцією температури вимірювання і проявляє тенденцію до зростання при охолодженні (рисунок).

Очевидно, що така поведінка k_n зумовлена температурною зміною положення рівня Фермі – зміщення E_f до середини E_g активізує вплив компенсації акцепторними центрами електропровідності n-області та донорними – p-області. Числові значення ($dn/d\Phi$) зразків, опромінених нейтронами та

електронами з $E = 2 \text{ MeV}$, були одного порядку ($\sim 1 \div 8 \text{ cm}^{-1}$), але при опроміненні α^{++} -частинками вони виявились майже на три порядки вищими. Така велика ефективність дефектоутворення зумовлена вочевидь у першу чергу впливом іонізаційного чинника, властивого важким зарядженим частинкам, здатного збільшувати ймовірність виходу атома з вузла ґратки в результаті часткового руйнування міжатомних зв'язків.



В області невеликих додатних зміщень ($\sim 3 \div 4 \text{ V}$) та малих доз ($\Phi < 10^{16} \text{ cm}^{-2}$) виявлено також зростання прямих струмів, пов'язане зі зменшенням величини потенціального бар'єру р-п-переходу (рис. 2); при $\Phi > 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ стає помітним збільшення пробійної напруги діода внаслідок зменшення довжини вільного пробігу носіїв струму.

Пострадіаційні зміни ВАХ діодів у обох випадках можна трактувати, як позитивні ефекти і використовувати з метою зменшення розсіюваної потужності – у прямому ввімкненні, та розширення області робочих напруг – у зворотному.

ЗВ'ЯЗОК ПОПЕРЕЧНОГО РОЗШИРЕННЯ ТА УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ ЗРАЗКІВ ШАРПІ СТАЛІ КОРПУСІВ РЕАКТОРІВ ВВЕР-1000 В НЕОПРОМІНеноМУ ТА ОПРОМІНеноМУ СТАНІ

В. М. Ревка, О. В. Тригубенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Одним із непрямих методів оцінки характеристик в'язкості руйнування металу корпусу ректора (КР) є випробування на ударний вигин зразків-свідків, які перебували за тих же умов опромінення, що й внутрішня стінка КР. Даний тип випробування дає змогу визначити ударну в'язкість металу та оцінити схильність металу до крихкого руйнування.

Однією з характеристик, яка визначається при випробуваннях на ударний вигин, є верхній шельф (USE) кривої ударної в'язкості. Величина USE характеризує опір матеріалу в'язкому руйнуванню.

Інший параметр, який визначають при випробуваннях на ударний вигин,

є поперечне розширення (залишкова пластична деформація зруйнованого зразка на грані, протилежній механічному надрізу), величина якого в загальному випадку залежить від досліджуваного матеріалу і температури випробування. Кількість цієї деформації для неопроміненої сталі корелює з енергією, яка затрачається на руйнування зразка, оскільки частина енергії затрачається на розрив міжатомних зв'язків, а інша – на деформацію металу. При опроміненні з'являються радіаційно-стимульовані дефекти, які є ефективними стопорами при русі дислокацій і призводять до зміцнення матеріалу. Це впливає на величину деформації, і відповідно, на поперечне розширення зразка. Тому загальна енергія руйнування може перерозподілятися залежно від величини флюенсу нейтронів.

Метою даної роботи є визначення взаємозв'язку поперечного розширення (Δb) та ударної в'язкості (KCV) матеріалів корпусів реакторів ВВЕР-1000, що експлуатуються в Україні. Для аналізу були використані дані, отримані в рамках програми зразків-свідків, для сталі класу 15X2НМФА-А та її зварних швів, що застосовується у виробництві корпусів реакторів ВВЕР-1000. Дослідження проводилося на неопромінених зразках та опромінених до максимального флюенсу $\sim 87 \cdot 10^{22}$ нейтр/м² для основного металу та $\sim 65 \times 10^{22}$ нейтр/м² для металу зварного шва.

За результатами аналізу даних виявлено лінійну кореляцію величини поперечного розширення зразків та питомої енергії, що затрачається на руйнування зразка при випробуваннях на ударний вигин. Причому кут нахилу апроксимуючої прямої залежності Δb від KCV майже не змінюється для груп опромінених зразків по відношенню до менш опромінених груп, а також неопромінених комплектів зразків. Цей висновок актуальний як для основного металу, так і для металу зварних швів корпусів реакторів. Окрім того, на основі результатів випробувань зразків при температурах верхнього шельфу кривої Шарпі у роботі було показано, що накопичення дози нейтронного опромінення веде до одночасного зниження ударної в'язкості металу та поперечного розширення.

ВИНИКНЕННЯ І СТРУКТУРА ВНУТРІШНЬОГО КІЛЬЦЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЗІ ЗБУДЖЕНИХ ЛАЗЕРОМ ОБЛАСТЕЙ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ КВАНТОВИХ ЯМ

В. Й. Сугаков, В. В. Томилко, А. А. Чернюк

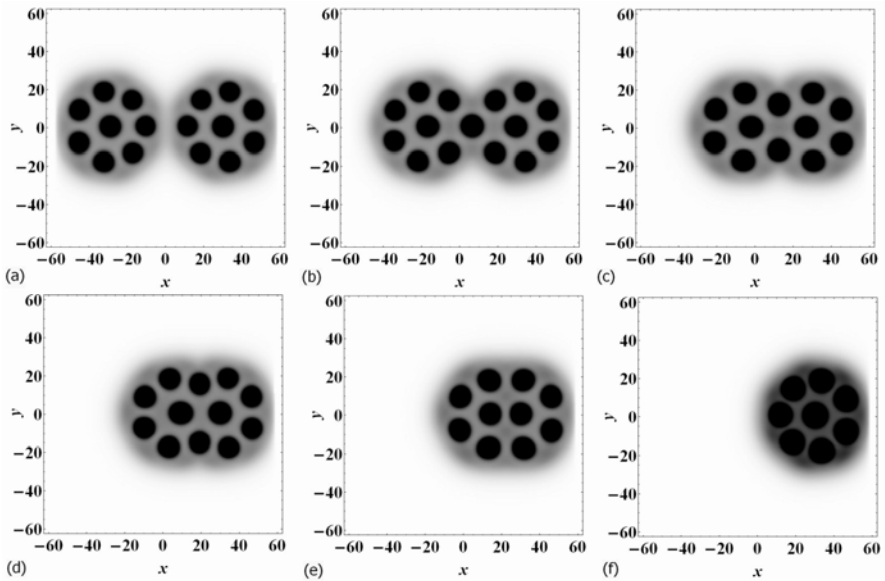
Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У спектрах випромінювання в площині напівпровідникової подвійної квантової ями виявлено кільце в області навколо лазерної плями [1]. Кільце складається з окремих острівців випромінювання. Властивості внутрішнього кільця відрізняються від властивостей зовнішнього кільця, розташованого на далеких відстанях від лазерної плями і яке було спостережено раніше.

У даній роботі дається пояснення фрагментації внутрішнього кільця на підставі моделі, в якій базовими припущеннями є: 1) існування при великих густинах екситонів конденсованої фази, 2) скінченність часу життя екситонів. Розглядувана система є нерівноважною, отже, утворення структури є наслідком процесів самоорганізації в нерівноважній системі. На підставі цієї моделі пояснено низка експериментальних фактів (посилання на ці роботи наведено в [2]).

Показано, що періодичний розподіл екситонної густини вздовж внутрішнього кільця виникає, якщо область лазерної плями є більшою за певне значення та інтенсивність лазера перевищує певне порогове значення [2]. Характер структури змінюється зі збільшенням накачки і розмірів плями. Фрагментоване кільце може переходити в суцільне кільце, може з'являтися кілька кілець. При зростанні температури структура стає менше вираженою і зникає.

У випадку зближення лазерних плям від двох джерел кільця випромінювання взаємно деформуються, зливаючись у спільне овалоподібне кільце.



Екситонні системи, які мають швидку кінетику та прості у створенні, є базовими моделями для вивчення фазових переходів у різних системах нестабільних частинок (електронно-діркова рідина, газ із великою кількістю збуджених молекул, структури у радіаційній фізиці та ін.).

1. Remeika M., Hammack A.T., Poltavtsev S.V. et al. // Phys. Rev. B. - 2013. - Vol. 88. - P. 125307.
2. Chernyuk A.A., Sugakov V.I., Tomylo V.V. // Phys. Rev. B. - 2014. - Vol. 90. - P. 205308.

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ШВИДКИХ ІОНІВ НА ВЛАСТИВОСТІ БАГАТОШАРОВИХ МАГНІТНИХ ТВФЕСО-СТРУКТУР

В. П. Хоменков

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Кілька років тому було виявлено позитивний вплив опромінення швидкими іонами на магніострикційні властивості багатошарових магнітних структур. Це пов'язують з взаємною дифузією матеріалів через інтерфейс різних шарів. Наявність такої дифузії експериментально підтверджено методами атомно-зондової томографії.

В даній роботі на основі моделі термічного піку було досліджено еволюцію температури всередині структури в результаті прольоту крізь неї швидкого іону та оцінено взаємну дифузію її компонентів в припущенні, що дифузія відбувається, коли матеріали перебувають в розплавленому стані.

Результати розрахунків знаходяться у хорошому якісному узгодженні з експериментальними даними, що може надати в перспективі можливість планування опромінення з метою одержання структур з заданими властивостями.

Тези доповідей з теорії ядерного синтезу та фізики плазми

ЕЛЕКТРОННА КОНЦЕНТРАЦІЯ В ПЛАЗМІ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО РОЗРЯДУ МІЖ КОМПОЗИТНИМИ Cu-C ЕЛЕКТРОДАМИ

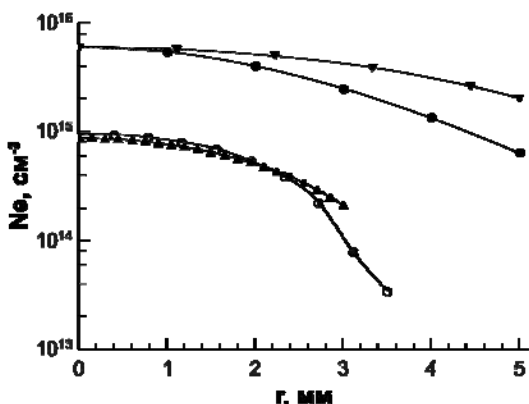
А. М. Веклич, В. Ф. Борецький, С. О. Фесенко, Я. В. Бондаренко

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем, Київ*

Одним із ефективних методів визначення електронної концентрації в плазмі є вимірювання штарківського розширення спектральних ліній. Зокрема, в роботі [1] запропонована методика діагностики плазми із залученням спектральної лінії атома міді 515,3 нм. З іншого боку, для плазмових об'єктів з домішками міді можна з цією метою використати інтенсивність випромінювання спектральної лінії Cu I 465,1 нм [2]:

$$N_e \sim I_{4651}^{1/2} T^{3/4}.$$

Проте, в роботі [3] запропонований альтернативний спосіб визначення електронної концентрації. Він базується на розв'язку рівняння енергетичного балансу, за умови, що теплопровідність плазми у досліджуваному діапазоні температур слабо залежить від наявності домішок електродного походження. На рисунку показані радіально розподіли електронної концентрації в плазмі електродугового розряду між композитними Cu-C електродами, визначені за трьома різними методиками.



Радіальний розподіл електронної концентрації в плазмі електродугового розряду між композитним Cu-C електродами для струмів дуги 3,5 А та 30 А розрахований із:

- 1) розширення лінії Cu I 515,3 нм (● 30 А);
- 2) розв'язку рівняння енергетичного балансу (▲ 3,5 А);
- 3) інтенсивності випромінювання спектральної лінії Cu I 465,1 нм (▼ 30 А та ○ 3,5 А).

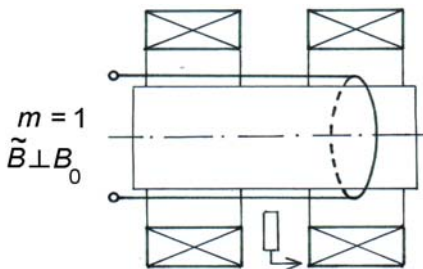
1. *Веклич А.М., Осідач В.Є.* Методика спектроскопічної діагностики плазми електричної дуги // Вісник Київського університету імені Тараса Шевченка. Радіофізика та електроніка. - 2003. - Вип. 5. - С. 12 - 14.
2. *Veklich A.N., Babich I.L., Cheredarchuk A.I.* Multicomponent thermal plasma of arc discharges // Czechoslovak Journal of Physics. - 2001. - Vol. 51, No. 1. - P. 27 - 34.
3. *Fesenko S., Veklich A., Boretskij V. et al.* Properties of thermal air plasma with admixing of copper and carbon // Journal of Physics: Conference Series. - 2014. - Vol. 550. - P. 012008 (8 pp.)

РЕЗОНАНСНІ ВЛАСТИВОСТІ ІНДУКЦІЙНИХ АНТЕН БІЛЯ ЕЛЕКТРОННО-ЦИКЛОТРОННОЇ ЧАСТОТИ

В. Ф. Вірко, В. М. Слободян, Ю. В. Вірко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Геліконний розряд в діапазоні частот $\omega \ll \omega_{ce}$ широко використовується для генерації густої надкритичної ($\omega_{pe} > \omega$) плазми. З наближенням до циклотронної частоти ω_{ce} показник заломлення геліконних хвиль зростає і в області електронно-циклотронного резонансу (ЕЦР) $\omega = \omega_{ce}$ вони поглинаються, передаючи свою енергію електронам. Цей механізм застосовується в ЕЦР джерелах багатозарядних іонів, в яких електромагнітна енергія вводиться в області сильного магнітного поля ($\omega_{ce} > \omega$) і транспортується геліконами в зону поглинання, де і відбувається нагрів електронів. У геліконних джерелах низькотемпературної плазми така ситуація може виникати при використанні неоднорідного магнітного поля, коли для підвищення ефективності розряду магнітне поле в області антени зменшується і може досягати резонансного значення.



Два типи індукційних антен, які звичайно використовуються для збудження розрядів на азимутальних модах геліконних хвиль $m = 1$ та $m = 0$, виявляють різні властивості біля електронно-циклотронної частоти ω_{ce} . Експерименти проводились в циліндричній кварцовій камері, вміщеній в

поздовжнє магнітне поле B_0 (рисунок). На частоті 13,56 МГц при тиску аргону 0,65 Па у відсутності магнітного поля запалювався індукційний розряд. Резонанс спостерігався за інтенсивністю світіння розряду в залежності від напруженості магнітного поля ω_{ce}/ω .

Рамкова антена, призначена для збудження геліконної моди $m = 1$, генерує високочастотне магнітне поле \vec{B} перпендикулярне до зовнішнього магнітного

поля B_0 і, відповідно, індукційне електричне поле \vec{E} переважно паралельне магнітному полю B_0 , що не в повній мірі задовольняє умови циклотронного резонансу. В той же час, на циклотронній частоті ω_{ce} у антени $m = 1$ впевнено спостерігається резонанс поглинання, який супроводжується зростанням концентрації і світіння плазми. Резонанс стає менш виразним при збільшенні ВЧ потужності і тиску газу.

Для азимутально симетричної петльової антени моди $m = 0$ поля \vec{B} і B_0 паралельні, а індуковане цією антеною електричне поле \vec{E} перпендикулярне до зовнішнього магнітного поля B_0 , що мало б бути найбільш сприятливим для прояву циклотронного резонансу. Проте, на частоті ω_{ce} резонанс у цієї антени відсутній. Резонанс з'являється знову, якщо магнітне поле B_0 розвернути на 90° навколо тієї самої антени $m = 0$.

Резонансний вплив поперечного магнітного поля на індукційний розряд був виявлений при розробці високочастотних джерел іонів для ядерно-фізичних прискорювачів [1], але спостерігався в магнітних полях, більших від циклотронного, при $\omega_{ce}/\omega \approx 2,5 - 3$. Подальшими дослідженнями було встановлено, що ці резонанси є проявом геометричних резонансів стоячих електронно-циклотронних (геліконних) хвиль. Резонанси на основній частоті у цих роботах могли не спостерігатись через підвищений тиск, значну ВЧ потужність або ж через недостатню однорідність магнітного поля, до яких геометричні резонанси не дуже чутливі.

1. *Габович М.Д.* Плазменные источники ионов. - К.: Наук. думка, 1964.

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА НЕРЕАЛИЗАЦИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ СПЛОШНОГО СПЕКТРА ПЛОТНОЙ ПЛАЗМЫ

Л. М. Войтенко, О. А. Федорович

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Из анализа распределения излучения в видимом диапазоне плазменного канала, образующегося при инициировании импульсного разряда в воде взрывом вольфрамового проводника диаметром 300 мкм, показано, что интенсивность свечения поверхности канала не коррелирует с вкладом мощности в плазму. Вклад энергии заканчивается на 20 мкс, а максимум излучения сплошного спектра наблюдается на 80 мкс. Причем интенсивность излучения практически не меняется в интервале времени от 50 до 120 мкс. Это можно объяснить нереализацией (исчезновением) уровней линейчатого спектра вольфрама вплоть до основного состояния. При этом происходит пропадание излучения от свободно-связанных переходов. При электрическом взрыве проводника его пары удается перегреть до 7000 - 10000 К. На начальной стадии разряда сразу после пробоя и до 23 мкс излучение плазменного канала не удается зарегистри-

ривать, так как яркостная температура канала ниже $6 \cdot 10^3$ К.

Изучена динамика спектра линий поглощения во времени в диапазоне длин волн 490 - 560 нм, объясняющая увеличение интенсивности излучения с течением времени. На 23 мкс в указанном диапазоне спектра наблюдается только 5 линий поглощения вольфрама с энергией возбуждения верхнего уровня 2,97 эВ. На 53 мкс видно уже 9 линий, но уже с энергией верхнего уровня – 3,06 эВ, на 83 мкс – 19 линий с энергией 4,57 эВ и т.д. В таблицах [1] в диапазоне 490 - 560 нм представлены линии вольфрама с наименьшими потенциалами возбуждения 5,9 эВ ($\lambda = 513,8$ нм) с $gf = 0,88$; 5,76 эВ ($\lambda = 524,9$ нм) с $gf = 1,2$; 5,94 эВ ($\lambda = 529,2$ нм) с $gf = 2$. Но наблюдать их в спектре поглощения в эти моменты времени не удается.

Кроме этого в видимый диапазон спектра попадает область длин волн соответствующая плазменной частоте для плазмы канала. Замечено, что с течением времени наблюдается смещение области плазменной частоты в красную часть спектра и увеличение интенсивности излучения в фиолетовой области, до значений соответствующих температуре $20 \cdot 10^3$ К. Происходит практически полное отражение излучения от границы канала, что также приводит к пропаданию излучения из него.

Сделано сравнение хода температуры во времени, полученного из расчетов по экспериментальным гидродинамическим данным и по адиабате. Видно сильное расхождение результатов. На начальной стадии разряда температура должна бы достигать значений $30 \cdot 10^3$ К. Приведена также динамика спектра излучения в области 620 - 700 нм. До 83 мкс в спектре не наблюдаются ни линии поглощения, ни линии излучения на длине волны 656,3 нм (в области H_{α})

1. Корлисс Ч., Бозман У. Вероятности переходов и силы осцилляторов 70 элементов / Пер. с англ. - М.: Мир, 1968. - 562 с.

ЗВ'ЯЗАНІ ТРИПЛЕТНІ СТАНИ ПОЗИТРОНА З ВОДНЕВО ПОДІБНИМИ АТОМНИМИ СИСТЕМАМИ В АДІАБАТИЧНОМУ НАБЛИЖЕННІ

М. І. Гайсак¹, І. І. Гайсак², М. Гнатич³, М. С. Кленівський¹

¹ *Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород*

² *Ужгородський національний Університет, Ужгород*

³ *Інститут фізики Словацької АН, Кошице, Словаччина*

У даній роботі представлені результати досліджень існування зв'язаних станів тричастинкових систем, позитрона з атомними системами, які мають один електрон. У науковій літературі (див., наприклад, [1, 2]) вважається, що система позитрон-атом водню не має зв'язаного стану. Ми розглянемо частинні розв'язки крайових задач з граничними умовами Діріхле та Неймана

для тричастинкової системи з парною кулонівською взаємодією нерелятивістського масштабованого рівняння Шредінгера [3] в одновимірному просторі, які показують наявність зв'язаного стану системи $e^+ + H$ [4]. Розглядувана задача має три незалежні змінні. Після виділення системи руху центра мас за допомогою відносних координат Якобі рівняння Шредінгера зводиться до розв'язання крайової задачі відносного руху системи від двох відносних координат.

Ввівши еліптичну систему координат для знаходження частинних розв'язків відносного руху системи, задача зводиться до двох крайових задач (за кутовою та радіальною змінними). За допомогою масштабованої функції [3], яка залежить від кутової змінної, крайова задача за цією змінною зведена до узагальненої задачі на власні значення та власні функції, які параметрично залежать від радіальної змінної. Власні функції за кутовою змінною є тригонометричними функціями з певною симетрією, які є базисними при знаходженні адиабатичних потенціалів. Швидкість збіжності тригонометричних рядів досить повільна і залежить від масштабованої функції.

Показано, що у двоканальному наближенні при знаходженні адиабатичних потенціалів енергії зв'язку для тричастинкових систем $e^+ + H$, $e^+ + He^+$, $e^+ + Li^{++}$, $e^+ + Be^{+++}$ змінюється від 0,7 до 17 а.о. Кожна із таких систем має дві серії триплетних станів, енергії зв'язку яких визначаються масами та зарядами частинок.

1. Yuan J., Esry B.D., Morishita T., Lin C.D. Phys. Rev. - 1998. - Vol. A58, No. 1.
2. Armour E.A.G., Richard J.-M., Varga K., arXiv: physics / 0411204v1 [physics. atom-ph], 2004.
3. Nakatsuji H. Phys. Rev. Lett. - 2004. - Vol. 93, No. 3. - P. 030403.
4. Haysak M., Haysak I., Hnatich M. Bound states of the three-particle quantum system of $H-e^+$, Thesis of BGL. 8-th Int. Conf. on Non-Euclidean Geometry in Modern Physics and Mathematics, P. 2, Uzhorod, Ukraine, 2012.

ПЛАЗМОВО-РІДИННА СИСТЕМА З ОБЕРТОВО-КОВЗНОЮ ДУГОЮ ТА ВТОРИННИМ РОЗРЯДОМ

Д. К. Гамазін, В. В. Юхименко, В. Я. Черняк

*Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна*

Одним з напрямків досліджень у сучасній плазмохімії є вирішення проблеми енергоефективності. Процеси, у яких безпосередньо використовується енергія плазми для здійснення хімічних перетворень зазвичай вирізняються значною енергоємністю. Окрім того, вирішення проблеми селективності хімічних процесів у плазмохімічних системах вимагає нових підходів до використання електричного розряду. Таким чином, актуальним є створення енер-

го ефективних систем, які б у той же час, дали змогу впливати на властивості плазмово-рідинних систем. у широких межах, задля забезпечення селективності процесів.

Вирішенням першої з цих проблем може бути використання плазмово-каталітичного підходу, коли плазма не розглядається як безпосереднє джерело енергії для хімічних перетворень, а слугує джерелом активних часток, які запускають хімічні реакції, та виступають у ролі каталізатору. Яскравим прикладом такої системи слугують плазмово-рідинні системи.

Вирішенням другої проблеми може бути використання вторинного розряду у плазмово-рідинній системі. У такому режимі, електрична дуга виконує роль джерела іонізації для вторинного розряду, який, у свою чергу, є інструментом впливу на реакційне середовище.

З огляду на це, було сконструйовано плазмохімічну установку з обертово-ковзною дугою та вторинним розрядом, де у якості реакційного середовища, що підлягає плазмовій обробці, виступає рідина. У якості первинного розряду використовувалася обертово-ковзна дуга. Вибір саме цього типу розряду зумовлений підвищеним ресурсом роботи подібних систем.

Було проведено дослідження електричних параметрів системи. Зокрема, побудовані вольт-амперні характеристики основного (підтримуючого) розряду. Також досліджені залежності електричних параметрів несамостійного розряду від струму самостійного.

Результати дослідження електричних параметрів плазмової системи, а також дослідження емісійних спектрів плазми, буде наведено в доповіді.

ВПЛИВ НАПРУГИ ЗМІЩЕННЯ НА РОЗПИЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ТА ШВИДКІСТЬ ТРАВЛЕННЯ КРЕМНІЮ

В. В. Гладковський, Б. П. Полозов, О. А. Федорович

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Плазмохімічне травлення (ПХТ) успішно застосовується в технологічних процесах виготовлення виробів мікроелектроніки, силових приладів, мікро-механіки, обчислювальної, СВЧ-техніки, сонячної енергетики і т. д. [1]. Процеси, що протікають в плазмохімічних реакторах (ПХР), вивчені недостатньо. Це пов'язано зі складністю діагностики явищ, що відбуваються в хімічно активній багатоконпонентній плазмі. Недостатньо вивчені питання впливу електронної та іонної стимуляції, а також енергії стимулюючих частинок на швидкість травлення різних матеріалів, включаючи найбільш широко використовуваний в електронній промисловості матеріал - кремній.

Мета даної роботи - вивчення впливу полярності і величини постійної напруги, прикладеної між активним і заземленим електродами, на швидкість травлення кремнію. Необхідно з'ясувати причини зменшення швидкості травлення кремнію при збільшенні напруги зміщення на робочому електроді вище -250 В.

Дослідження проводилися на ПХР, описаних в [2, 3]. Використовувався ВЧ генератор з частотою 13,56 МГц і потужністю 1 - 4 кВт. Робочий тиск в реакторі змінювався від 10^{-2} до 10^{-1} Тор.

Збільшення часу травлення пластин фотоелектричних перетворювачів призводить до дифузії хімічно активних атомів і радикалів між пластинами і появі затравів ближче до торців, що призводить до зниження їхнього ККД. Результати проведених досліджень дають змогу підібрати оптимальні режими травлення кремнію з мінімальними радіаційними пошкодженнями.

За допомогою магнітних полів вдається регулювати напруги автозміщення від 0 В до -1000 В. При підвищенні напруги зміщення між електродами вище -250 В відбувається інтенсивне розпорощення робочого електрода і переосадження атомів металів, що не утворюють летючих речовин з фтором і хлором. Це призводить до різкого зниження швидкості травлення монокремнію. На спектрах випромінювання при цьому з'являються лінії, що належать збудженим атомам матеріалів, з яких виготовлений робочий електрод. На поверхні кремнію, обробленого при цих умовах, за допомогою рентгенівського аналізу виявлені домішки цих же матеріалів, що свідчить про переосадження розпорощених матеріалів на поверхню оброблюваних зразків. Кількість домішок збільшується зі збільшенням від'ємної напруги зміщення. Обробляти кремній та інші матеріали необхідно при напругах зміщення менших -250 В.

1. Данилин Б.С., Киреев В.Ю. Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 264 с.
2. Костин Е.Г., Усталов В.В., Федорович О.А. Масс-спектрометрическое исследование химически активной плазмы в высокочастотных разрядах в управляемых магнитных полях // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних досл. - 2004. - № 2(13). - С. 86 - 95.
3. Федорович О.А., Кругленко М.П., Полозов Б.П. Особенности плазмохимического травления торцов кремниевых пластин для фотоэлектрических преобразователей // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. - 2009. - № 6. - С. 46 - 49.

ВПЛИВ НАПРУГИ ЗМІЩЕННЯ НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ПОВЕРХНІ МОНОКРЕМНІЮ ПРИ ПЛАЗМОХІМІЧНОМУ ТРАВЛЕННІ

В. В. Гладковський, Б. П. Полозов, О. А. Федорович

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Плазмохімічне травлення (ПХТ) напівпровідникових матеріалів є одним з найважливіших технологічних процесів, що мають місце у мікроелектроніці. ПХТ поверхні оброблюваного матеріалу проходить при взаємодії вільних

атомів і радикалів з поверхневими атомами оброблюваного матеріалу [1]. Ці процеси можуть стимулюватись випромінюванням плазми, електронними та іонними співударями з поверхнею. Будь які зміни параметрів плазми, а також стану поверхні матеріалу, можуть проявлятися як у поліруванні, так і в розвітку шорсткості поверхні.

Важливе місце серед напівпровідникових матеріалів у створенні пристроїв мікроелектроніки належить кремнію. Існуючі методи обробки його поверхні, а саме механічна, хімічна та електрохімічна мають обмежені можливості. Крім цього механічна обробка приводить до пошкоджень верхніх оброблюваних шарів поверхні. Плазмохімічне травлення має істотні переваги перед зазначеними методами.

Плазмохімічне полірування поверхні, яке дає змогу зняти пошкоджені поверхневі шари має важливе значення у створенні пристроїв на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ). Для запобігання відбивання хвилі необхідно, щоб дефекти на поверхні мали розміри, на порядок менші, ніж довжина ПАХ. В ряді інших застосувань, ПХТ може використовуватися для збільшення поверхневої шорсткості матеріалу. Це в свою чергу, може використовуватися для підвищення поглинальної здатності поверхні сонячних батарей і т. д. Дані технологічні проблеми вирішуються шляхом іонно-плазмового розпилення при енергії іонів від 200 еВ до декількох кеВ [2]. Експериментальних даних про вплив енергії іонів < 200 еВ на оброблювану поверхню дуже мало. Необхідно з'ясувати вплив напруги зміщення на формування структури поверхні моно кремнію низько енергетичними іонами. В плазмохімічних реакторах (ПХР) без магнітного поля напруга зміщення $U_{зм}$ приблизно дорівнює амплітуді змінної напруги прикладеної до розряду і практично визначає середню енергію іонів.

Монокристалічні пластини кремнію оброблялись в ПХР, основною особливістю якого являється використання ВЧ розряду (13,56 МГц) в схрещеному магнітному полі, що дає змогу регулювати енергію іонів і працювати при енергіях ≤ 200 еВ. ПХТ проводилося з використанням основного робочого газу гексафториду сірки (SF_6) з добавкою кисню (O_2) до 10 %. Тиск робочих газів змінювався в діапазоні 0,04-0,10 Тор. Струм розряду I_p регулювався від 4 А до 8,5 А. Час травлення змінювався від 10 хв. до 70 хв. Напруга зміщення $U_{зм}$ регулювалась від -130 В до 0 В.

Результати досліджень показали суттєву залежність структури поверхні від напруги зміщення (енергії іонів). При високій $U_{зм}$ спостерігається значна шорсткість поверхні, яка зменшується при зниженні напруги. Також було встановлено залежність швидкості травлення монокремнію від $U_{зм}$, яка показала, що при зменшенні від'ємної напруги зміщення швидкість травлення зростає.

1. Данилин Б.С., Киреев В.Ю. Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 264 с.
2. Ивановский Г.Ф., Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов. - М.: Радио и связь, 1986. - 232 с.

ДОСТАТОЧНОЕ УСЛОВИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ГОРИНА

В. В. Горин

vvgorin@mail.ru

В диссертации Горина В.В. [1], а также в его недавней работе [2] были сформулированы необходимые и достаточные условия существования и единственности решения стационарного уравнения для нелокального источника ионизации в тлеющем разряде и полом катоде (уравнения Горина) [3]. Согласно критериям Адамара, для окончательного вывода о корректности постановки задачи отыскания решения требуется сформулировать достаточные условия устойчивости и доказать устойчивость стационарного решения кинетического уравнения, посредством которого формулируется интегральное уравнение источника.

Дальнейшие исследования показали, что достаточное условие *существования* решения – существование положительного минимума для частоты гибели электронов при всех энергиях – одновременно является и достаточным условием *устойчивости* стационарного решения. Действительно, если рассмотреть нестационарное кинетическое уравнение

$$\frac{\partial f}{\partial t} + Lf = s, \quad (1)$$

в котором линейный оператор L и источник s не зависят явно от времени, то исследование устойчивости стационарного решения f_0 уравнения $Lf_0 = s$ сводится к исследованию спектра оператора L . Подставляя нестационарное решение в виде $f(t, q) = f_0(q) + \delta f(t, q)$ в уравнение (1), для нестационарного возмущения получим:

$$\frac{\partial \delta f}{\partial t} + L\delta f = 0. \quad (2)$$

Представляя возмущение в виде $\delta f(t, q) = e^{-\lambda t} g(q)$, получим задачу на собственные значения для оператора L . Видно, что условием устойчивости является отсутствие в спектре оператора собственных значений с неположительной вещественной частью.

В настоящей работе показано, что нигде не исчезающая частота гибели электронов гарантирует положительность вещественной части спектра, а именно, для всех собственных значений оператора L выполнено неравенство

$$\operatorname{Re} \lambda \geq \min_{q \in \Xi} \omega(q) > 0, \quad (3)$$

где ω - частота гибели электронов, Ξ - область фазового пространства электронов, способных к ионизации электронным ударом.

1. Горин В.В., Петрухин В.А., Черняк В.Я. Математические модели нелокальной кинетики электронов в тлеющем разряде с полым катодом: Учеб. пособие. - М.: МФТИ, 2011. - 128 с.
2. Gorin V.V. Sufficient condition of solution existence of the Gorin equation. - Int. Conf. and Sch. on Plasma Phys. and Contr. Fusion, Kharkov (Ukraine), September 15 - 18, 2014, P. 131.
3. Gorin V.V. Non-local model of hollow cathode and glow discharge – theory calculations and experiment comparison // European Physical Journal D. - 2010. - Vol. 59. - P. 241 - 247.

ВПЛИВ ЕФЕКТІВ АНІЗОТРОПІЇ ТИСКУ НА СПЕКТРИ КІНКІВ ПІНЧА З НИЗЬКИМ ЗАПАСОМ СТІЙКОСТІ

А. А. Гурін

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Досліджено структуру і дисперсію гвинтових глобальних кінк-мод z-пінчів при малому запасі стійкості, $q \ll 1$, на основі холлівського розширення МГД теорії з урахуванням ефектів анізотропії нагріву плазми під впливом коливальних. У циліндричному наближенні розглянуто стійкість кінків $m = 1$, $n \gg 1$ при довільному значенні холлівського параметра та радіальному розподілі складових магнітного поля ($0, B_\theta(r), B_z(r)$), швидкості обертання іонів ($0, V_\theta(r), V_z(r)$) та анізотропного тиску електронів та іонів $P_{||}(r), P_\perp(r)$. Холлівські ефекти забезпечать наявність реальної частоти резонансних кінків, що дає змогу аналізувати їхній вплив на квазістаціонарні процеси самоорганізації рівноваги пінча в високочастотному наближенні. Показано, що анізотропний тиск впливає на структуру глобальних резонансних мод, що полегшує їхню регуляризацію, але при цьому зростає порядок диференційної крайової задачі для визначення комплексних частот та амплітуд в ідеальному наближенні. Замикання системи рівнянь для амплітуд коливальних усіх макроскопічних параметрів включно з двокомпонентним тиском досягається з використанням кінетичних рівнянь електронів і іонів в основному наближенні дрейфової теорії для функцій розподілу, усереднених по куту гірації частинок. Проведені перші розрахунки структури та дисперсії резонансних мод методом стрільби для розширеної крайової задачі. Запропоновано також розширення для квазілінійної МГД моделі насичення спектрів кінків як в одномодовому режимі, так і для довільного набору мод. Квазілінійна модель утворюється усередненням рівнянь балансу сил інерції електронів та іонів та тензора магнітної напруги по магнітній поверхні $r = const$ з утриманням внесків амплітуд коливальних у вигляді білінійних форм.

ОСОБЛИВОСТІ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ КІНЕТИКИ РЕФОРМІНГУ БІОЕТАНОЛУ В ПЛАЗМО-КАТАЛІТИЧНОМУ РЕАКТОРІ

Т. С. Донченко¹, О. М. Цимбалюк², В. Я. Черняк¹, Д. С. Левко³

¹ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

² *Східноукраїнський національний університет
імені Володимира Даля, Сіверськодоонецьк*

³ *The University of Texas, Austin, TX, USA*

Син-газ (суміш оксиду вуглецю CO і водню H₂) є важливим проміжним продуктом для синтезу різних хімічних речовин, таких як аміак, метанол, газолін, дизельне паливо та інші. Одним із методів отримання синтез-газу є плазмовий реформінг біоетанолу. В його основі лежить використання плазми електричних розрядів різного типу в газовому середовищі. Під дією електронних ударів в плазмі руйнуються молекули води та кисню, з яких утворюються активні хімічні радикали. Вони починають ланцюг хімічних реакцій, які призводять до генерації син-газу або інших корисних компонентів. Але хімічні реакції між окислювачем та етанолом призводять до виділення енергії, і як наслідок плазма стає рівноважною та втрачає властивість селективності реакцій при електронному зіткненні. Підтримка потрібного рівня активних радикалів H та OH стає більш енерговитратним. Можливим вирішенням цієї проблеми є спосіб плазмового каталізу, в якому плазмову активацію проходить тільки окиснювач. Це призводить до підвищення енергоефективності на декілька порядків [1].

Для більш детального теоретичного дослідження плазмо-хімічних реакцій які протікають в плазмо-каталітичній системі під час реформінгу необхідно створити модель фізико-хімічних процесів, які б описували це явище із прийнятною точністю. Для плазмо-каталітичної системи характерна складна картина взаємодії потоку активованого плазмою обертово-ковзного розряду окисника з потоком «Торнадо» суміші вуглеводню з окисником. Крім того для моделювання кінетики плазмового реформінгу біоетанолу використовують 130 хімічних реакцій та 43 електронно-молекулярні реакції [2]. Повний цикл обчислення, навіть на сучасному ПК, займає декілька днів, тому необхідно виділити основні реакції, які відповідають за напрацювання CO і H₂. Це дасть змогу зосередитись тільки на тих реакціях, які відіграють вирішальну роль, а також зменшити час моделювання.

Для моделювання з використанням повного списку реакцій були відібрані реакції, швидкість яких перевищує на порядок, або декілька порядків від швидкості реакцій відповідних за напрацювання цільового продукту. Ці реакції були зведені в єдиний список. Дана операція була проведена для таких компонент як: CO, H₂, O, OH, O₂, CO₂, H₂O, NO₂, HCO, CH, CH₂, CH₂O, CH₃, CH₃CO, CH₃CHO, C₂H₅O, C₂H₅OH, C₂H₃, C₂H₄, C₂H₅, C₂H₆.

1. *Chernyak V.Ya., Nedybaliuk O.A., Martysh E.V. et al.* Plasma catalysis of chemical reactions // Problems of atomic science and technology. - 2014. - No. 6. - P. 124 - 129.
2. *Цымбалюк А.Н., Левко Д.С., Черняк В.Я. и др.* Влияние температуры газовой смеси на эффективность получения синтез-газа из этанола в неравновесной плазме // Журнал технической физики. - 2013. - Т. 83, вып. 8.

ЗМІНА НЕЙТРОННОГО ВИХОДУ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ ІОНІВ ІНЖЕКТОВАНОГО ПУЧКА ЗІ ЗБУДЖЕНОЮ ЦИМИ ІОНАМИ МОДОЮ E-GAM В ТОКАМАКАХ

Я. І. Колесниченко, Б. С. Лепявко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Експерименти на токамаці DIII-D (США) показали, що при нагріванні плазми пучками іонів, можуть збуджуватися так звані E-GAM (Energetic Particle induced GAM mode) коливання – тобто геодезичні акустичні моди (GAM), зумовлені енергійними частинками [1]. Ця нестійкість супроводжувалась значними (10-15%) падіннями нейтронного виходу. В роботі [2] було показано, що гальмування швидких іонів пучка внаслідок взаємодії з E-GAM призводить до їхнього радіального зміщення. Таким чином, змінюється функція розподілу іонів пучка у плазмі. Це дає підстави припустити, що зміна нейтронного виходу зумовлюється перерозподілом швидких іонів. Для перевірки цього припущення було проведено аналітичні розрахунки та чисельне моделювання.

У роботі [2] було зроблено оцінку радіального зміщення швидких іонів в залежності від кількості енергії, яку вони передали моді при гальмуванні. На підставі цих розрахунків, знаючи функцію розподілу швидких іонів на момент виникнення E-GAM (вона може бути відомою з експерименту, або ж можна взяти певну модельну функцію), було виведено аналітичний вираз для визначення гіпотетичної функції розподілу іонів через певний час після збудження моди – і, відповідно, початку її взаємодії з цими ж іонами. Знаючи початкову та кінцеву функції розподілу швидких іонів, можна оцінити кількість реакцій синтезу між іонами пучка та плазмою на початку та в кінці взаємодії іонів з модою. Нейтронний вихід пропорційний до цієї величини, а відтак дані розрахунки дають змогу оцінити його зміну впродовж еволюції функції розподілу швидких іонів.

Використовуючи виведені аналітичні вирази, було проведено ряд чисельних розрахунків для різних початкових функцій пучка. Для випадку початкових функцій у вигляді $(1 - x^2)^n$ (де $x = r/a$, r – радіальна координата, a – малий радіус плазми) побудовано залежність форми результуючої функції розподілу від степеневого параметра n початкової. Для серії цих функцій обраховано залежність зміни нейтронного виходу від форми початкової функції розподі-

лу пучка. Показано, що порахована таким чином зміна нейтронного виходу може становити 10 - 15 %, що було спостережені в експерименті [1], і навіть перевищувати це значення.

1. *Nazikian R. et al. Phys. Rev. Lett. - 2008. - Vol. 101. - P. 185001.*
2. *Kolesnichenko Ya.I., Lutsenko V.V., Lepiavko B.S. Phys. Lett. - 2014. - Vol. A378. - P. 2683.*

ВПЛИВ E-GAM МОДИ НА ІОНИ ПУЧКА В ТОКАМАКАХ

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Метою роботи є дослідження процесу передачі енергії від пролітних енергійних іонів, що з'являються у плазмі внаслідок інжекції пучка нейтральних атомів, до GAM-моди (глобальної геодезичної акустичної моди) та E-GAM (GAM, викликана швидкими частинами), а також дослідження можливості радіального руху цих іонів внаслідок взаємодії зі згаданими модами. Ці питання постали після спостереження суттєвих (10-15%) падінь нейтронної емісії при спалахах E-GAM, викликані пучком швидких іонів, інжекттованих у протилежному до струму плазми напрямку, на токамаці DIII-D (США) [1]. Оскільки майже всі нейтрони є продуктами реакції між швидкими іонами пучка та плазмою, подібні падіння нейтронної емісії можуть свідчити про зміщення іонів на периферію або ж і взагалі про їхню втрату. Вважалося [2], що це явище можна пояснити зміною пітч-кута швидких іонів, що призводило до трансформації орбіт цих іонів і перетворення пролітних частинок на захоплені. Стверджувалося, що радіальне зміщення у випадку GAM (E-GAM) не відбувається через збереження узагальненого моменту імпульсу P_{ϕ} .

У нашій роботі показано що, незважаючи на збереження P_{ϕ} , механізм радіального зміщення швидких іонів все ж існує. Було розроблено теорію поведінки швидких іонів при взаємодії з GAM (E-GAM). Показано, що ця взаємодія призводить як до зміни пітч-кута, так і до радіального зміщення, яке є прямим наслідком гальмування швидких іонів. Для того, щоб цей ефект мав суттєве значення, необхідна наявність широкої резонансної області «частинка-хвиля». Тому було проведено необхідні оцінки і показано, що у даному випадку така область дійсно може існувати завдяки значним флуктуаціям густини плазми при збудженні GAM. Також на основні отриманих рівнянь було проведено числові моделювання, завдяки яким вдалось побудувати залежність радіального зміщення частинки від кількості втраченої енергії (внаслідок взаємодії з модою) [3]. Ці розрахунки показали, що це зміщення може бути достатньо значним, щоб спричинити зміну просторової функції розподілу частинок пучка, що, в свою чергу, може призвести до зміни кількості реакцій синтезу і, відповідно, зміни нейтронного виходу. Останнє явище розглянуте в окремій роботі [4].

1. *Nazikian R. et al. Phys. Rev. Lett.* - 2008. - Vol. 101. - P. 185001.
2. *Fisher R.K. et al. Nucl. Fusion.* - 2012. - Vol. 52. - P. 123015.
3. *Kolesnichenko Ya.I., Lutsenko V.V., Lepiavko B.S. Phys. Lett.* - 2014. - Vol. A378. - P. 2683.
4. *Колесниченко Я.І., Лепявко Б.С. // Тези доп. XXII щорічної наук. конф. Ін-ту ядерних досл. НАН України. Київ, 26-30 січня 2015. - Київ, 2015. - С. 145.*

ТЕОРІЯ ПЛАЗМОВОГО ДВИГУНА НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ

Я. І. Колесниченко, В. В. Луценко, Т. С. Руденко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

В останні роки були запропоновані та досліджені безелектродні електричні силові системи (EEPS) [1 - 4]. Основна ідея EEPS створення тяги прискорюючи плазму ВЧ полем за допомогою антени чи електродів, що не контактують з плазмою. Так як антена/електроди не торкаються плазми – відсутня ерозія електродів та забруднення плазми, що значно збільшує час життя двигуна. Завдяки цій особливості EEPS можуть бути використані для довготривалих космічних місій, якщо такі системи вдасться реалізувати. Однак прискорення плазми ВЧ полем експериментально поки що не спостерігалось, що можна пояснити потребою в оптимізації системи [4].

Для оптимізації EEPS потрібно зрозуміти, які фізичні процеси протікають в двигуні. Тому розробка теорії EEPS вкаже шлях для оптимізації. Нами досліджувалась тільки область прискорення.

Розроблено теорію EEPS, що базуються на магнітному полі соленоїда і електромагнітного поля, яке обертається. В розгляд також включено вивчення прискорення плазми ВЧ полем і супутньої тяги. Передбачається, що ВЧ частота перевищує нижньо-гібридну частоту, але значно менша ніж електронна гірочастота. Отримано та проаналізовано вираз для тяги. Показано, що приріст тяги значний тільки тоді, коли дрейфова швидкість, індукована ВЧ полем, перевищує швидкість інжектваної плазми. Кривизна ліній магнітного поля і прискорення плазми за межами соленоїда є факторами, які можуть значно збільшувати тягу. З іншого боку, аксіальна неоднорідність та деякі інші фактори можуть негативно впливати на тягу. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації експериментів направлених на створення двигуна для довготривалих космічних місій.

1. *Toki K. et al. Plasma Acceleration in a Compact Helicon Source Using RF Antennae // J. Plasma Fusion Res. SERIES.* - 2009. - Vol. 8. - P. 25 - 30.
2. *Matsuoka T. et al. Scaling laws of Lissajous acceleration for electrodeless helicon plasma thruster // Plasma and Fusion Research: Regular Articles.* - 2011. - Vol. 6. - P. 2406103(1) - 2406103(4).

3. *Matsuoka T. et al.* One dimensional modelling of radio frequency electric field penetration into magnetized plasmas // Jpn. J. Appl. Phys. - 2012. - Vol. 51. - P. 096201(1) - 096201(7).
4. *Shinohara S. et al.* High-density plasma sources: basics and application to electrodeless electric propulsion // Trans. of Fusion Science and Technology. - 2013. - Vol. 63. - P. 164 - 167.

МОДЕЛЮВАННЯ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ПЛАЗМОВООПТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ

**І. Літовко¹, А. Гончаров², А. Добровольський², Л. Найко², И. Найко²,
В. Гушенец³, Е. Окс³**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Інститут фізики НАН України, Київ*

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

У роботі описано аксіально-симетричні циліндричні плазмо-оптичні пристрої, в основі яких лежить електростатична плазмова лінза. Представлено результати чисельного моделювання двох плазмово-оптичних приладів нового покоління, які представляють інтерес для сучасних технологій. Наведено результати подальшого розвитку чисельної моделі динаміки пучка сильнотрумових електронів в хмарі позитивного просторового заряду, створеного циліндричним прискорювачем з анодним шаром та магнітною ізоляцією електронів. Для коректного опису взаємодії сильнотрумового пучка з хмарою просторового заряду враховано процеси іонізації остаточної газу. Показано, що внаслідок народження в об'ємі пучка вторинних часток - повільних електронів та іонів, в деяких випадках може різко підсилитися іонізація газу, а також зменшитися дія власних полів на частинки пучка, що буде впливати на фокусування та умови транспортування електронного пучка. Встановлено: що плазма хмари об'ємного заряду стабілізує роботу джерела електронів та разом з фокусуєчими можливостями лінзи посилює стиск пучка. Приведено також результати чисельного експерименту проходження пучка негативних іонів водню скрізь лінзу позитивного об'ємного заряду. Також описана модель оригінального плазмового прискорювача з відкритими газовими стінками та замкнутим дрейфом електронів який може бути використано для створення ефективної плазмової лінзи з позитивним просторовим зарядом, а також як маневровий ракетний двигун. Знайдено аналітичні розв'язки для одновимірної моделі. Отримані результати добре узгоджуються з експериментальними даними.

ВИСОКОЧАСТОТНІ НЕСТІЙКОСТІ ІНДУКОВАНІ ЕНЕРГІЙНИМИ ІОНАМИ В МАГНІТНИХ ОСТРОВАХ

В. С. Марченко, С. М. Резник

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Популяція енергійних іонів є критичною для успіху контрольованого ядерного синтезу. В розрядах токамаків з рекордними параметрами, нагрівання плазми та суттєва частка без-індуктивного струму забезпечуються енергійними іонами, які генеруються нейтральною інжекцією або нагріванням малої домішки на іонному циклотронному резонансі. Термоядерні альфа-частинки будуть відповідати за підтримання термоядерного горіння в майбутніх реакторах.

Інжекція енергійних іонів віддаляє плазму від термодинамічної рівноваги. Тому не дивно, що така інжекція часто супроводжується нестійкістю плазми. Розмаїття альфвенових мод, від «фішбонів» [1] (діапазон частот іонного діамагнітного дрейфу) до компресійних та двох-іонних гібридних мод [2] (діапазон іонної циклотронної частоти), широко вивчалися в останні десятиліття. В даній роботі показано, що за певних умов швидкі іони можуть збуджувати нестійкість з набагато більшою частотою, значно вище частоти нижнього гібридного резонансу (до кількох ГГц в сучасних токамаках). Така ситуація виникає коли іони генеруються в макроскопічних магнітних островах або дуже близько від магнітної осі термоядерних пристроїв. Оскільки типово $\rho_i \ll \rho_\alpha \sim W$, де $\rho_{i(\alpha)}$ - ларморовський радіус теплового (енергійного) іона і W - півширина острова, велика частка енергійних іонів всередині острова обходить О-точку острова в процесі циклотронного обертання, утворюючи таким чином популяцію з сильним азимутальним потоком навколо цієї точки. Результатом є гідродинамічна нестійкість типу дрейфової нижче-гібридної нестійкості [3], де збуджуючий градієнт концентрації природно виникає внаслідок енергетичного розподілу швидких іонів, які гальмуються електронами і кружляють навколо О-точки. Буде обговорено можливий зв'язок цих мод зі спалахами аномального розсіяння мікрохвиль магнітними островами, що обертаються, які спостерігалися на німецькому токамаку TEXTOR [4].

1. McGuire K. et al. // Phys. Rev. Lett. - 1983. - Vol. 50. - P. 891.
2. Oliver H.J.C. et al. // Plasma Phys. Control. Fusion. - 2014. - Vol. 56. - P. 125017.
3. Sizonenko V.L., Stepanov K.N. // Nucl. Fusion. - 1967. - Vol. 7. - P. 131.
4. Westerhof E. et al. // Phys. Rev. Lett. - 2009. - Vol. 103. - P. 125001.

НЕРІВНОВАЖНІСТЬ ПЛАЗМИ В ДИНАМІЧНИХ ПЛАЗМОХІМІЧНИХ СИСТЕМАХ

**О. А. Недибалюк, В. Я. Черняк, І. І. Федірчик, В. В. Юхименко,
О. В. Соломенко, Ю. П. Веремій, І. В. Присяжневич, В. О. Шаповал**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка. Київ

Розглянуто особливості реформування етанолу з урахуванням впливу екзотермічних хімічних реакцій на рівень нерівноважності газорозрядної плазми. Показано, що вплив екзотермічних хімічних реакцій на рівень неізотермічності плазми може бути надзвичайно високим і спрямованим на зниження відриву поступальної температури від коливальної температури плазми. Перехід від активації плазмою обох компонент паливної суміші до активації тільки окисника в гібридних плазмово-каталітичних системах окисно-парового реформінгу призводить до істотного зростання відношення теплової енергії від повного спалення продуктів (синтез-газу) конверсії етилового спирту до електричної енергії, яка витрачається на генерацію плазми, що активує конверсію.

Побудовано якісну модель впливу хімічних реакцій на рівень неізотермічності плазми. На її основі розроблено комплексну окисно-парову активовану плазмою схему реформінгу вуглеводнів. Ця схема забезпечує відношення теплової енергії від повного спалення продуктів реформінгу вуглеводнів (синтез-газ) до електричної енергії, яка витрачається на генерацію плазми, що активує реформінг, понад 100 разів і коефіцієнт корисної дії (ККД) перетворення хімічної енергії майже 90% (відношення теплової енергії від спалення отриманого синтез-газу до теплової енергії від спалення витраченого вуглеводню).

ВИПРОМІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕНЕРГІЇ В ТУРБУЛЕНТНІЙ НЕОДНОРІДНІЙ ПЛАЗМІ

В. М. Павленко, В. Г. Панченко, М. А. Белошенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Важливим інструментом для вивчення властивостей матерії є розсіяння (трансформація) електромагнітних хвиль у плазмі. Першочергову актуальність в цьому контексті відіграє розуміння ролі флуктуацій в процесах трансформації хвиль, оскільки повністю однорідне середовище не розсіює радіацію, - отже принциповий висновок полягає в тому, що будь-яке розсіяння (трансформація) може відбуватися лише завдяки наявності неоднорідності густини в плазмі.

Слід додати, що аналізуючи розсіяне і трансформоване випромінювання, можна отримати достатньо інформації про характеристики плазми. Цей ме-

тод діагностики плазми є важливим для дослідження лабораторної і космічної плазми.

У роботі на базі кінетичної теорії флуктуацій розглянуто процес трансформації повздовжньої ленгмюрівської хвилі в поперечну електромагнітну хвилю в турбулентній неоднорідній плазмі, яка знаходиться під впливом електромагнітного випромінювання на верхньогібридній частоті. Процес розглядається в присутності параметричної нестійкості, яка має місце при розпаді верхньогібридної хвилі накачки на дочірню хвилю і електронно-дрейфові коливання.

Знайдено вираз для коефіцієнта трансформації та його залежність від поля накачки.

Отримана інтенсивність електромагнітного випромінювання у турбулентній плазмі із урахуванням неоднорідності плазми.

Результати роботи є актуальними для вивчення механізмів випромінювання електромагнітних хвиль як у лабораторній так і в космічній плазмі.

ВПЛИВ ДОМІШОК МІДІ НА ВЛАСТИВОСТІ ПЛАЗМИ ПІДВОДНИХ РОЗРЯДІВ

П. В. Порицький, П. Д. Старчик

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Взаємодія плазми з речовиною, яка оточує розрядний канал підводних розрядів, як правило, має турбулентний характер, обумовлений розвитком гідродинамічних нестійкостей у зоні контакту плазми з оточенням. Хаотичний перерозподіл потоків речовини в цій зоні підсилює обмінні процеси в плазмі і грає домінуючу роль у розвитку розрядів у конденсованих середовищах. Внаслідок цього плазма підводних розрядів має багатокомпонентний склад.

Мідь є одним із найпоширеніших матеріалів електродів й тому часто є складовою плазмового середовища підводних розрядів. При розрахунку транспортних властивостей плазми у водному середовищі із домішками найбільш важливими чинникам є такі: газова та плазмова неідеальності, багатокомпонентність середовища. Врахування цих факторів дає змогу отримати транспортні коефіцієнти із прийняттям до уваги певних особливостей мідних металевих домішок у плазмі водного середовища.

Показано, що властивості щільної водної плазми мають яскраво виражений немонотонний характер із гострими піками у визначених температурних та тискових межах. Ці піки відповідають дисоціації, іонізації та іншим впливовим чинникам. Вплив металевих мідних домішок має суттєвий характер на плазмові властивості. Поява металевих мідних домішок призводить до підвищення провідності та густини енергії у плазмі.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРЯДНИХ СИСТЕМ З ЖЕВРІЙНИМ МІКРОРОЗРЯДОМ

**Ок. В. Соломенко, Ол. В. Соломенко, В. Я. Черняк, В. В. Лендел,
Д. О. Калустова, І. В. Присяжневич**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Інтерес до нерівноважної мікророзрядної плазми атмосферного тиску, та до негроміздких та недорогих приладів, що її генерують, з'явився досить давно. Така плазма може ефективно застосовуватися для обробки живих тканин (мікробіології, медицині і т.д.). Також перспективним напрямком сьогодні є отримання наноматеріалів з використанням мікророзрядів. Для вирішення цих та багато інших завдань можна використовувати мікроплазмові генератори.

Робота присвячена дослідженню параметрів плазми мікророзряду, що генерувалася при струмах, які можна співставити областям піднормального жеврійного розряду, перехідній області до нормального розряду та нормальному жеврійному розряду. Також, досліджувалася поведінка вторинного розряду, що підтримувалася мікророзрядним факелом.

Мікророзрядною конструкцією є аксіально-симетрична система з вихровою подачею повітря. Мікророзряд горів між мідними електродами, один з яких представляв собою диск з отвором на осі, а інший - циліндричний електрод з конічним загостренням на кінці. Робочий газ вводився в систему тангенційно до бічної поверхні і створював плазмовий потік, що витікав через отвір в дисковому електроді. Дослідження проведені для різних відстаней між електродами і при потоках повітря $\sim n$ л/хв. Як робочий газ використовували Ar, N₂, CO₂ та повітря.

Методом оптичної емісійної визначалися компонентний склад плазми мікророзряду, відносні концентрації компонент плазми та температури заселення електронних (T_e^*), коливальних (T_v^*) та обертальних (T_r^*) рівнів компонент плазми мікророзряду.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО КАНАЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ ТА СТОХАСТИЗАЦІЇ РУХУ ШВИДКИХ ІОНІВ ВИСОКОЧАСТОТНИМИ НЕСТІЙКОСТЯМИ ПЛАЗМИ

М. Г. Тищенко¹, Ю. В. Яковенко^{1,2}

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

^{1,2} *Національний університет «Києво-Могилянська академія», Київ*

У багатьох експериментах на сферичному токамаці NSTX при досить високій потужності інжекції нейтрального пучка спостерігались множинні високочастотні нестійкості з частотами $f = \omega / (2\pi) \sim 0,5 \div 1$ МГц [1, 2]. Ці частоти

ти були ідентифіковані як GAE (global Alfvén eigenmodes) та CAE (compressional Alfvén eigenmodes), які збуджуються швидкими іонами. У роботі [3] було показано, що ці нестійкості можуть відбирати енергію від швидких іонів і віддавати її в іншому місці (просторове каналування), що пояснює охолодження плазми в центральній області при збільшенні потужності інжекції нейтрального пучка.

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. Отримано аналітичний вираз для ширини резонансного острова, створеного альфвеновою власною модою в фазовому просторі. Досліджено можливий вплив мегагерцових альфвенових нестійкостей в токамаці NSTX. Оцінено кількість та амплітуду мод, потрібних для утворення стохастичної зони у певному діапазоні енергій.

За допомогою двох числових кодів проведено числові перевірки цих оцінок. Рух частинок вивчається в наближенні ведучого центру без урахування циклотронних резонансів (які, ймовірно, відіграють основну роль в збудженні високочастотних GAE нестійкостей в NSTX). Було використано два підходи: побудова карт Пуанкаре (для однієї хвилі) та адиабатичний вплив пакету хвиль (досліджується зміна енергії набору тестових частинок певним чином розподілених у фазовому просторі після адиабатичного (достатньо повільного) ввімкнення, а потім вимкнення збурення, яке складається з кількох хвиль). Результати цих числових розрахунків узгоджуються між собою з задовільною точністю.

Робота частково підтримана проектом #0114U000678 Національної академії наук України

1. Crocker N.A. et al. // Nucl. Fusion. - 2013. - Vol. 53. - P. 043017.
2. Stutman D. et al. // Phys. Rev. Lett. - 2009. - Vol. 102. - P. 115002.
3. Kolesnichenko Ya. I. et al. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol. 104. - P. 075001.

ПЛАЗМОВО-КАТАЛІТИЧНЕ РЕФОРМУВАННЯ БІОПАЛИВ

І. І. Федірчик, О. А. Недибалюк, В. Я. Черняк

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Основною проблемою, пов'язаною з використанням викопних палив, є велика кількість вуглекислого газу (CO_2) та метану (CH_4), що потрапляють в атмосферу під час їхнього спалення та видобутку і значно впливають на зростання парникового ефекту на нашій планеті. Тривають активні пошуки заміни традиційним джерелам енергії, серед найбільш легкодоступних альтернатив є відновлювані вуглеводневі біопалива, які виготовляються з рослин та

біомаси. Перевагою біопалива є те, що утворений під час його спалення CO_2 знову поглинається рослинами під час їхнього росту, забезпечуючи рівновагу між виділенням та поглинанням вуглекислого газу в масштабі місяців або років. Це значно швидше, ніж цикл утворення вугілля, газу чи нафти, та дає змогу підтримувати сталий рівень CO_2 та уникнути викидів CH_4 в атмосферу. Проте значним недоліком виробництва такого біопалива, як, наприклад, біодизель, є велика кількість (до 20 % від усіх продуктів) відходів, які не можуть бути використані у промисловості з економічних чи екологічних міркувань. Оминати цю проблему можна завдяки реформуванню сировини для біодизелю (рослинних олій) в синтез-газ, який можна спалювати або використовувати для синтезу вуглеводнів. Перспективним методом перетворення вуглеводнів є плазмово-каталітичне реформування, під час якого плазма генерує активні частинки, які ініціюють хімічні процеси. Головним недоліком плазмових систем є коротка тривалість життя електродів. Тому важливим завданням є розробка та дослідження нових генераторів плазми.

Під час роботи були проведені дослідження плазми обертальної ковзної дуги з твердими електродами. Система являє собою кварцовий циліндр, закритий з двох боків фланцями з нержавіючої сталі. В верхньому фланці знаходиться отвір, по якому ковзає один з кінців розрядного каналу. В нижній фланець вставлений T-подібний електрод з водяним охолодженням, який є другим електродом. Через отвори у верхньому фланці в камеру потрапляє потік повітря, який спричиняє обертання дуги та інжектування активованого повітря в реакційну камеру.

Для дослідження генерованої в системі плазми було використано метод емісійної спектроскопії. Визначено температури заселення електронних, коливальних та обертальних рівнів компонент плазми. Були виміряні вольт-амперні характеристики розряду в діапазоні значень відстані між твердими електродами від 0,5 до 5 мм. З отриманих вольт-амперних характеристик були визначені величини напруженості електричного поля в розрядному проміжку та побудована їхня залежність від розрядного струму. Отримані величини є необхідними для створення моделі хімічних процесів, які проходять у плазмі розряду.

Розроблено методику калориметрії визначення калорійності газофазних палив на основі водонагрівача і показана перспективність використання синтез-газу з рослинних олій як палив альтернативних природному газу.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛОТНОЙ ПЛАЗМЫ

О. А. Федорович

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Оптические свойства плотной (неидеальной) плазмы (ПП; НП) изучены недостаточно, несмотря на большой интерес к этой области физики низкотемпературной плазмы и ее многочисленных применений в технике. ПП яв-

ляется рабочим телом многих перспективных проектов в энергетике, ядерной энергетике (газофазные ядерные реакторы), в ракетных двигателях, разрядно-импульсной технологии, сильноточных отключающих устройствах, мощных оптических и рентгеновских лазерах с ядерной накачкой, термоядерных энергетических установках, мощных источниках света и других. Широко распространена НП и в космосе. До 95 % вещества в космосе является НП. В лабораторных условиях НП существует от долей микросекунд до сотен микросекунд и ее исследования требуют высокого разрешения как в пространстве, так и во времени. Электрические импульсные разряды в воде также являются источником неидеальной плазмы. Плазма при таких разрядах существует от нескольких микросекунд до нескольких сотен микросекунд. В ИЯИ проводилось исследование на высоковольтной установке с параметрами: С емкость высоковольтной батареи $C = 14,5$ мкФ, напряжение на батарее изменялось от 3 до 37 кВ, что позволяло запасать энергию до 10 кДж. Период разряда изменялся от 15,5 до 110 мкс, а длина разрядного промежутка изменялась от 5 до 100 мм. Изменялись электрические характеристики (ток и падение напряжения на разряде), пространственно-временные (радиус канала с подсветкой от постороннего источника, и радиус фронта ударной волны с разрешением во времени до 0,5 мкс), оптические спектры, разрешенные в пространстве и времени в видимом диапазоне спектра и прокалиброванные по интенсивности. Исследовались, как чисто искровые разряды, так и инициированные взрывом проводников диаметром 20 - 500 мкм из W, Mo, Fe, Ni, Cu, С, нихрома, константана, латуни и других материалов.

Особенностью разрядов в воде является отсутствие светящейся ударной волны. При мощных ударных волнах в газах ударная волна светит сильнее чем сам плазменный канал, поэтому исследуют излучение после отражения от преграды. Излучение из плазмы ИРВ на начальной стадии разряда является сплошным, но на стадии релаксации появляются линии поглощения водорода и часто материала инициирующего проводника. Было замечено, что по мере распада плазмы количество спектральных линий поглощения все время увеличивается. Т.е. наблюдается эффект нереализации уровней спектральных линий, которые «срезаются» очень большими микрополями, возникающими в плотной плазме. Величина усредненного среднего случайно изменяющегося (Хольцмарковского) микрополя при концентрациях электронов $N_e = 10^{21} \text{ см}^{-3}$ составляет $F_2 = 1,26 \cdot 10^8$ В/см, а величина напряженности электрического поля атома водорода (при значении главного квантового числа $n = 2$, это нижний уровень линии H_α) составляет $F = 3,2$ В/см. При $n = 3$ $F_3 = 6,3 \cdot 10^7$ В/см. Под воздействием микрополей сравнимых с внутриатомными полями происходит «срезание» уровней верхних орбит электронов. Это в свою очередь приводит к ряду особенностей спектров излучения и поглощения в плотной (неидеальной) плазме. Происходит нарушение Больцмановского распределения электронов на определенных уровнях в зависимости от температуры. Происходит уменьшение величины статсумм атомов. Умень-

шається излучательная и поглотительная способность плотной плазмы. Уменьшается на несколько порядков коэффициент тройной рекомбинации и фоторекомбинации.

Разница между энергией ионизации и энергией возбуждения верхнего наблюдаемого уровня называется величиной «оптической щели» ΔE . Установлена однозначная связь между величиной «оптической щели» и концентрацией электронов в плазме. Получена эмпирическая формула зависимости величины «оптической щели» от концентрации электронов в плазме при плотностях электронов $10^{17} \text{ см}^{-3} \leq N_e \leq 5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$. Эта формула позволяет оценивать концентрацию электронов в приповерхностном слое плазменного канала, определив самый верхний наблюдаемый уровень линии в спектре излучения (поглощения) плотной плазмы.

Получена эмпирическая зависимость коэффициента рекомбинации от концентрации электронов в пределах плотностей [электронов $10^{15} \text{ см}^{-3} \leq N_e \leq 5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$. Не наблюдается однозначной зависимости коэффициента рекомбинации от температуры (в диапазоне температур $6 \cdot 10^3 \text{ K} \leq T \leq 45 \cdot 10^3 \text{ K}$) и степени неидеальности плазмы.

В видимом диапазоне спектра на длинах волн, соответствующих плазменной частоте, наблюдается уменьшение интенсивности излучения сплошного спектра от 30 до 4 раз (при $3 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3} \leq N_e \leq 7 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$).

Проведено сравнение экспериментальных результатов с теоретическими расчетами по нескольким моделям.

ВПЛИВ АНІЗОТРОПНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ЕЛЕКТРОНІВ НА ГАЛЬМІВНУ ЗДАТНІСТЬ У ПЛАЗМІ

О. В. Хелемеля, Р. І. Холодов

Інститут прикладної фізики НАН України, Суми

У рамках квантової теорії поля досліджено вплив анізотропії температури електронів на гальмівну здатність в плазмі [1]. Показано, що квантова модель добре описує енергетичні втрати важкої зарядженої частинки і у випадку класичних параметрів задачі. Квантово-польовий підхід дає можливість об'єднати результати отримані в рамках плазмової моделі та моделі парних зіткнень, оскільки останні є частинними випадками квантово-польового методу, в залежності від області прицільних параметрів.

З допомогою програмного коду ELIA проведено чисельний розрахунок втрат енергії іона в електронному газі з врахуванням температури електронів для параметрів задачі електронного охолодження в проекті HESR (The High-Energy Storage Ring) колаборації FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research).

Показано, що чисельні розрахунки втрат енергії співпадають з отриманими в рамках квантової теорії поля аналітичними виразами в лінійному наближенні за температурою [2].

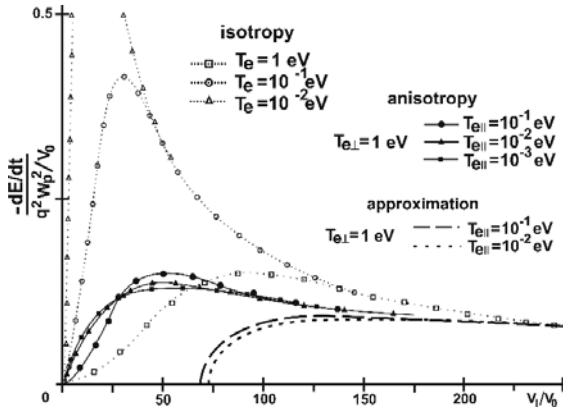


Рис. 1. Залежність втрат енергії налітаючої частинки від її швидкості в термалізованому електронному газі. Випадок повздовжнього руху.

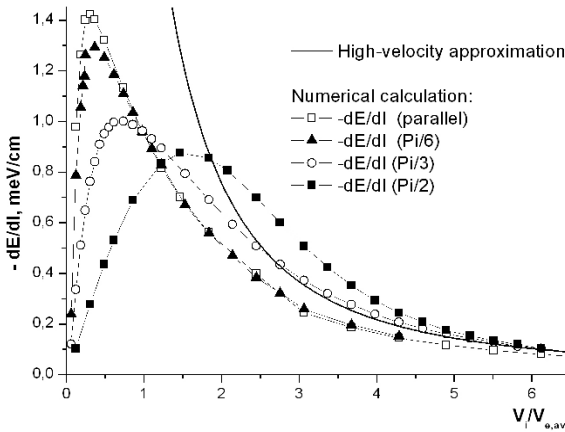


Рис. 2. Залежність гальмівної здатності електронного газу з анізотропною температурою від швидкості налітаючої частинки для різних кутів вльоту.

1. Ларкин А.И. Прохождение частиц через плазму // ЖЭТФ. - 1959. - Т. 37(1). - С. 264 - 272.
2. Khelemelya O.V., Kholodov R.I. Quantum field methods in the electron cooling. Problems of Atomic Science and Technology // 2013. - No. 3(85). - P. 53 - 57.

ОБЕРТОВО-КОВЗНИЙ РОЗРЯД У КВАРЦОВОМУ ЦИЛІНДРІ

Д. Л. Чернолуцький, **В. В. Колган**, В. Я. Черняк,
О. А. Недибалюк, Ол. В. Соломенко, О. Е. Лушкін,
В. В. Юхіменко, В. О. Шаповал, М. О. Якимов

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем, Київ*

На сьогоднішній день розвиток сучасних технологій неможливо уявити собі без використання низькотемпературної плазми. Зараз її активно використовують в хімії, металургії, машинобудуванні й інших галузях промисловості. Особливо перспективним виглядає глибоке впровадження плазми в хімічні технології. Однак, промислове використання плазми в великих обсягах гальмується низкою чинників. Перш за все це короткий ресурс роботи традиційних електродугових плазмових джерел [1]. Другою важливою проблемою можна вважати інжекцію плазми в хімічно активне середовище. Відомо, що використовувати плазму як зону, в якій протікають хімічні реакції, не вигідно, оскільки внаслідок негативного впливу екзотермічних хімічних реакцій на рівень нерівноважності плазми селективність хімічних реакцій в плазмі зменшується і спрогнозувати цільовий продукт стає досить важко [2]. З іншого боку, використання плазми у якості активатора одного з реагентів хімічної реакції виглядає досить перспективним, такий підхід називається плазмово-каталітичним. В якості реагенту, який активується плазмою, для реакцій реформування вуглеводнів, зазвичай виступають прості речовини. Так, наприклад, для реакції часткового окиснення вуглеводню, активований плазмою реагент є окисником. Однак, незважаючи на всю перспективність плазмово-каталітичного підходу, залишається проблема транспорту активованих плазмою частинок у реакційний об'єм, в якому відбуваються хімічні перетворення. Так, для плазмово-каталітичної системи характерна складна картина взаємодії вихрового потоку активованого плазмою обертово-ковзного розряду [3] окисника із зворотно-вихровим потоком «Торнадо», який несе суміш вуглеводню та окисника.

У даній роботі досліджено особливості утворення плазми обертово-ковзним розрядом в умовах вільного горіння в повітрі атмосфері та в умовах обмеженого (діелектриком або металом) простору.

1. *Основы расчёта плазмотронов линейной схемы // Оперативно-информационный материал // Под общ. ред. член-корр. АН СССР М. Ф. Жукова. - Новосибирск, 1979.*
2. *Chernyak V.Ya., Nedybaliuk O.A., Martysh E.V. et al. Plasma catalysis of chemical reactions // Problems of Atomic Science and Technology. Series: Plasma Physics (20). - 2014. - No. 6(94). - P. 124 - 129.*
3. *Chernolutsky D.L., Kolgan V.V., Chernyak V.Ya. et al. Study of the rotating*

МЕТОД БЕЗПЕРЕРВНОГО ОТРИМАННЯ ВУГЛЕЦЕВОГО МАТЕРІАЛУ ПЛАЗМОВО-КАТАЛІТИЧНИМ ПІРОЛІЗОМ ЕТАНОЛУ

К. В. Юхименко¹, Ю. П. Веремій¹, В. Я. Черняк¹, М. М. Касумов²

¹ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

² *Інститут загальної та неорганічної хімії
ім. В. І. Вернадського НАН України, Київ*

При сучасному розвитку нанотехнологій постає необхідна задача - організація неперервного процесу генерації та винесення наноматеріалів за межі робочої системи. Це було реалізовано в системах з розрядом між двома твердими електродами в суміші інертного газу та рідкого вуглеводню. Перехід до застосування аерозолі з таких рідин дає змогу забезпечити стійкість та неперервність роботи установки, а також зберегти переваги роботи в гетерофазній плазмовій системі.

Проте в промислових плазмових системах синтезу ВНМ (вуглецевих наноматеріалів) завжди актуальною є проблема ерозії електродів. Раніше припускалося, що металеві електроди в контакт з аерозолем вкриті плівкою рідини, а отже вдається уникнути ерозії електродів. Були проведені дослідження розрядної системи типу "торнадо" реалізованої для синтезу ВНМ. Розглянуті параметри системи з металевими та графітовими електродами. При використанні електродів з неіржавіючої сталі на аноді утворюється вуглецевий депозит з графітізованою зовнішньою стінкою. Утворення депозиту в міжелектродному просторі призводить до порушення умов розряду та коректної роботи системи. Цього можна уникнути за допомогою використання графітових електродів. При графітових електродах суттєво збільшився термін неперервної роботи розряду, вуглецевий депозит не утворювався. Але при цьому спостерігалось значне розпорощення електродів, незважаючи на присутність в реакторі аерозолі. Ефективність утворення наноматеріалів у випадку графітових електродів вище приблизно на порядок. Але збільшення продуктивності скоріше за все викликане врахуванням розпорощеного матеріалу електродів в кінцевому продукті.

Для покращення стабільності роботи розрядної системи типу "торнадо" з розрядом між двома твердими електродами в суміші інертного газу та рідкого вуглеводню було реалізовано режим роботи зі змінною напругою. Це дало змогу досягти практично неперервного режиму роботи в умовах поставленої задачі генерації вуглецевих наноматеріалів з незмінними параметрами розряду.

РЕГУЛЯРНА ТА СТОХАСТИЧНА ДИНАМІКА ШВИДКИХ ІОНІВ ЗА НАЯВНОСТІ КВАЗІСТАЦІОНАРНИХ МАГНІТНИХ ЗБУРЕНЬ

Ю. В. Яковенко^{1,2}, О. С. Бурдо¹, Я. І. Колесниченко¹, М. Г. Тищенко¹

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Національний університет «Києво-Могилянська академія», Київ*

Як відомо, магнітні збурення з малою частотою (зокрема, магнітні острови) здатні погіршувати утримання швидких (надтеплових) іонів у токамаці як через утворення резонансних дрейфових островів, так і через утворення областей стохастичного руху. Авторами з застосуванням числових та аналітичних методів досліджено рух швидких іонів за наявності квазістаціонарних магнітних збурень з наголосом на два ефекти, які здатні призвести до сильних просторових зсувів частинок: (а) радіальний зсув іонів, захоплених у резонансному острові, при їхньому охолодженні; (б) стохастизація руху частинок при утворенні й перекритті сателітних островів, що виникають через тороїдність.

Відомо, що при повільному русі резонансного острова в фазовому просторі частинки, захоплені в ньому, рухаються разом з островом, який утворює «цебер» (“bucket”), що переносить частинки. Оскільки умова резонансу частинки зі збуренням залежить від енергії частинки, «цеберний» транспорт виникає при кулонівському гальмуванні швидких іонів. Вивчено закономірності такого транспорту і показано, що він може бути сильним для іонів з вісною великим ларморовим радіусом у конфігураціях з малим магнітним широм. У конфігураціях з оберненим широм особливості перебудови топології «цебрів» з енергією можуть вести до того, що вплив магнітних островів на швидкі іони є найсильнішим не в місцях знаходження островів, а посередині між ними.

Отримано й перевірено порівнянням із розрахунками аналітичні критерії стохастизації руху частинок при перекритті сателітних островів, як для конфігурацій з оберненим широм, так і для випадку коли магнітний шир не змінює знак. Показано, що при великій ширині островів стохастичність може виникати навіть для частинок низьких (теплових) енергій.

Робота частково підтримувалася проектом #0114U000678 Національної академії наук України.

Тези доповідей з радіобіології та радіоекології

МІКРООРГАНІЗМИ У ЗРАЗКАХ ВОДИ З НИЖНІХ ВІДМІТКОК ОБ'ЄКТУ «УКРИТТЯ»

В. Бережна¹, О. Одінцов², О. Сенюк², В. Хан², В. Ковальов²,
М. Круль², Л. Паламар², Г. Петелін², Н. Рашидов¹

¹ Інститут клітинної біології і генетичної інженерії НАН України, Київ

² Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, Київ

Через отвори і дефекти у легкій покрівлі в об'єкт «Укриття» постійно проникають атмосферних осаді. Рухаючись додолу ця вода взаємодіє з бетоном і скупченнями паливовмісних матеріалів, руйнує паливну матрицю і вилужнює розчинні форми радіонуклідів, а також компоненти матеріалів будівельних конструкцій. На нижніх відмітках існують постійні водні скупчення з сумарним об'ємом від 320 до 340 м³. З у 10 стаціонарних точках забирали зразки, які були лужними розчинами з діапазоном значень рН від 9,0 до 10,2, утвореними високими концентраціями карбонат- (від 20 до 630 мг/дм³) і гідрокарбонат-іонів (від 160 до 1570 мг/дм³). Активність водних скупчень пов'язана з ізотопами цезію коливається від $1,6 \times 10^4$ до $3,1 \times 10^7$ Бк/л, залежна від ⁹⁰Sr визначалась у межах від $7,4 \times 10^2$ до $7,3 \times 10^7$ Бк/л і зумовлена по α -випромінюючим трансурановими елементами (²³⁸Pu + ²³⁹⁻²⁴⁰Pu + ²⁴¹Am + ²⁴⁴Cm + ²⁴²Cm) змінюється від $1,7 \times 10^6$ до $8,3 \times 10^7$ Бк/м³, при цьому внесок ²⁴¹Am становить 80 %. В усіх досліджуваних зразках води виявлено частинки коричневого чи чорного кольору, імовірно неорганічної природи, на більшості яких утримуються бактерії і найпростіші. На препаратах з вітальними зразками навколо цих конгломератів можна розгледіти пухирці желеподібної речовини, яка при висушуванні краплі зразка на предметному склі утворює щільну плівку. Бактерії і найпростіші виявляються у всіх зразках, проте їхня кількість і видовий склад відрізняється. В одних зразках присутні в основному бактерії великого розміру, що є рухливими паличками, які попарно розміщені в желеподібній речовині, оточеній спільною капсулою. Спостерігаються також окремі палички менших розмірів і групи бактерій у вигляді різноманітних ниток. У всіх зразках можна виявити найпростіших з поглинутими бактеріями. Є екземпляри круглої і овальної форми, покриті війками, очевидно інфузорії, іноді зустрічаються екземпляри менших розмірів зіркоподібної форми, які окрім війок мають один довгий джгутик. Відомо, що бактерії здатні інтенсивно накопичувати радіонукліди, впливаючи на їхні міграційні властивості. На противагу їм найпростіші організми в результаті перетравлення бактерій вивільняють радіонукліди у вигляді більш рухливих сполук. В свою чергу виділення найпростіших стимулюють розвиток і бактерій. Отже, наявність, прогресивний розвиток і зміна біологічних властивостей мікробіоти у внутрішніх приміщеннях може впливати на стан радіаційної і екологічної безпеки «Укриття».

РЕАКЦІЯ КЛІТИН КІСТКОВОГО МОЗКУ НА ТРИВАЛЕ ВВЕДЕННЯ ¹³¹I

О. О. Бурдо¹, Н. М. Рябченко², А. І. Липська¹, І. П. Дрозд¹, О. А. Сова¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології
ім. Р. Є. Кавецького НАН України, Київ

Досліджено особливості змін цитогенетичних показників в клітинах кісткового мозку у щурів за умов тривалого надходження ¹³¹I. Робота виконана на щурах-самцях лінії Вістар. Тваринам впродовж 15 діб щоранку натще *per os* вводили розчин натрію йодиду (Na¹³¹I) активністю 29,3 кБк/тварину. Для оцінки генотоксичних ефектів ¹³¹I в клітинах кісткового мозку (КМ) щурів аналізували рівень поліхроматофільних еритроцитів (ПХЕ) з мікроядрами (МЯ) та клітин з іншими радіаційно-індукованими патологічними ознаками. Для аналізу експериментальних даних також використовували кількісні показники периферичної крові та КМ.

Проводили дозиметричний супровід досліджень. Визначали питому активність КМ тварин та розраховували поглинені дози. Враховували додаткове опромінення КМ радіонуклідами, депонованими у щитоподібній залозі та гіподермі шкіри. Протягом експерименту питома активність ¹³¹I у КМ тварин істотно не змінювалась і становила 64 ± 6 кБк/кг. Поглинені дози змінювались від 0,16 мГр на 1-у добу експерименту до 4,59 мГр на 15-у добу.

В усі терміни спостереження рівень цитогенетичних ушкоджених ПХЕ був достовірно вищий від контрольних значень. У ранні терміни спостереження (перша та друга доба експерименту) спостерігали максимальне збільшення кількості клітин з МЯ, порівняно з контролем. На третю добу кількість еритроцитів з МЯ зменшувалась у 4 - 6 разів, що очевидно зумовлено виснаженням еритроїдного пулу як внаслідок інтенсивної міграції клітин в периферичну кров, так і внаслідок апоптичної елімінації ушкоджених ранніх попередників ПХЕ. Про це свідчать антибатні зміни між кількістю клітин КМ та гематологічними показниками (зниження клітинності КМ майже на 20 % та зростання вмісту еритроцитів до 25 % та лейкоцитів до 5 % в периферичній крові), а також суттєве зростання кількості апоптичних клітин (у 3,44 рази, порівняно з контролем). Надалі спостерігали стійке зниження клітинності КМ та клітин периферичної крові, що свідчить про порушення в системі кістково-мозкового кровотворення.

Після сьомої доби спостерігали зростання загальної кількості клітин з патологічними ознаками. Водночас мітотичний індекс та кількість патологічних мітозів протягом експерименту були в межах контрольних значень. Кількість клітин КМ на кінцевий термін спостереження (15 доба) становила 70 % від контрольних значень.

Аналіз цитогенетичних показників виявив особливості прояву радіаційно-

індукованих патологічних змін в ККМ, спричинених тривалим опроміненням. Компенсаторно-відновні реакції, що відбуваються в КМ тварин за опромінення ^{131}I , призводять до змін протягом експерименту питомого внеску різних патологічних аномалій в загальний генотоксичний ефект. Дозових залежностей формування цитогенетичних аномалій за даних умов експерименту не виявлено.

ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОКАМЕРНИХ МОДЕЛЕЙ В РАДІОБІОЛОГІЇ

І. М. Вишневський, І. П. Дрозд, А. І. Липська, А. Д. Фурса

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Проаналізовано можливість застосування камерних моделей для моделювання процесів обміну радіонуклідів в організмі тварин за їх одноразового та тривалого надходження до організму.

Показано, що камерна модель має стійкі розв'язки і може однозначно описувати процеси у відкритих системах, якими є живі організми. Для опису кінетики ^{137}Cs в організмі лабораторних щурів використовували 11-камерну модель метаболізму, що описується відповідною системою диференційних рівнянь.

Параметризація моделі була проведена по експериментальним даним з тривалим надходження радіонуклідів цезію до організму лабораторних щурів. У роботі було використано метод Runge-Kutta та застосовано адаптаційний алгоритм, що дає змогу шляхом послідовних наближень знайти оптимальний розв'язок даної системи диференційних рівнянь. За цим алгоритмом створено комп'ютерну програму на мові FORTRAN, яка дає змогу з прийнятною точністю визначати біокінетичні константи, що дають змогу задовільно описувати кінетику радіонуклідів в організмі. Використання даного програмного комплексу значно пришвидшує всю процедуру ідентифікації параметрів кінетики радіонуклідів в організмі. Отримано гарне узгодження експериментальних і розрахункових даних, що вказує на можливість практичного використання даної програми.

Слід зазначити важливість прогностичного значення даної розробки. Визначивши біокінетичні константи для певного радіонукліду, можна за відомою величиною активності $q_i(t)$, що міститься у деякому i -му органі або тканині в момент часу t оцінити, яким буде рівень радіоактивності в інших органах і тканинах організму.

Доведено, що запропонована багатоканальна модель є перспективним інструментом, який може бути застосований для опису та прогнозування динаміки накопичення, утримання та виведення радіонуклідів з організму.

БІОКІНЕТИКА ^{131}I ТА ДОЗООУТВОРЕННЯ ЗА ТРИВАЛОГО НАДХОДЖЕННЯ ДО ОРГАНІЗМУ ЩУРІВ

І. П. Дрозд, А. І. Липська, О. А. Сова, В. А. Шитюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Вивчали біокінетичні характеристики ^{131}I та особливості процесів дозоутворення в органах і тканинах лабораторних тварин за тривалого надходження ізотопу. Дослідження проводили у літній період на щурах лінії Вістар, масою 240 ± 30 г із усталеним гомеостазом. Тваринам щоденно, впродовж 15 діб, вводили перорально, через зонд, по 29,3 кБк/тварину ^{131}I . Тварин умертвляли, згідно з робочим графіком по п'ять особин на точку через одну, дві, три, сім та 15 діб з дотриманням вимог Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження». Вміст радіонуклідів в органах і тканинах визначали γ -спектрометричним методом з використанням Ge-Li детектора. Будували криві накопичення ізотопу та описували їх функціональними залежностями від часу. Інтегруючи активність під кривими, за час t , отримували сумарну кількість розпадів N_t в одиниці маси органу чи тканини і розраховували поглинену дозу D_n в органі n за виразом

$$D_n = k \cdot E_{ef} \cdot N_t \text{ [Гр]},$$

де $k = 1,6 \cdot 10^{-13}$ Дж/МеВ; E_{ef} – ефективна енергія, що передається біологічній тканині в кожному акті розпаду ізотопу, МеВ/розпад.

Виявлено, що накопичення йоду в щитоподібній залозі (ЩЗ) регламентується трьома змінними дозозалежними чинниками: біологічним періодом напіввиведення, масою ЩЗ та коефіцієнтом надходження ізотопу до органу. Обговорюється методика практичного визначення фактичних значень цих чинників та функцій їхньої залежності від поглиненої у ЩЗ дози.

Показано, що поглинена доза у такому важливому органі імунної системи, як тимус, що виконує одночасно і кровотворну функцію, формується, в основному, за рахунок γ -опромінення радіонуклідами, що містяться у ЩЗ. Іншим важливим джерелом додаткового опромінення є гіподерма шкіри – резервне депо накопичення йоду в організмі ссавців. Поглинена доза, що формується радіонуклідами, які безпосередньо накопичуються в тимусі, становить приблизно 1 % від сумарної дози опромінення органу. Запропоновано розрахункову модель, що враховує додаткове опромінення тимусу, з використанням якої розраховано дози на орган у різні терміни проведення експерименту, значення яких використані для інтерпретації результатів гематологічних досліджень.

ГЕМАТОЛОГІЧНІ ЕФЕКТИ ЗА ТРИВАЛОГО ВНУТРІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ ЩУРІВ ІЗОТОПОМ ¹³¹I

І. П. Дрозд¹, А. І. Липська¹, О. А. Сова¹, Н. К. Родіонова²

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології
ім. Р.С. Кавецького НАН України, Київ

Досліджували вплив ¹³¹I на гематологічні показники периферичної крові у щурів за тривалого надходження до організму на двох групах тварин: 1 група - щоденне надходження 29,3 кБк/тварину впродовж 15 діб (стале надходження); 2 група – надходження впродовж 14 діб ізотопу з початковою активністю 30,3 кБк/тварину (тривале надходження). Надалі активність зменшувалась відповідно до фізичного розпаду ізотопу. Кров брали з хвостової вени, по 0,02 мл. Підрахунок лейкоцитарної формули проводився в фарбованих за Папенгеймом мазках периферійної крові. У якості контролю брали вихідні дані по крові та кров контрольної групи після закінчення експерименту.

Спостерігали лабільність вмісту нейтрофільних лейкоцитів з тенденцією до нейтрофілезу на 15 добу експерименту за сталого надходження ізотопу і з третьою до 14 доби за тривалого надходження ізотопу. На третю добу в обох групах відмічено зсув лейкоцитарної формули ліворуч зі збільшенням вмісту паличкаядерних нейтрофілів, яке при тривалому надходженні було достовірним, що свідчить про подразнення кісткового мозку. Очевидно, загибель лімфоцитів обумовлена опроміненням тимуса, де поглинена доза майже на два порядки величини перевищує таку у кров'яному руслі та кістковому мозку. Підтвердженням цього можна вважати зменшення у кров'яному руслі кількості малих лімфоцитів, залежне від дози опромінення тимуса і відповідне дозозалежне зменшення маси тимуса. При цьому слід зауважити, що на першу та другу доби після введення ізотопу кількість клітин зростає до 36 % понад контроль, а, починаючи з третьої доби, коли доза опромінення тимуса досягає 0,03 - 0,04 Гр, зменшується зі зростанням дози за показниковою залежністю. Наприкінці терміну опромінення (14 - 15 діб), коли поглинена в тимусі доза досягла 0,29 - 0,35 Гр, кількість малих лімфоцитів у крові зменшилась, порівняно з контролем, майже на 60 %. Незважаючи на різницю висхідних даних щодо вмісту лейкоцитів в крові, кількість яких залежить від сезону проведення експериментів, ми виявили однонаправлені зміни гематологічних показників. У тварин обох груп зі збільшенням терміну опромінення спостерігали зменшення вмісту малих лімфоцитів майже у два рази. Зміни маси тимуса в обох експериментах також були однонаправленими, але достовірне дозозалежне зменшення маси тимуса, що корелює зі зменшенням кількості малих лімфоцитів у крові встановлено лише у експерименті з тривалим надходженням.

РОЛЬ ПРИРОДНИХ АНТИОКСИДАНТІВ У ЗБЕРЕЖЕННІ ФЕРТИЛІЗАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЕРМИ ЛЮДИНИ

Л. В. Горбань, А. В. Клепко, О. С. Ватліцова,
Ю. А. Кондратова, С. В. Андрейченко

Державна установа

«Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України», Київ

Останнім часом велика увага приділяється біохімічним та молекулярним показникам сперми, які, в свою чергу, відіграють ключову роль в рухливості, життєздатності та фертильності сперматозоїдів. Зміни цих параметрів також можуть призводити до розвитку патології репродуктивної системи. Присутність антиоксидантів в спермі є дуже важливим фактором для збереження інтегральної цілісності сперматозоїдів, їхньої рухливості та здатності до взаємодії з яйцеклітиною. До сполук антиоксидантної спрямованості головним чином належать токофероли (вітамін Е), аскорбат (вітамін С), а також вільні тіоли.

Мета дослідження - вивчити закономірності змін вмісту природних антиоксидантів сім'яної рідини залежно від радіоактивного забруднення регіону проживання чоловіків-донорів. У дослідженні брали участь 165 чоловіків віком 20 - 50 років з трьох регіонів України. Групи сформовані шляхом рандомізованого відбору: до групи 1 увійшли чоловіки, що постійно проживали протягом останніх 20 років у Житомирській області на територіях з радіоактивною забрудненістю від 100 до 550 кБк/м². Групу 2 становили мешканці Київської області (40 до 185 кБк/м²). Група 3 була створена як контрольна (Полтавська область). Оцінку вмісту в сім'яній рідині α -токоферолу та аскорбату проводили за допомогою хроматографічного методу. Концентрацію глутатіону та інших тіолових груп проводили спектрофотометрично.

При визначенні кількісного вмісту аскорбату в сім'яній рідині чоловіків з трьох різних за рівнем радіоактивного забруднення регіонів України було виявлено, що концентрація аскорбату в сім'яній рідині суттєво відрізнялась для зразків з Житомирської області, де цей показник більш ніж на 30 % був менший порівняно з Київською та Полтавською областями. Дослідження вмісту α -токоферолу в спермі чоловіків показало, що вітамін Е має тенденцію до зменшення в тих регіонах, де радіоактивна забрудненість територій знижується.

При оцінці вмісту глутатіону і вільних тіолів в сім'яній рідині було показано зменшення концентрації глутатіону в спермі чоловіків-донорів зі збільшенням середньої накопиченої дози в регіоні, що також прямо корелювало зі зменшенням концентрації вільних тіолів в сім'яній рідині. Отримані дані вказують на захисні властивості глутатіону, як компоненту глутатіонової антиоксидантної системи щодо протидії окисненню вільних тіолових груп у білках та ліпопротеїнах активними формами кисню, концентрація яких в клітинах за умов посилення радіаційного впливу зростає.

Таким чином, показано, що в регіонах з підвищеним рівнем радіоактивного забруднення, відбувається пригнічення антиоксидантних властивостей сперми, що корелює зі зменшенням пулу аскорбат, глутатіону та вільних тиолів у сім'яній рідині чоловіків, але збільшенням рівня α -токоферолу.

ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА СИСТЕМИ ОКИСНОГО МЕТАБОЛІЗМУ ЗА ТРИВАЛОГО НАДХОДЖЕННЯ ДО ОРГАНІЗМУ ^{131}I

Ю. П. Гриневич, А. І. Липська, І. П. Дрозд, С. В. Телецька

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Вплив ^{131}I на динаміку перебігу та інтенсивність вільнорадикальних процесів (ВРП) у крові ссавців, зокрема і людей, практично не досліджували. Раніше ми вивчали стан окисного гомеостазу у крові щурів за разового перорального введення ^{131}I в широкому діапазоні доз - від 3,3 до 327 кБк на тварину. Було показано, що введені активності не спричиняють істотних змін окисного гомеостазу тварин. Дана робота є логічним продовженням комплексних радіобіологічних досліджень впливу інкорпорованих радіонуклідів, зокрема тривалого введення ^{131}I , на перекисні процеси у крові щурів. Її мета – вивчити вплив тривалого щоденного перорального введення ^{131}I , активністю 28,3 кБк/тварину, на ХЛ показники крові для оцінки загального стану окисного гомеостазу у тварин. ВРП досліджували у гемолізатах крові щурів-самців лінії Вістар масою 220 ± 20 г методом індукованої H_2O_2 хемілюмінесценції (ХЛ) на хемілюмінометрі Lum-5773 з автоматичною обробкою даних ХЛ. Реєстрували амплітуду швидкого спалаху (I_{max}), інтенсивність світіння через 300 с ($I_{\text{кінц}}$), час індукції швидкого спалаху (τ_{max} , с), загальну світлосуму ХЛ гемолізату за 300 с (Σ_{300}) з моменту введення в кювету 0,5 мл 3 % пероксиду водню.

Спостерігали односпрямованість перебігу динаміки перекисних процесів у крові щурів з такими за разового надходження, проте із значно меншою амплітудою змін. Впродовж перших трьох діб експерименту реєстрували незначні відхилення показників Σ_{300} , I_{max} , τ_{max} та швидкості утворення вільних радикалів (ВР) від контролю, що лежать в межах похибки вимірювань. Незначні зміни цих показників можна пояснити збільшенням $I_{\text{кінц}}$, що вказує на підвищений викид у кров'яне русло антиоксидантних ресурсів. На третю добу зберігаються підвищені значення $I_{\text{кінц}}$. Започатковуються процеси монотонного зростання (до восьмої доби) решти досліджуваних показників ХЛ-реакції. В цей період (восьма доба) зменшується в системі кількість антиоксидантів ($I_{\text{кінц}}$), амплітуда I_{max} , швидкість утворення ВР. На час завершення експерименту (15-а доба) інтенсивність перекисних процесів у крові практично нормалізується за основним їхнім показником - Σ_{300} . Це відбувається, очевидно, за рахунок уповільнення швидкості утворення ВР (нахил кривої ХЛ зменшується вдвічі) та збільшенням в системі про- і антиоксидантів (τ_{max})

та $I_{\text{кін.}}$. Менш значні зміни амплітуди ХЛ-показників за тривалого введення ^{131}I порівняно із разовим, очевидно, обумовлені зміною чутливості організму на дію тривалого введення ізотопу, особливостями його накопичення в ЩЗ та наступним виведенням в кров'яне русло. Результати цієї роботи, як і проведених нами раніше, вказують, що тривале надходження ^{131}I , як і разове, не спричиняє суттєвого впливу на окисний гомеостаз тварин.

ДИНАМІКА ПИТОМОЇ АКТИВНОСТІ ПЛОДОВИХ ТІЛ ГРИБІВ НА ТЕРИТОРІЇ, ЗАБРУДНЕНІЙ ВНАСЛІДОК АВАРІЇ НА ЧАЕС

Н. Є. Зарубіна, О. С. Бурдо

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У цій роботі проведено дослідження динаміки питомої активності ^{137}Cs у плодових тілах грибів на прикладі одного з найбільш розповсюджених видів грибів-космополітів – маслака звичайного (*Suillus luteus*).

Загальновідомою є та обставина, що протягом перших 8 - 9 післяаварійних років питома активність ^{137}Cs у *S. luteus* зростає, а потім починає спадати.

Аналіз спадної частини залежності питомої активності ^{137}Cs від часу дає змогу дійти висновку, що вона має вигляд

$$A(t) = A_{\text{max}} 2^{-t/\tau} 2^{-\beta t} = A_{\text{max}} 2^{-t/\tau} 2^{-t/\Theta},$$

де A_{max} - максимальна питома активність плодових тіл на даному полігоні за весь час спостережень; t - час, що сплинув з моменту максимальної активності, роки, τ - період напіврозпаду ^{137}Cs (30,2 роки); β - декремент (1/рік) та зворотній йому час релаксації Θ (роки).

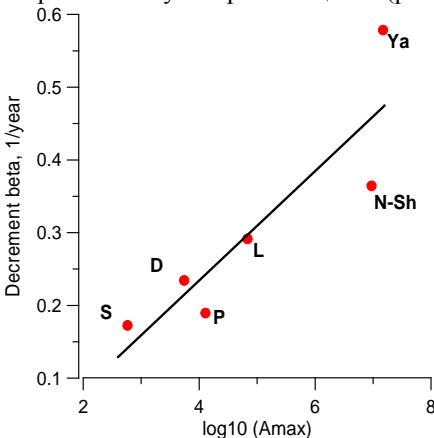


Рис. 1. Залежність декременту від логарифму максимальної питомої активності плодових тіл *S. luteus*.

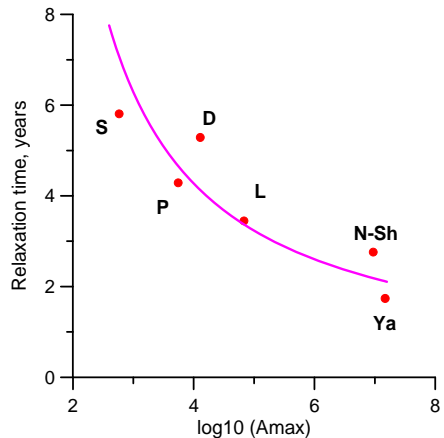


Рис. 2. Залежність часу релаксації від логарифму максимальної питомої активності плодових тіл *S. luteus*.

Величини β й Θ було обчислено для полігонів «Янів» (Ya), «Ново-Шепеличі» (N-Sh), «Лелів» (L), «Паришів» (P), «Дитятки» (D) та «Стайки» (S). Їхні залежності від максимальних питомих активностей, спостережуваних на вказаних полігонах, представлено на рис. 1 та 2.

Наведені результати дають змогу дійти висновку, що чим більш радіаційно-забруднений полігон, тим менший час релаксації і тим швидше очищуються гриби, й навпаки. Розрахований ефект є слухним не тільки для *S. luteus*, а й для грибів інших видів.

ОЦІНКА ПРИДАТНОСТІ ВЕРТИКАЛЬНИХ КАНАЛІВ КИЇВСЬКОГО ДОСЛІДНИЦЬКОГО РЕАКТОРА ДЛЯ СТВОРЕННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З НЕЙТРОН-ЗАХВATНОЇ ТЕРАПІЇ

Г. Й. Лавренчук¹, В. А. Лібман², В. Ф. Разбудей², В. В. Тришин²,
Л. С. Червонна², Ю. Б. Шевченко²

¹ Державна установа

«Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України», Київ

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Раніше (у 2010 р.), на базі горизонтального каналу (ГЕК-5) Київського дослідницького реактора ВВР-М була створена установка для нейтрон-захватної синовектомії (НЗС). На цій установці можна також проводити експерименти з нейтрон-захватної терапії (НЗТ) *in vitro*.

Мета даної роботи – оцінити придатність вертикальних каналів ТК-3 та ТК-4 теплової колони реактора ВВР-М для експериментів *in vitro* та *ex vivo* з нейтрон-захватної терапії (НЗТ). Для розрахунків флюенсу нейтронів у ТК-3 та ТК-4 використовувався метод статистичних випробовувань (Монте-Карло) за допомогою програми MCNP-4с. У вхідний файл програми включена просторова модель реактора ВВР-М, яка містить в собі геометрію реактора, склад конструктивних та технологічних матеріалів, включаючи паливо. Розрахунки проводились для низько збагаченого палива – 19,7 % по ²³⁵U, при повністю укомплектованій активній зоні.

Розрахована щільність потоку нейтронів в нижній частині вертикального каналу ТК-3 (приблизно до висоти 35 см) приймає значення порядку 10^{10} н·см⁻²·с⁻¹, що на порядок більше, ніж на виході ГЕК-5 після силіконового фільтра. Розрахунки розподілу потоку нейтронів по осі каналу ТК-3 свідчать, що неоднорідність поля теплових нейтронів на проміжку від 10 до 20 см від осі горизонтального каналу ТК не перевищує кількох відсотків. Однорідність нейтронного поля у великому об'ємі дуже важлива, бо надає можливість довільно вибирати орієнтацію протяжних зразків, або розташовувати в цьому об'ємі кілька зразків для одночасного опромінення в однакових умовах. Щільність потоку нейтронів на вході ТК-4 становить близько 10^9 н·см⁻²·с⁻¹ у нижній частині каналу, що обмежує можливість його використання.

Нижня частина ТК-3 занурена у графіт ТК, а вісь ТК-3 перпендикулярна до осі горизонтально орієнтованого каналу ТК, що суттєво зменшує потоки високоенергетичних нейтронів та γ -випромінювання. Розрахунки показують, що внесок нетеплової частини спектру у загальний флюєнс близький до одного відсотка. Тому у першому наближенні нейтронний спектр у ТК-3 можна вважати тепловим. Це дає змогу проводити експерименти з НЗТ без додаткової фільтрації потоку нейтронів.

Таким чином: параметри нейтронних полів ТК-3 відповідають вимогам до джерела нейтронів для експериментів з НЗТ *in vitro* та *ex vivo*. В свою чергу, це дає можливість перебудувати установку на ГЕК-5 для експериментів *in vivo*. Таким чином, відкривається шлях для створення на Київському дослідницькому реакторі багатофункціонального комплексу установок для експериментів з НЗТ, як *in vitro* та *ex vivo*, так і на лабораторних тваринах.

ОСОБЛИВОСТІ БІОЛОГІЧНИХ ЕФЕКТІВ У КЛІТИНАХ ПРИ ДІЇ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ЧЕРВОНОГО ДІАПАЗОНУ

Г. Й. Лавренчук¹, Ю. Б. Шевченко², І. В. Козловська¹, О. А. Бойко¹

¹ Державна установа

«Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України», Київ
² Інститут ядерних досліджень НАН України

Відомо, що фоточутливість є загальною властивістю вищих тварин і має фізіологічне значення. При взаємодії світла з речовиною відбувається зовнішній і внутрішній фото ефекти. З точки зору біофізики для поглинання квантів світла через дію низькоенергетичного лазерного випромінювання важливий внутрішній фото ефект, коли один з електронів, що знаходяться на нижньому енергетичному рівні, переходить на вищий, заповнюючи нижню орбіталь і переводячи цим молекулу фотосенсибілізатора в збуджений (синглетний або триплетний) стан. В основі механізму дії лазера лежить взаємодія світла і фотосенсибілізатора – речовини, молекули якого спроможні поглинати світло і передавати енергію іншим молекулам, що не поглинають світла. Наприклад, фотосенсибілізаторами можуть бути порфірин, каталаза, супероксиддисмутаза, ферменти, що впливають на окислювальні процеси. Максимальне поглинання червоного лазерного випромінювання припадає на молекули ДНК, цитохромоксидазу, цитохром, супероксиддисмутазу, каталазу. Через ці ферменти здійснюється лікувальний вплив лазерного випромінювання при різних патологічних процесах. При збігу довжини хвилі лазерного випромінювання і максимумів спектра поглинання деяких біомолекул відбувається його вибіркоче поглинання тканинами.

Випромінювання червоного та ближнього інфрачервоного світла може привести до активації мітохондріального дихального ланцюга і збудження сигнального каскаду, який сприяє клітинній проліферації і цитопротекції.

Експериментальне дослідження впливу некогерентного та монохроматичного світла червоного спектру в різних дозах на клітини *in vitro* показало наскільки важливо враховувати фізичні характеристики оптичного випромінювання для отримання певного біологічного ефекту. Було встановлено, що біологічні ефекти випромінювання з довжиною хвилі 630 нм залежали від питомої потужності (мВт/см²) та тривалості опромінення (с). Опромінення клітин червоним світлом у дозі 60 Дж/см², але за різних умов (50 мВт/см² за 20 хв та 100 мВт/см² за 10 хв) викликало різноспрямовані клітинні реакції у тест-системі культури клітин. За морфофункціональними показниками культури клітин лінії L₉₂₉ була встановлена залежність їхньої зміни від щільності потужності (мВт/см²) та експозиції (с) за однакових доз випромінювання (Дж/см² · с). При низьких потужностях, але великих експозиціях спостерігали зменшення виживання клітин у культурі більш, ніж на 20 %. Водночас зростала кількість атипових багатоядерних клітин. Підвищення потужності випромінювання до 50 - 100 мВт/см² при експозиції 20 хв призвело до активації проліферації на 20 % порівняно з контролем.

Таким чином, застосовуючи світло червоного спектру, необхідно чітко уявляти з якою метою воно застосовується: для фотобіостимуляції чи для фотодинамічної терапії.

МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗМІНИ В КУЛЬТУРІ КЛІТИН ПРИ ДІЇ НЕЙТРОНОЗАХВАТНИХ АГЕНТІВ З ФОТОСЕНСИБІЛІЗУЮЧИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ТА ЧЕРВОНОГО СВІТЛА

**Г. Й. Лавренчук¹, Ю. Б. Шевченко², Х. М. Литвинчук¹,
В. С. Асмолкива³, Є. М. Прохорова¹, Л. Є. Червонна²**

¹ Державна установа

«Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України», Київ

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

³ Інститут біохімії ім. О. В. Палладіна НАН України, Київ

Сьогодні активно розвиваються два бінарних методи лікування раку – фотодинамічна терапія (ФДТ) і нейтронозахватна терапія (НЗТ). ФДТ заснована на взаємодії молекули фотосенсибілізатора з оптичним випромінюванням певної довжини хвилі. В результаті утворюються цитотоксичні агенти (синглетний кисень і вільні радикали), що вражають клітинні елементи пухлинної тканини. Основне обмеження ФДТ полягає в невисокій глибині проникнення світла в тканину. НЗТ повністю знімає обмеження на глибину терапії і її можна провести настільки цілеспрямовано, що для повного руйнування пухлини буде достатньо 1 - 2 сеансів терапії. Це значно знижує рівень променевого ураження здорових тканин. Нагальним питанням є пошук та дослідження нейтронозахватних агентів з фотосенсибілізуючими властивостями.

Проведено експериментальне дослідження комбінованого впливу нейтро-

нозахватних агентів з молекулярною структурою (карборанів та порфіринів), магнітокерованих нанокомпозитів, що містили бор чи гадоліній та розсіяного червоного світла (630 нм) від світлодіодів експериментальної термостатованої камери, а також монохроматичного лазерного випромінювання (630 нм) апарата «Ліка-хірург» на морфофункціональні характеристики клітин у тест-системі культури клітин лінії L₉₂₉, встановлено характер та особливості їхньої дії.

Комбінований вплив гадоліній- та борвмісних нанокомпозитів і фотосенсибілізаторів з молекулярною структурою в діапазоні концентрацій 0,05 - 500 мкг/мл та червоного світла в дозі 60 Дж/см² (100мВт/см² за 10 хв) на проліферуючі клітини та клітини у стаціонарній фазі росту мав різну ефективність: призводив за певних концентрацій до uszkodження проліферуючих клітин і не змінював або активував проліферацію в культурі клітин в стаціонарній фазі росту.

Монохроматичне лазерне випромінювання в дозі 60 Дж/см² (100мВт/см² за 10 хв) при поєднанні з нанокомпозитами і, особливо, з фотосенсибілізаторами справляє сильнішу ушкоджуючу дію на проліферуючі клітини, ніж розсіяне світло світлодіодів.

Поєднана дія нейтронозахватних агентів (нанокомпозитів і фотосенсибілізаторів) та червоного світла (розсіяного від світлодіодів і монохроматичного лазерного) індукували апоптоз у культурі клітин незалежно від її стану.

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. Небезпека 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 семи групах великої рогатої худоби. Чотири групи телят, по 8 голів у кожній, у віці 3 - 4 місяці рег-ос отримували радіоактивний йод (¹³¹I) у кількості 1, 3, 8, 15 мКі на тварину. Три групи лактуючих корів у віці 5 - 6 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 їхнього подальшого господарського використання.

Спостереження за телятами проводили протягом трьох років, за коровами – два роки. У тварин проводили радіометричні виміри в області щитоподібної залози після надходження радіоактивного йоду, досліджували показники клінічного стану, продуктивності, визначали гематологічні, біохімічні, гормональні параметри, а також гістологічні зміни у деяких органах після патологоанатомічного розтину.

Проведеними дослідженнями встановлено, що основна доза на ЩЗ після надходження радіоактивного йоду формується протягом трьох діб з максимумом через 24 год. В гострий період (до двох 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 дало змогу встановити ступінь втрати корисних господарських ознак у великої рогатої худоби після надходження різних доз радіоактивного йоду.

ДЕЯКІ ПАРАМЕТРИ МЕТАБОЛІЗМУ РАДІОАКТИВНОГО ЙОДУ В ОРГАНІЗМІ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

М. М. Лазарєв, Ю. В. Хомутинін

*Український науково-дослідний інститут сільськогосподарської радіології
НУБіП України, Київ*

Радіоактивний йод у проблемі радіаційного захисту через його високу біологічну доступність і велику кількість утворення після ядерних вибухів і радіаційних аварій на атомних підприємствах займає особливе місце.

У будь якого випадку, при аваріях, що супроводжуються викидом продуктів ядерного поділу у навколишнє середовище надходить велика кількість радіоактивного йоду (11 %), що обумовлює основну радіаційну небезпеку у перші тижні після аварії як, для людей так і для сільськогосподарських тварин. Дана проблема має щонайменше два аспекти. Перший з них визначається яскраво вираженою тиреотропністю йоду, що веде до накопичення щитовидною залозою ВРХ великих доз і, як наслідок, до різного ступеню тяжкості уражень організму. Другий аспект пов'язаний з переходом радіонуклідів йоду у продукцію сільського господарства (найбільш важливий у цьому відношенні перехід у молоко) і можливим потраплянням в організм людини.

В експериментах на великій рогатій худобі різного віку визначені параметри накопичення і виведення радіоактивного йоду (^{131}I) з організму по різних шляхах – молоко кров, екскрети.

Так, показано, що динаміка накопичення ^{131}I і його виведення із крові корів після одноразового надходження не залежить від кількості початкового надходження радіоактивного йоду в організм дорослих корів. Встановлені параметри настання максимальної концентрації даного радіонукліду у крові через 3 год після його надходження. Період полунакопичення ($T_{1/2}^{\text{H}}$) при цьому становить близько 1 год. Видалення ^{131}I з крові корів описується двоекспоненціальною динамікою зі значенням періоду напіввиведення ($T_{1/2}^{\text{d},1}$) близько 12 год, з долею виведення за цей час 50 % активності ^{131}I . 50 % активності ^{131}I виводиться зі значенням періоду напіввиведення ($T_{1/2}^{\text{d},2}$) 174 год.

Параметри настання максимальної концентрації ^{131}I у молоці через 15 год після його надходження. Період полунакопичення ($T_{1/2}^{\text{H}}$) при цьому становить близько 2 год.

Виведення ^{131}I з молоком корів описується двоекспоненціальною динамікою зі значенням періоду напіввиведення ($T_{1/2}^{\text{d},1}$) близько 27 год, з долею виведення за цей час 80 % активності ^{131}I . 20 % активності ^{131}I виводиться зі значенням періоду напіввиведення ($T_{1/2}^{\text{d},2}$) 113 год.

ОСОБЛИВОСТІ ЗМІНИ ЯКОСТІ СПЕРМИ У МЕШКАНЦІВ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ОБЛАСТЕЙ УКРАЇНИ

**О. М. Мотрина, А. В. Клепко, А. В. Чернишов, К. С. Андрейченко,
В. М. Булавицька, С. В. Андрейченко**

*Державна установа
«Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України», Київ*

Відомо, що радіація шкідливо діє на сперматозоїди, пошкоджуючи їхній геном і мембрани, що може призвести до втрати фертилізаційного потенціалу і розвитку чоловічого безпліддя.

Для проведення дослідження було сформовано чотири групи спермодонорів з різних регіонів України шляхом рандомізованого відбору. До першої групи увійшли чоловіки, що постійно проживали у Житомирській області на територіях з радіоактивною забрудненістю від 100 до 550 кБк/м². Другу групу склали мешканці Київської області, де радіоактивність місцевості коливалась від 40 до 185 кБк/м², а третю – жителі Чернігівської області, що мешкала на територіях з радіоактивністю в межах 40 - 100 кБк/м². Четверта група була утворена як контрольна, оскільки Полтавська область за даними дозиметричного аналізу вважається радіоактивно незабрудненим регіоном.

Встановлено, що у чоловіків з радіоактивно забруднених районів відбувається погіршення бар'єрних властивостей мембран сперматозоїдів, що зрештою зумовлює міграцію акросомальних ферментів до спермальної рідини. Одночасне зростання ферментативної активності як специфічних, так і неспецифічних акросомальних ферментів у спермальній рідині є прямим свідченням як погіршення напівпроникності плазматичних і акросомних мембран сперматозоїдів, так і руйнування самих акросом у сперматозоїдах. Збільшення активності акросомальних ферментів у спермальній рідині прямим чином вказує на зменшення фертилізаційного потенціалу сперматозоїдів, що корелює з рівнем радіоактивного забруднення територій у місцях проживання. Селективна зміна активності неспецифічного акросомального ферменту кислої фосфатази у спермальній рідині дає підстави підозрювати розвиток запалення або наявності патології передміхурової залози у пацієнтів. Наявність значних розбіжностей в показниках ферментативної активності загального і вільного акрозину у спермальній рідині вказує на розвиток тератозооспермії, що пов'язана з аномаліями голівок сперматозоїдів і руйнуванням акросом. Селективне збільшення активності гіалуронідази в спермальній рідині має вказувати на наявність підвищених концентрацій N-ацетиламіноукрів у спермі.

УТВОРЕННЯ ТА РЕПАРАЦІЯ ТЕРМОЛАБІЛЬНИХ САЙТІВ ДНК ЯК ДЖЕРЕЛО ДОДАТКОВОГО ГЕНОТОКСИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА КЛІТИНИ ЗА ПОЄДНАНОГО РАДІАЦІЙНО-ХІМІЧНОГО ВПЛИВУ

І. І. Музальов, В. М. Михайленко

*Інститут експериментальної патології, онкології та радіобіології
ім. Р. Є. Кавецького НАН України, Київ*

Різноманіття шкідливих чинників створює небезпеку їхнього одночасного впливу на організм, та обумовлює необхідність експериментального дослідження загальних закономірностей сумісної дії фізичних і хімічних факторів навколишнього середовища, прогнозування шкідливих наслідків та розробки заходів їхнього попередження. Дані щодо ефектів поєднаного впливу таких екологічних факторів, як оксиди азоту та іонізуюче випромінювання (ІВ), на розвиток генетичної нестабільності та як результат підвищення канцероген-

ного ризику практично відсутні.

Прямий чи опосередкований вплив генотоксичних факторів, включаючи ОА та ІВ, на ДНК призводить до утворення широкого спектру пошкоджень різного типу та біологічної ваги. Ці пошкодження можуть бути представлені як «явними», тобто такими, що детектуються та відносно швидко виправляються системою репарації, так і «скритими», що проявляються за процесінгу первинних пошкоджень або на більш пізніх стадіях клітинного циклу. До останніх відносять термолабільні сайти (ТЛС), які можуть перетворюватись у двониткові розриви ДНК, що надзвичайно небезпечні для клітини.

Задля визначення повної картини розвитку генетичної нестабільності, маючи на увазі кінцеву загальну кількість двониткових розривів у ДНК, було проведено визначення ТЛС модифікованим методом горизонтального гелелектрофорезу ізольованих клітин з високотемпературним гідролізом. Лімфоцити периферичної крові (ЛПК) зазнавали *in vitro* окремої та поєднаної дії нітрозоглутатіону (НГ) та ІВ у дозах 2,5, 5, 7,5 та 10 Гр.

Базовий рівень ТЛС був у три рази вищим за кількість двониткових розривів ДНК (дані не наведено). Вплив НГ призвів до підвищення рівня пошкодження ДНК у 1,5 рази. Опромінення ЛПК викликало дозозалежне підвищення рівня пошкоджень ДНК у 3,6 - 8,2 рази. Поєднана дія НГ та ІВ призвела до підвищення рівня пошкоджень ДНК у 1,5 - 1,7 рази порівняно з генотоксичним ефектом відповідної дози ІВ за окремої дії. Через годину після впливу рівень ТЛС ДНК знизився всього у 1,4 - 1,7 рази, що вказує на накопичення значної кількості цього типу пошкоджень. Інтенсивність відновлення ТЛС була у 1,1 - 1,6 рази нижчою за аналогічний показник після окремої дії ІВ та у 1,2 - 1,8 рази – після поєднаної дії НГ та ІВ.

Таким чином, окрема та поєднана з ІВ дія НГ призводить до утворення значної кількості ТЛС у ДНК, та в суттєвій мірі змінює інтенсивність перебігу процесів репарації. Перетворення ТЛС у двониткові розриви ДНК може призвести до збільшення генотоксичного навантаження на клітину, викликаючи інтенсифікацію розвитку генетичної нестабільності та зумовлюючи підвищення канцерогенного ризику. Загальне генотоксичне навантаження на клітину має визначатися як сума пошкоджень, що присутні безпосередньо після впливу факторів навколишнього середовища, та таких, що утворюються пізніше із скритих кластерів пошкодження ДНК шляхом конверсії ТЛС.

ПРО ІМУНОРЕГУЛЯТОРНУ ТА РАДІОЗАХИСНУ ФУНКЦІЮ ВІТАМІНІВ

В. І. Паламарчук

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

В експериментах на мишах одержано дані про дію вітаміну Д, ретиноїдів та їх комплексу на поліпотентні стовбурові кровотворні клітини, які становлять основу процесів кровотворення та імунного захисту організму. Цей ви-

сновок спирається на добути нами дані про підвищення числа КОЕ-с у кістковому мозку інтактних мишей. Так, по уведенні тваринам ретиноїдів на четверту добу число КОЕ-с становить $33,2 \pm 2,8 \cdot 10^5$, а вітаміну Д – $42,3 \pm 2,1 \cdot 10^5$ (за $23,60 \pm 2,75 \cdot 10^5$ колоній у контролі). Найвищий рівень колоніє утворення – $65,4 \pm 5,2 \cdot 10^5$ спостерігається за уведення комплексу вітамінів, що свідчить про їхню синергічну дію.

Уведення окремо вітамінів та їхніх комплексів призводить до змін клітинного складу крові й кісткового мозку у нормальних та опромінених дозою 4 Гр тварин. Для вітаміну Д це виражається у значній стимуляції моноцитопоезу, а для ретиноїдів – у розширенні пулу зрілих гранулоцитів у кістковому мозку й крові тварин, що є показником протипухлинної резистентності і може стати в пригоді для зниження радіаційного ризику в зоні впливу ЧАЕС.

Вивчення великих грануловмісних лімфоцитів показало, що під впливом ретиноїдів кількість клітин – кілерів у периферійній крові зростає, особливо по уведенні комплексу.

Отож, ретиноїди, вітамін Д та їхні комплекси впливають на проліферацію та диференціювання стовбурових кровотворних клітин крові - КОЕ-с. При цьому змінюється клітинний склад крові та кісткового мозку інтактних і, особливо, опромінених мишей у бік значного збільшення кількості зрілих гранулоцитів та моноцитів. Вітаміни А і Д діють синергічно і їхній комплекс може найефективніше застосовуватися для стимуляції диференціювання ефекторних клітин протипухлинного захисту та посилення функціонування нормальних стовбурових кровотворних клітин людини, особливо за умов хронічного опромінення малими дозами. Оскільки доведено, що малі дози радіації істотно пригнічують імунну систему, знижують кількість, а також активність так званих клітин – кілерів, які відповідають за протипухлинний і антивірусний імунітет.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КІНЕТИКИ РАДІОНУКЛІДІВ ^{90}Sr В ОРГАНІЗМІ ДРІБНИХ ГРИЗУНІВ ЗА РІЗНИХ РЕЖИМІВ НАДХОДЖЕННЯ

В. І. Пастушенко, М. В. Найчук, І. П. Дрозд, А. І. Липська

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Запропоновано концептуальну математичну модель метаболізму ^{90}Sr для моделювання процесів обміну ізотопів в організмі за різних режимів надходження їх до організму. За результатами експериментальних досліджень з одноразовим та тривалим надходженням радіонуклідів стронцію до організму лабораторних щурів визначені біокінетичні константи, наведені числові значення їх для даних експериментальних умов. Параметризація моделі була проведена за експериментальними даними.

Для реалізації програмно-математичного комплексу використовували па-

кет програм для числового аналізу MATLAB R2009b в середовищі якого створено спеціальні функції: `difeqs`, `difeqs_chron` для випадків одноразового та хронічного надходження.

Удосконалено процедуру оцінки доз опромінення окремих органів та тканин організму шурів в різні терміни від початку надходження ^{90}Sr з урахуванням вікових змін тварин та особливостей формування дозового навантаження.

Процедура реалізації даного програмного продукту проводилась в такій послідовності:

- написання функцій для опису системи диференційних рівнянь;
- застосування вбудованої функції `ode45` в середовищі MATLAB;
- написання функції для розрахунку активності ^{90}Sr в органах і тканинах за різних режимів надходження до організму;
- створення бібліотек змінних параметрів;
- розрахунок середньоінтегральної маси тварин;
- розрахунок поглинутих доз для різних відділів шлунково-кишкового тракту шурів;
- написання функції для розрахунку поглинутих доз в окремих органах і тканинах організму;
- розробка графічного інтерфейсу програми;
- створення блок-схеми коду програми для випадків одноразового та тривалого надходження ^{90}Sr .

Наведено алгоритми вирішення конкретних задач і лістинги відповідних програм, отримано задовільне узгодження експериментальних та розрахункових даних.

У ході виконання роботи створено зручний в користуванні програмний продукт для експрес-ідентифікації параметрів кінетики та розрахунку доз опромінення за одноразового та тривалого надходження ^{90}Sr .

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МАТРИЧНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ГАММА-СПЕКТРОВ В ПОЛЕВОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

**Э. Э. Петросян¹, А. М. Соколов¹, С. С. Погуляй¹, Т. В. Микитюк¹,
Р. Ю. Чаплинский¹, М. В. Шестаков²**

¹ *Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев*

² *НПК Спектр, Киев*

Рассмотрен модифицированный матричный метод анализа гамма и бета-спектров, позволяющий учитывать сдвиг, растяжение-сжатие спектра, возникающий вследствие изменения параметров детектора спектрометра (напряжения, усиление и т.д.) работающего в полевых и лабораторных условиях. В предлагаемом методе согласование энергетических шкал измеренного спектра и эталонных спектров (компонент) идет по критерию минимума невязки

между измеренным и эталонными спектрами. Преобразованию подвергается только измеренный спектр, напрямую из дискретной формы в дискретную, минуя промежуточные этапы аппроксимации спектров и интегрирования получившихся функций. Для минимизации невязки выбрана простая процедура перебора, организованная в два этапа, на грубой и мелкой сетках.

Проведена проверка метода при обработке экспериментальных гамма-спектров аттестованной смеси Cs-137/K-40/Th-Nat/Ra-Nat набранных на сцинтилляционном спектрометре (NaI(Tl), 2048 каналов). Сдвиг, растяжения-сжатия спектров при наборе осуществлялось двумя способами: 1) изменялся коэффициент усиления; 2) нагреванием детекторного блока. Максимальный сдвиг центра пика Cs-137 (662 кэВ) при сжатии составил 73 канала, а при растяжении – 83.

Активности, рассчитанные из сдвинутых, сжатых-растянутых спектров в случае изменения коэффициента усиления тока и в случае нагрева детектора, отличаются не более чем на 11 и 5 % соответственно от активностей, рассчитанных из спектра, набранного при калибровочных параметрах усиления и температуры. Таким образом, метод работает в широком диапазоне сдвига, растяжения-сжатия спектра по каналам спектрометра.

Данный метод позволяет отказаться от использования аппаратной стабилизации набора спектра, которая увеличивает стоимость прибора и снижает его надежность.

На основе данного метода была создана программа MIG-051 под ОС Андроид для позволяющая проводить анализ гамма-спектров с использованием смартфона в полевых условиях.

КО-МУТАГЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ОБЛУЧЕННЫХ КЛЕТКАХ КРОВИ ЗДОРОВЫХ ЛИЦ И ОНКОЛОГИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ (сравнительные аспекты)

Е. П. Пилипчук¹, Е. А. Демина¹, В. С. Иванкова²

¹ *Институт экспериментальной патологии, онкологии и радиобиологии
им. Р. Е. Кавецкого НАН Украины, Киев*

² *Национальный институт рака МЗ Украины, Киев*

Проблема увеличения онкологической заболеваемости населения особенно остро обозначилась в связи с сложившейся экологической ситуацией, когда мутагенная нагрузка на человека неуклонно возрастает. Серьезную опасность представляют лекарственные препараты с ко-мутагенной активностью, которые в комбинациях с потенциальными мутагенами могут существенно потенцировать их эффекты. К наиболее распространенным препаратам-антиоксидантам относят аскорбиновую кислоту (АК), которая по данным литературы может проявлять радиозащитный, мутагенный, или ко-мутагенный эффекты.

Цель исследования: сравнительный анализ влияния АК на формирование повреждений хромосом в культуре лимфоцитов периферической крови (ЛПК) первичных онкологических больных и здоровых лиц при облучении в малых дозах в зависимости от концентрации препарата (исследование *in vitro*).

Цитогенетическое исследование выполнено с использованием тест-системы ЛПК условно здоровых лиц и онкогинекологических больных. Культуру ЛПК облучали в дозе 0,3 Гр на рентгеновской установке «РУМ-17». АК вводили в культуру ЛПК сразу после облучения в интервале концентраций 20,0 и 80,0 мкг/мл крови. Культивирование ЛПК, приготовление препаратов хромосом и цитогенетический (метафазный) анализ проводили с использованием стандартного протокола (IAEA, 2011).

Установлено, что АК в интервале концентраций 20,0 и 80,0 мкг/мл не влияет существенно на величину и спектр спонтанного уровня aberrаций хромосом в ЛПК как доноров, так и онкологических больных. Показано, что постлучевое воздействие АК в концентрации 20,0 мкг/мл оказывает радиозащитное действие на клетки здоровых доноров, уменьшая общую частоту aberrаций хромосом ~ в 1,5 раза по сравнению с эффектом облучения. При повышении концентрации АК до 80,0 мкг/мл отмечается ко-мутагенный эффект: увеличение частоты aberrаций в ЛПК доноров по сравнению с эффектом облучения ~ в 1,4 раза. При рентгеновском облучении культуры ЛПК онкологических больных и дополнительном воздействии АК в концентрациях 20,0 и 80,0 мкг/мл регистрируются только ко-мутагенные эффекты: повышение общей частоты aberrаций хромосом в 1,7 - 1,4 раза по сравнению с эффектом облучения, и в 2,7 и 2,1 раза, соответственно, по сравнению с интактным контролем. Наблюдаемый эффект АК формируется в основном за счет aberrаций хромосомного типа, то есть радиационно-индуцированных перестроек хромосом. Нами показано, что существенную роль в формировании ко-мутагенных эффектов играет нарушение процессов репарации двуниевых разрывов ДНК - гомологичной рекомбинации (HR).

Таким образом, при сочетанном действии с облучением в малой дозе АК проявляет ко-мутагенные свойства только в высоких концентрациях, что приводит к нестабильности генома и проявляется в повышении частоты хромосомных aberrаций как в клетках условно здоровых доноров, так и онкологических больных.

КОМБІНОВАНИЙ ВПЛИВ N-СТЕАРОЇЛЕТАНОЛАМІНУ ТА ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ГЕМАТОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПЕРИФЕРИЧНОЇ КРОВІ ЩУРІВ

Н. К. Родіонова¹, В. В. Талько¹, Н. П. Атаманюк¹, Л. П. Дерев'янку¹,
Є. М. Прохорова¹, В. Косякова², О. Ф. Мегедь², А. Г. Бердишев²,
Н. М. Гула², А. А. Чумак¹

¹ Державна установа

«Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України», Київ

² Інститут біохімії ім. О. В. Палладіна

Національної академії наук України, Київ

В останні роки значна увага в напрямку розробки засобів профілактики та лікування онкологічних та непухлинних тяжких захворювань в умовах погіршення стану довкілля звернута до препаратів, діючою речовиною яких є канабіноїди. На особливу увагу заслуговують малополярні біологічно активні речовини – N-ацилетаноламіни (NAE), які мають канабіміметичні властивості і здатні впливати на біохімічні процеси, що лежать в основі патогенезу багатьох захворювань. Показано, що NAE з насиченими ланцюжками, зокрема, N-стеароїлетаноламін (NSE) може пригнічувати ріст пухлин, підвищувати активність ферментів антиоксидантної системи (зокрема, каталази) і гальмувати накопичення продуктів перекисного окислення ліпідів.

Мета дослідження – виявлення радіомодифікуючих властивостей NSE за умов комбінованої дії препарату та іонізуючого випромінювання шляхом вивчення особливостей змін гематологічних показників периферичної крові щурів.

Досліди проведені на 60 білих лабораторних щурах-самцях, розподілених на групи по 12 особин в кожній відповідно до умов експерименту: 1 – контроль – інтактні тварини; 2 – тварини, яким через зонд вводили NSE; 3 – тварини, опромінені у дозі 6,0 Гр); 4 – тварини, яким вводили NSE перед опроміненням; 5 – тварини, яким вводили NSE після опромінення. N-стеароїлетаноламін вводили перорально в дозі 10,0 мг/кг маси тварин одноразово щоденно упродовж 7 діб до та після опромінення. Щурів опромінювали одноразово тотально в дозі 6,0 Гр на радіотерапевтичному апараті «Тератрон» (Канада), (джерело – ⁶⁰Co, потужність експозиційної дози $4,39 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг · с). Гематологічні показники визначали через 3, 7 і 14 діб після опромінення. Підрахунок формених елементів периферичної крові проводили меланжерно-камерним способом, вміст гемоглобіну визначали за методом Салі. Кольоровий показник розраховували за стандартною методикою. Мазки крові фарбували за Романовським, лейкограми підраховували на 200 клітин.

На основі кількісних і якісних змін гематологічних показників перифери-

чної крові встановлено, що введення шурам NSE (10,0 мг/кг маси) до та після одноразового тотального γ -опромінення в дозі 6,0 Гр призводить до зниження кількості циркулюючих клітин, збільшення ознак ураження кровотворної системи з прискоренням процесів виснаження, що свідчить про радіосенсибілізуючу дію препарату.

ВПЛИВ ФРАКЦІОНОВАНОГО ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЕННЯ В МАЛИХ ДОЗАХ НА РІСТ ТА МЕТАСТАЗУВАННЯ КАРЦИНОМИ ЛЕГЕНІ ЛЬЮЇС В ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІЙ МОДЕЛІ

Н. М. Рябченко, О. Б. Ганжа, М. О. Дружина

*Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології
ім. Р. Є. Кавецького НАН України, Київ*

Метою роботи було дослідити вплив фракціонованого опромінення в малих дозах на процеси росту та метастазування експериментальної моделі карциноми легені Льюїс мишей. Пухлинні клітини (штам банку клітин ІЕПОР НАНУ) мишам лінії С57В1/6 вводили внутрішньом'язево в концентрації $2,5 \times 10^5$ клітин на тварину. Опромінення тварин у сумарній дозі 1,0 Гр здійснювали фракціями по 0,1 Гр. Вивчали кінетику росту пухлин та показники інтенсивності метастазування.

Фракціоноване опромінення тварин в сумарній дозі 0,2 Гр до трансплантації клітин КЛІ дослідним мишам не впливало на ефективність її перещеплення. Подальше опромінення у режимі фракціонування по 0,1 Гр за фракцію істотно стимулювало ріст первинного пухлинного вузла протягом усього періоду спостереження. На 23 добу росту пухлини її середньогрупові значення об'єму та маси майже удвічі перевищувала аналогічні показники групи контролю перещеплення. При цьому процеси метастазування мали протилежний характер: істотно знизилась частота метастазування, кількість та площа метастазів у тварин з метастатичним ураженням легень.

Динаміку імунної відповіді організму мишей після перещеплення і розвитку пухлини оцінювали за показниками функціональної здатності перитонеальних макрофагів. Показано, що іонізуючі випромінювання пригнічують фагоцитарну активність макрофагів. Максимальний ефект спостерігався у період метастазування.

Дія на клітини-ефектори неспецифічного протипухлинного імунітету розглядається як один із механізмів реалізації про- та антинеопластичних ефектів малих доз іонізуючих випромінювань.

ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ЕФЕКТИ В ГРУПІ ОСІБ ІЗ ПЕРСОНАЛУ, ЯКИЙ ВИКОНУВАВ РОБОТИ З ДЕМОНТАЖУ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ ТРУБИ ОБ'ЄКТУ «УКРИТТЯ»

**Л. В. Тарасенко¹, Л. К. Бездробна¹, Т. В. Циганок¹, Т. В. Мельник¹,
В. А. Курочкіна¹, В. О. Сушко², С. Ю. Нечасв², Л. І. Швайко²**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Державна установа*

«Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України», Київ

При професійній діяльності в особливо небезпечних радіаційно-гігієнічних умовах у деяких випадках недостатньо проведення контролю доз опромінення працівників лише методами фізичної дозиметрії. Тому в програму спеціального медико-біофізичного контролю персоналу, який виконує роботи з трансформації об'єкту «Укриття» (ОУ) ДСП ЧАЕС на екологічно безпечну систему, включено цитогенетичне обстеження осіб методом аналізу хромосомних аберацій в лімфоцитах периферійної крові. Такий підхід дає змогу за допомогою специфічних маркерів опромінення виявити або підтвердити сам факт дії радіаційного чинника на організм і, за його наявності, встановити орієнтовну поглинену дозу опромінення із урахуванням індивідуальної радіочутливості.

Мета дослідження – цитогенетична індикація можливого опромінення групи осіб із підрядного персоналу, який виконував роботи з демонтажу вентиляційної труби.

Проведено цитогенетичне обстеження 12 осіб із числа робітників підрядних організацій ОУ і для порівняння 14 осіб, які не мали контактів із радіаційними і хемічними чинниками під час професійної діяльності. Використано класичний метод аналізу рівномірно забарвлених хромосом.

У підрядного персоналу середньогрупова частота аберантних лімфоцитів та аберацій хромосомного (дицентрики, ацентрики, атипові моноцентрики) і хроматидного типів вірогідно перевищує відповідну частоту в групі порівняння. У трьох осіб із персоналу індивідуальна частота специфічних маркерів опромінення – дицентричних хромосом зі супровідними фрагментами, вірогідно перевищує їхній середньопопуляційний рівень і середню частоту в групі порівняння, що свідчить про ймовірність їхнього наднормативного опромінення. У осіб персоналу зареєстровано клітини з двома хромосомними обмінами і мультиаберантну клітину при відсутності таких у контрольних осіб. Розраховані за частотою дицентричних хромосом орієнтовні «біологічні» дози опромінення трьох осіб персоналу свідчать про більш значну дію на них радіаційних чинників, ніж це виходить із даних фізичної дозиметрії. Розраховані орієнтовні дози опромінення двох із них становили 87–123 мГр і однієї особи – 210 - 240 мГр гострого опромінення.

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ РАДІОФАРМПРЕПАРАТІВ В ІНСТИТУТІ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН УКРАЇНИ

В. В. Тришин, О. В. Божок, Л. К. Бездробна, Г. Я. Мінчук, В. А. Агєсв

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Виробництво радіофармпрепаратів (РФП) неможливе без використання сучасних систем управління якістю (СУЯ). СУЯ при виробництві РФП в лабораторії радіонуклідів та радіофармпрепаратів Центру екологічних проблем атомної енергетики розроблялась одночасно з організацією робіт з виробництва продукції. Ефективне функціонування СУЯ особливо важливе при виробництві РФП на основі короткоживучих радіонуклідів. У таких випадках застосування РФП починається до закінчення всіх випробувань з контролю їхньої якості (як приклад, діагностичний РФП пертехнетат натрію ^{99m}Tc).

СУЯ передбачає: постановку задач у сфері якості вищим керівництвом; інформування персоналу та його відповідну кваліфікаційну підготовку; постійний моніторинг всіх видів діяльності, розробку і реалізацію коригувальних і запобіжних дій, проведення внутрішніх аудитів, регулярний нагляд з боку керівництва.

Розробка та впровадження СУЯ при виробництві РФП мають свої особливості у зв'язку з необхідністю виконання радіофармацевтичним виробництвом окрім вимог галузевого стандарту - Належної виробничої практики (GMP) ще і дотримання Загальних вимог до системи управління діяльністю у сфері використання ядерної енергії. На даному етапі розроблено концептуальну модель СУЯ виробництва РФП. У ході розробки моделі використано інформаційні матеріали, щодо впровадження СУЯ на фармпідприємствах України. Розроблена модель СУЯ базується на трьох стандартах. Структурною основою СУЯ стала модель ISO 9001 в яку вбудовано необхідні галузеві вимоги. Розроблена модель ґрунтується на процесному й системному підході, використанні принципу Е.Демінга (цикл PDCA "Plan-Do-Check-Act") як до кожного процесу, так і системи в цілому. Даний підхід передбачає визначення та формування мережі взаємопов'язаних і взаємодіючих процесів при виробництві РФП де чітко встановлені «входи» і «виходи» кожного процесу, параметри та критерії оцінювання й аналізування, розподіл повноважень і відповідальності. «Системний підхід до управління» реалізовано шляхом створення процесної моделі, регламентації здійснення процесів, розробки задокументованих процедур різних рівнів, оцінки їхньої результативності та застосування заходів для постійного вдосконалення.

Створення завдяки СУЯ таких внутрішніх відносин між всіма видами діяльності (процесами), коли вихід процесу оцінюється за встановленими критеріями перш ніж стати входом відповідного наступного процесу, забезпечення зрозумілості і чіткості для виконавців алгоритмів процесів зменшує

кількість помилок, залучає до відповідальності за якість кожного учасника процесу. Все це забезпечить високу якість РФП, вимоги споживачів, радіаційну безпеку персоналу, екологічні вимоги.

ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ АНТИОКСИДАНТНОГО ЗАХИСТУ У РЯД ГЕНЕРАЦІЙ *ASPERGILLUS VERSICOLOR*

А. В. Тугай¹, Т. І. Тугай¹, В. О. Желтоножський²,
М. В. Желтоножська², Л. В. Садовніков²

¹ *Інститут мікробіології та вірусології
ім. Д.К. Заболотного НАН України, Київ*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

Виходячи з того, що Чорнобильська катастрофа призвела до «плямисто-го» радіоактивного забруднення ґрунту, від відносно низьких до значних рівнів, надзвичайно актуальним стало дослідження реакцій-відповідей грибів, як найбільш чисельної і активної компоненти біогеоценозу, на низькі за величиною дози хронічного радіоактивного опромінення. Хронічне опромінення має місце на значних територіях і відповідно, спричиняє суттєвий вплив на функціонування мікробного ценозу, зокрема, мікобіоти ґрунту. В попередніх дослідженнях нами встановлено, що у 70 - 80 % досліджених мікроміцетів найбільша зміна біологічної активності виявлена у штамів, які були виділені з екоотопів з потужністю експозиційної дози до 500 мР/год.

Для мікроміцетів оцінка дозового навантаження в природних умовах зони відчуження є складним і досить невизначеним параметром, проте надзвичайно актуальним. Така оцінка ефективності постійно діючих низьких доз є основою прогнозування майбутнього цього ценозу, виходячи з того, що гриби беруть активну участь в транслокації у ґрунті поживних речовин, металів, в тому числі і радіонуклідів, та в процесах включення їх у трофічні ланцюги. Тому актуальним було створення оригінальної модельної установки, що імітує низькі дози опромінення в зоні відчуження та дає змогу вивчати реакції – відповіді грибів в контрольованих умовах на різних рівнях ієрархічної організації – від ценотичного до молекулярного.

Метою дослідження є вивчення біологічної активності у ряду опромінених в модельних умовах генерацій *Aspergillus versicolor* на рівні організму – за швидкістю радіального росту та на молекулярному – за активністю ключових ферментів антиоксидантного захисту (каталази, пероксидази, супероксиддисмутази).

Дослідження швидкості радіального росту були проведені в порівняльному аспекті в трьох поколіннях у двох штамів *Aspergillus versicolor* з радіоадаптивними властивостями та контрольованого штаму, який таких властивостей не мав на двох середовищах, що відрізнялися за вмістом джерела вуглецевого живлення.

Встановлено, що зміни цього інтегрального показника росту відбувалися у обох досліджених штамів та мали хвильовий характер зміни від одної генерації до іншої.

Виявлені відмінності більш виражені при рості на «бідному» за вмістом джерела живлення середовищі.

При дослідженні особливостей функціонування ферментів антиоксидантного захисту, а саме супероксиддисмутази, каталази та пероксидази у трьох поколіннях досліджених штамів *Aspergillus versicolor* виявлені суттєві – у кількох разів зміни в активності досліджуваних ферментів, які відрізнялись у різних генераціях, тобто було виявлено також хвильовий характер змін активності від однієї генерації до іншої. Обговорюється можливий механізм реалізації таких змін.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСНЕННЯ ЛІПІДІВ У *ASPERGILLUS VERSICOLOR*

**Т. І. Тугай¹, А. В. Тугай¹, В. О. Желтоножський², М. В. Желтоножська²,
Л. В. Садовніков², Л. О. Підгерська¹**

¹ Інститут мікробіології та вірусології
ім. Д.К. Заболотного НАН України, Київ

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Гриби є постійними та біологічно активними компонентами біогеоценозів та мають ряд пристосувань до виживання в умовах з підвищеним радіаційним фоном. Проте механізми, які сприяють адаптації такої важливої первинної ланки багатьох трофічних ланцюгів до цього часу ще не достатньо вивчені. Основою даної роботи є вивчення адаптативних пристосувань, що виникають у досліджуваних штамів мікроміцетів, упродовж тривалого росту в умовах хронічного опромінення, що створюється шаром ґрунту (що знаходиться в експериментальній установці) подібного за властивостями та складом до ґрунтів Зони відчуження.

Відомо, що негативні радіаційні uszkodження призводять до стимуляції вільнорадикальних процесів. Адаптація мікроміцетів відбувається за рахунок певних механізмів, що забезпечують підтримку окисно-відновлювального гомеостазу в нормі. В літературі майже відсутні дані про стан ПОЛ у грибів в умовах хронічного опромінення. Цей напрям найменш досліджений та вивчений, тому потребує проведення досліджень для встановлення механізмів захисту та пристосування мікроміцетів до підвищеного радіаційного фону.

Робота присвячена вивченню процесу перекисного окиснення ліпідів у світлопігментованих грибів роду *Aspergillus versicolor* під впливом хронічного іонізуючого опромінення.

Досліджено утворення первинних та вторинних продуктів перекисного окиснення ліпідів під впливом хронічного іонізуючого опромінення, а саме: -

діє нових та триєнових кон'югатів, малонового діальдегіду та шифових основ.

Встановлено, що на рівень первинних та вторинних продуктів ПОЛ впливає ряд факторів, зокрема, виявленні відмінності в інтенсивності реакцій ПОЛ протягом різних етапів онтогенезу досліджуваних мікроміцетів з радіоадаптивними властивостями та контрольних, що таких властивостей не мали. Під дією іонізуючого опромінення виявлено різні зміни рівня вторинних продуктів ПОЛ на початку та в кінці стаціонарної фази росту в досліджених штамів. В штаму *A. versicolor* 432 найвищий рівень МДА спостерігається на початку стаціонарної фази на відміну від ДК, рівень яких максимальний у експоненційній фазі росту. В стаціонарній фазі рівень МДА в обох штамів досягає майже однакового рівня. В штаму *A. versicolor* 99, що проявив адаптивні властивості, рівень МДА змінюється впродовж росту гриба, та досягає найвищого рівня на початку стаціонарної фази.

У мікроміцетів наявна комплексна відповідь у вигляді змін у системі ПОЛ за відсутності дії хронічного іонізуючого опромінення, що залежить від наявності чи відсутності раніше сформованих радіотропних властивостей та фаз росту. За дії хронічного опромінення виявленні суттєві в рівні ПОЛ у досліджуваних мікроміцетів, що дає підстави вважати, що реакції ПОЛ є однією з ланок формування радіоадаптивних властивостей у досліджених мікроміцетів.

ГЕМАТОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЗА ОДНОРАЗОВОГО ПЕРОРАЛЬНОГО НАДХОДЖЕННЯ ДО ОРГАНІЗМУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ЩУРІВ РОЗЧИНУ НАТРІЮ ЙОДИДУ (Na^{131}I)

Т. В. Циганок, І. П. Дрозд, Л. В. Тарасенко, В. І. Федорченко

Інститут ядерних досліджень НАН України. Київ

Ізотопи йоду утворюються при роботі ядерно-енергетичних підприємств. В аварійний та ранній післяаварійний період після аварії на ЧАЕС, радіонуклід ^{131}I був одним із основних дозоутворюючих елементів. Система крові є однією з найбільш радіочутливих систем організму. У зв'язку з цим доцільними є експериментальні дослідження показників периферійної крові після надходження радіонукліду ^{131}I .

Дослідження виконували на лабораторних щурах лінії Вістар віком 3 - 3,5 місяці з вихідною масою тіла – 190 - 210 г. Радіонуклід ^{131}I у вигляді розчину натрію йодиду (Na^{131}I) вводили одноразово перорально з активностями 3,3, 19,16, 113,8 і 327,0 кБк на тварину. Показники периферійної крові досліджували за 1 добу до введення препарату (вихідні дані), через 1, 3, 7, 14 та 30 діб після введення. Паралельно досліджували контрольну групу інтактних щурів. Визначали кількість еритроцитів, лейкоцитів і лейкоцитарну формулу загальноприйнятими методами.

У результаті проведеного дослідження після введення різних активностей

радіонукліду ^{131}I не виявлено вірогідних змін у кількості еритроцитів у кров'яному руслі впродовж всього терміну спостереження. Зміни в лейкоцитарній ланці носили однонаправлений характер після всіх введених активностей: поступове підвищення кількості лейкоцитів, порівняно з вихідними даними, з піком на 7 добу спостереження з подальшим зниженням показника. При введеній активності 3,3 кБк кількість лейкоцитів нормалізувалася до кінця спостереження, а при більших активностях перевищувала вихідні величини на 30 добу спостереження. Збільшення активності введеного радіоїоду викликало суттєво більший ступінь вірогідного підвищення кількості лейкоцитів упродовж всього експерименту за рахунок збільшення абсолютної кількості лімфоцитів. При цьому відносна кількість окремих форм лейкоцитів змінювалася не системно.

Зміни в лейкоцитарній ланці периферійної крові експериментальних щурів після введення радіоїоду, що має специфічну тропність до щитоподібної залози і створює відносно невеликі дози опромінення на кровотворні органи й кров, у ранні терміни спостереження, ймовірно, мають характер перерозподілу клітин, а у подальші терміни – свідчать про посилення проліферації лімфоїдного ряду кровотворення.

ОСОБЛИВОСТІ РЕАКЦІЙ ВИЩОЇ НЕРВОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЩУРІВ ЗА УМОВ КОМБІНОВАНОЇ ДІЇ ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ ТА СТРЕСУ

М. В. Шелковський

Державна установа

«Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України», Київ

Відомо, що опромінення, особливо за аварійних ситуацій, найчастіше поєднується із дією низки різних стресорів. Такий комбінований вплив призводить до певної невизначеності кінцевого біологічного ефекту і утруднює встановлення причинного зв'язку між одержаною дозою та його медичними наслідками. При цьому психоневрологічні розлади у людей, які зазнали такого впливу і нині залишаються важливою медичною і соціально-економічною проблемою. Раніше нами була висунута гіпотеза, що ця взаємодія реалізується через спільну для багатьох стресових чинників вільнорадикальну ланку. Провідна роль вільнорадикальних процесів у механізмах рідкоіонізуючого радіаційного впливу відома з класичних робіт. Менш досліджена їхня значущість і динаміка за умов нерадіаційного стресу та їхньої комбінованої дії.

Метою нашої роботи було вивчення зміни чутливості вищої нервової діяльності щурів до впливу стресу нерадіаційної природи після опромінення тварин шляхом застосування речовин з антиоксидантними властивостями.

Стан ВНД щурів оцінювали за показниками умовнорефлекторних реакцій

активного уникання (човникова камера), всього проаналізовано 5 основних показників. Застосовували одноразове тотальне опромінення гамма-квантами (^{60}Co – терапевтична установка «Рокус»). Після опромінення тварин всіх груп щотижнево тестували у човникової камері (загалом 12 тестувань). Для відтворення стресу нерадіаційної природи в серіях досліджень був використаний додатковий стресовий вплив – (футшок). Як антиоксидантні засоби застосовували олійний розчин альфа-токоферолу та аскорбінову кислоту. В дослідженнях використано понад 300 білих нелінійних щурів самців, що на початку досліджень мали масу тіла 170 - 220 г (вік від 2 до 3 місяців). В кожній серії досліджень щури були одного віку з близькою початковою масою тіла.

За результатами аналізу даних, одержаних з використанням поведінкової методики (човникова камера), опромінення щурів призводить до зростання чутливості вищої нервової діяльності до впливу стресу нерадіаційної природи (футшок): характер динаміки показників поведінки таких тварин наближається до рівня, визначеного у стресованих неопромінених щурів. Стресування тварин, що отримували засоби з антиоксидантними властивостями показало, що показники поведінки тварин при негативному підкріпленні безпосередньо після стресування виявляють тенденцію до більш вираженої реакції. Збагачення раціону тварин антиоксидантами у разі комбінованого впливу одноразового опромінення та додаткового стресу справляло позитивний вплив на стан вищої нервової діяльності за умов опромінення в дозі 1,0, 3,0, 6,0 Гр, але при дозі 0,5 Гр не давали позитивного ефекту, а в деяких випадках застосування антиоксидантів при опроміненні в дозі 0,5 Гр та стресі спричиняє погіршення показників активного уникання. Одержані результати вказують на подвійну роль як вільних радикалів, так і антиоксидантів, що зумовлює необхідність ретельного обґрунтування, відповідного дозування та індивідуального підходу при додатковому уведенні їх до раціону залежно від дозового та стресового навантаження.

РАДІАЦІЙНІ НАСЛІДКИ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ В УКРАЇНІ

С. І. Азаров¹, В. Л. Сидоренко², Ю. П. Серeda²

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

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

Через 28 років після Чорнобильської катастрофи стало ще більше очевидним, що у випадку великих ядерних аварій на обширних територіях страждають агроєкосистеми, формуються зони підвищеного екологічного ризику, докорінно порушуються історично сформована стабільність сільськогосподарського виробництва.

В Україні щорічно в середньому фіксується понад 3 тис. лісових пожеж, з яких майже 90 % виникає з вини людини. Лісові площі, яких торкнулися пожежі за рік, у середньому становлять понад 4 тис. га, при цьому, як правило,

згоряє й ушкоджується кілька десятків тисяч кубометрів деревини.

При горінні лісової рослинності на територіях, забруднених техногенними радіонуклідами, у навколишнє середовище викидаються радіоактивні продукти згоряння (РПЗ) у вигляді диму, які, переміщаючись в атмосфері разом з повітряними масами, можуть призвести до радіаційного збитку здоров'я населення, яке мешкає поблизу радіаційно забруднених лісових насаджень.

Для опису сценарію утворення та поширення шлейфу диму і випадання летучих часток РПЗ була розроблена трьохмірна модель з використанням балансових рівнянь імпульсу і енергії повітряного потоку і кількості часток РПЗ в димовому шлейфі. Була чисельно вирішена система звичайних диференціальних рівнянь для швидкості повітряного потоку по осі струменя, його перегріву по відношенню до навколишнього повітря, радіусу струменя диму і концентрації РПЗ в димовій структурі [1].

При комп'ютерному моделюванні розглядалася розігріта димова хмара РПЗ, яка за рахунок архимедової сили підіймалася в атмосферу зі швидкістю не більше 10 м/с. Летучі частки РПЗ мали складний морфологічний і хімічний склад, при густині (3 - 10) г/см³, а їхній спектр змінювався в широкому діапазоні розмірів (0,1 - 100) мкм при АМАД від 30 до 50 мкм. Передбачалося, що після стабілізації хмари диму, перенесення і розсіювання дрібнодисперсних фракцій здійснювалось в необуреній атмосфері, а дисперсний склад летучих часток в димовій хмарі змінювався тільки за рахунок гравітаційного випадіння. В якості рівняння утворення і переміщення димової хмари РПЗ використовувалось рівняння динаміки аерозолу зі змінною масою. Остаточна картина радіоактивного забруднення місцевості формувалася за час, який залежав від метеорологічних параметрів та відстані до лісової пожежі.

Дослідження показали, що максимальний колективний радіаційний ризик за кожні роки становить 0,34 чол.·рік⁻¹, що не перевищує межу прийнятого ризику, а потенційна небезпека шкідливих впливів радіації на населення різних регіонів України незначна. Однак, короточасне підвищення вмісту радіонуклідів у приземному шарі повітря, можуть призвести до вагомих радіаційних наслідків [2].

У зв'язку з цим зацікавлені відомства та організації, в тому числі Держсанепідслужба та ДСНС України при розробці плану заходів з радіаційного захисту населення на випадок пожеж у лісах, забруднених радіонуклідами, повинні гарантувати повне виключення опромінення населення дозою понад консервативного порога ефективної дози опромінення, що призводить до тяжким наслідкам від детермінованих ефектів.

1. *Азаров С.И., Однолько А.А.* Оценка пожарной опасности территорий, загрязненных радионуклидами // Лесное хозяйство. - 1996. - № 3-1. - С. 15 - 16.
2. *Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97).* - К., 1997. - 121 с.

ОСОБЕННОСТИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОЛИГОТРОФНЫХ ВОДОЕМОВ

В. В. Беляев, Е. Н. Волкова

Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

Водный фонд Украины насчитывает десятки тысяч объектов, все они, в большей или меньшей мере, были загрязнены в результате испытаний ядерного оружия или аварии на ЧАЭС. В 1986 - 1996 гг. выборочным, эпизодическим радиоэкологическим контролем были охвачены около 5 тысяч водоемов. Однако постоянный радиоэкологический мониторинг проводили на нескольких десятках водоемов, в основном находящихся в зоне отчуждения. В настоящий момент радиоэкологическая обстановка в большинстве водоемов Украины неизвестна. Предполагалось, что уровни радиоактивного загрязнения компонентов водоемов уменьшаются с такой же, как и в первые годы после аварии, скоростью. Однако проведенная нами в 1999 - 2002 гг. оценка снижения содержания ^{137}Cs в рыбах оправдалась только для высокопродуктивных водоемов, в рыбах малопродуктивных водоемов скорость снижения содержания радионуклида оказалась ниже.

Следует отметить, что аномально высокие уровни содержания ^{137}Cs в рыбах олиготрофных озер были зафиксированы как в эпоху глобальных выпадения, так и после аварии на ЧАЭС. Повышенное содержание радионуклида в рыбах этих озер объясняли низким содержанием калия в воде. Это подтверждали и наши опыты, в которых показано, что K^+ блокирует поступление ^{137}Cs в организм пресноводных рыб. Однако наши данные не всегда согласуются с корреляцией между содержанием K^+ в воде и содержанием ^{137}Cs в рыбе. Так, в олиготрофном оз. Белое, где содержание ^{137}Cs в рыбе аномально высокое, концентрация K^+ в воде превышает средние для региона значения в 3 - 6 раз. Медленное снижение содержания ^{137}Cs в рыбах отмечены в мезотрофных озерах Шацкого НПЗ.

Проведенные нами исследования позволяют утверждать, что одной из причин медленного самоочищения водных масс и рыб от радионуклидов является замедленный обмен радиоактивных веществ между водными массами и донными отложениями. Так, согласно нашим расчетам, минимальная скорость самоочищения водных масс малопродуктивных водоемов от ^{90}Sr соответствует периоду полураспада 31,6 года, от ^{137}Cs – 35,2 года, средний для олиготрофных водоемов период составляет 9,5 и 3,0 года, соответственно. Эти данные были получены на примере водоемов, находящихся на значительном удалении от зоны отчуждения, для наиболее загрязненных водоемов зоны отчуждения период полураспада водных масс от ^{137}Cs составляет около 10 лет. Учитывая, что удельная активность рыб и водных растений пропорциональна концентрации ^{137}Cs в водных массах, можно утверждать, что и содержание этого радионуклида в биоте будет уменьшаться так же, как и в водных массах.

Таким образом, замедленный обмен радионуклидов между водными массами и донными отложениями олиготрофных водоемов может определять высокие уровни содержания радионуклидов в воде и биоте.

НОВЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ ВОЛОКНА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕЗИЯ ИЗ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД

**Ю. В. Бондарь, С. В. Кузенко, Н. В. Александрова,
Т. И. Коромысличенко**

ГУ «Институт геохимии окружающей среды» НАН Украины, Киев

В эпоху ядерной эры устойчивое развитие топливно-энергетического комплекса неразрывно связано с решением проблемы обращения с радиоактивными отходами, с изучением поведения радионуклидов в природной среде, а также проведением реабилитационных мероприятий на загрязненных территориях. Особую актуальность при решении поставленных проблем приобретает разработка и внедрение в практику новых сорбционных материалов для селективного извлечения радионуклидов из загрязненных природных и технологических вод.

Для селективного извлечения радиоизотопов цезия из загрязненных вод наибольшую эффективность продемонстрировали нерастворимые двойные ферроцианиды (ФЦ) переходных металлов, синтезируемые в виде микрокристаллов. Однако проведенные эксперименты по очистке жидких радиоактивных отходов с использованием ФЦ выявили их существенные недостатки, связанные с низкой механической стойкостью и пептизацией микрокристаллов. Чтобы преодолеть их был предложен вариант синтеза композитных адсорбентов путем осаждения или внедрения микрочастиц ФЦ на/в твердые матрицы.

С экономической точки зрения и возможности промышленного выпуска недорогих адсорбентов для экспресс-определения (и извлечения) радиоизотопов цезия в природных и промышленных водах, а также для очистки низкорadioактивных жидких радиоактивных отходов перспективными являются композитные адсорбенты на основе полимерных волокон.

В данной работе рассмотрен недорогой и коммерчески реализуемый метод синтеза новых композитных волокон путем *in situ* осаждения слоя ферроцианида калия-никеля на поверхность модифицированных полиакрилонитрильных волокон. Формирование слоя К-Ni ФЦ на поверхности волокон было подтверждено результатами СЭМ и ИК анализов. Композитные волокна показали высокую химическую устойчивость как в кислых, так и щелочных растворах. Синтезированные волокна характеризуются высокой селективностью по отношению к ионам цезия в присутствии большого избытка конкурирующих ионов натрия и калия.

Эксперименты по сорбции цезия (стабильного и радиоактивного ^{137}Cs) на

синтезированные волокна из низко- и высокосолевых растворов в присутствии большого избытка конкурирующих ионов натрия и калия показали их высокую селективность и эффективность сорбции (ϵ), которые возрастали с увеличением концентрации конкурирующих ионов. При экспериментальных условиях ($V = 15$ мл; $A = 2400$ Бк, $m = 0,05$ г) и увеличении соотношения $^{137}\text{Cs}/\text{Na} + \text{K}$ от $\sim 1/100$ до $\sim 1/10000$ значение K_d увеличивалось от $5 \cdot 10^2$ до $3,2 \cdot 10^4$ мл/г; а ϵ от 62 до 99,1 %.

МИГРАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕ ЧЕРНИГОВСКОЙ ОБЛАСТИ И БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ ЧАЭС

**Д. М. Бондарьков, И. Н. Вишневский, В. А. Желтоножский,
П. Н. Музалев, М. В. Желтоножская**

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Исследуется миграция различных радионуклидов в почве Черниговской области и ближней зоны ЧАЭС. Методом автордиографии измерены размеры горячих частиц в почве Рыжего леса и проведено сравнение с величинами полученными ранее. Показано, что горячие частицы из топливо-содержащих масс (ТСМ) и почвы ближней зоны ЧАЭС ведут себя по-разному. Так в почве частицы в зависимости от ее типа мигрировали, выщелачивались и разрушались, а радионуклиды в горячих частицах из ТСМ изменяли свой состав только за счет естественного радиоактивного распада. Соотношение изотопов в горячих частицах почвы со временем все больше отличаются от соотношения изотопов в ТСМ из «Укрытия». А во время аварии они практически совпадали. Поэтому, если будет неожиданный выброс из объекта «Укрытие» по соотношению изотопов в отобранных местах можно будет определить новые это выпадения или старые. Как и в предыдущих работах, наряду с цезием и стронцием исследовались изотопы плутония и америция. Проведены сравнения измеренных скоростей миграции ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и изотопов плутония за период с 2001 по 2013 - 2014 гг. Посчитаны экологические периоды полураспада. Результаты исследований показывают, что они могут различаться в пределах порядка для разных типов почвы для одного и того же изотопа и для разных изотопов для одного и того же типа почвы. Исследовано соотношение мобильных форм ^{90}Sr в почве ближней зоны ЧАЭС и проведено его сравнение с данными из предыдущих исследований. Наблюдается увеличение экологических периодов полураспада по сравнению с 2000 г. Для ^{137}Cs и ^{90}Sr это указывает на возрастающую роль в миграции радионуклидов растительного покрова почвы.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХРОСОМНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ В СОМАТИЧНИХ КЛІТИНАХ ЛЮДИНИ ЗА УМОВ КОМБІНОВАНОЇ ДІЇ ЕКЗОГЕННИХ ОКСИДІВ АЗОТУ ТА АСКОРБІНОВОЇ КИСЛОТИ

Е. А. Дьоміна, В. М. Михайленко, О. П. Пилипчук, О. А. Главін

*Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології
ім. Р. С. Кавецького НАН України, Київ*

Оксиди азоту (ОА) відносяться до потужних мутагенних факторів хімічної природи, які відіграють суттєву роль у формуванні чутливості клітин людини до дії іонізуючої радіації. Залишається нез'ясованим питання стосовно участі ОА у формуванні нестабільності геному за умов ко-мутагенної модифікації. До найбільш розповсюджених в медичній практиці препаратів-антиоксидантів, для яких остаточно не визначено радіопротекторний, мутагенний, або ко-мутагенний характер їхньої дії на клітини людини, відносять аскорбінову кислоту (АК).

Мета роботи: визначити особливості формування хромосомної нестабільності в соматичних клітинах людини за умов комбінованої дії екзогенних ОА та АК (дослідження *in vitro*).

Цитогенетичне дослідження виконано з використанням тест-системи лімфоцитів периферичної крові (ЛПК) умовно здорових осіб. Нітрозотіоли, як основну транспортну форму ОА, вводили в концентраціях 0,5 - 1,0 мкМ/мл крові, АК – в діапазоні концентрацій 20,0 - 40,0 - 80,0 мкг/мл крові. Культивування ЛПК, приготування препаратів хромосом і цитогенетичний (метафазний) аналіз клітин виконували відповідно до стандартного протоколу (ІАЕА, 2011). Встановлено, що АК в діапазоні концентрацій 20,0 - 40,0 мкг/мл крові не впливає на рівень хромосомних пошкоджень, індукованих ОА в лімфоцитах крові донорів. З підвищенням концентрації препарату до 80,0 мкг/мл крові, що перевищувало значення терапевтичної в 4 рази, відмічається ко-мутагенний ефект АК: при дії ОА в концентрації 0,5 мкМ/мл та 1,0 мкМ/мл підвищення загальної частоти аберацій хромосом в 1,7 і 1,4 рази, відповідно, у порівнянні з ефектом ОА. За дії ОА спектр індукованих пошкоджень представлено в цілому абераціями хроматидного типу (делеції і обміни), які вважаються індикаторами дії хімічних мутагенів. В нашому дослідженні найвищу ко-мутагенну активність за рівнем хроматидних аберацій АК проявляє в концентрації 80,0 мкг/мл, потенціюючи дію ОА (0,5 мкМ/мл) у 2 рази.

В якості додаткового показника ефектів комбінованої дії ОА та АК виконано експрес-оцінку проліферативного потенціалу лімфоцитів крові в культурі. Показано, що за умов сумісної дії АК в концентрації 80,0 мкг/мл підсилює токсичну дію ОА (0,5 - 1,0 мкМ), що проявляється у пригніченні МІ в 1,4 рази.

Таким чином, визначено ко-мутагенний характер впливу АК на формування (ускладнення) хромосомної нестабільності, індукованої в клітинах крові донорів за дії екзогенних ОА.

РОЗРОБКА БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ ЯДЕРНОЇ КРИМІНАЛІСТИКИ В УКРАЇНІ

О. В. Гайдар, В. В. Тришин, А. І. Устинов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

ІЯД НАН України, відповідно до Постанови Кабінету Міністерств, призначений в якості основної експертної організації для проведення дослідження та визначення характеристик ядерних та інших радіоактивних матеріалів, вилучених з незаконного обігу в Україні.

Проведення ядерно-криміналістичних досліджень вимагає обробки великих обсягів інформації, які можуть бути представлені в різних формах: таблиці даних, текстові документи, картографічні матеріали, графіки, діаграми, фотографії, аудіо-та відео.

Ядерна криміналістика є однією з галузей, яка гостро потребує аналітично-інформаційних систем. Ядерно-криміналістичні розслідування є більше чим характеристика матеріалу чи простим визначенням фізичної природи зразка. Для остаточного атрибуції та інтерпретації доказів і властивостей матеріалу, вона також вимагає залучення знань та досвіду різних наук, криміналістики та ядерних технологій у відповідних областях.

В ІЯД НАН України розробляється пілотний проект бази даних для ядерно-криміналістичної експертизи в Україні для підтримки досліджень ядерних та інших радіоактивних матеріалів, що виявляються поза межами регулюючого контролю.

У разі, коли база даних базується на даних з літературних джерел потрібно вирішувати ряд специфічних задач, у тому числі: зберігання даних різних типів і повноти, уникаючи при цьому дублювання інформації та запобігаючи втраті даних, створення комплексної системи відносин між об'єктами та їхніми атрибутами, розробка структурованих словників термінів та визначень.

Щоб уникнути значних змін структури бази даних в процесі її використання, нами запропоновано підхід до введення нових об'єктів або їхніх атрибутів у базу даних, який заснований на концепції реляційної бази даних з обмеженою кількістю таблиць і використанням комплексної схеми взаємозв'язків між об'єктами та їхніми атрибутами. Припускається, що запропонований підхід дасть змогу розв'язати як вже відомі на сьогодні, так і майбутні задачі без значних модифікацій структури бази даних та відповідних значних зусиль для адаптації її користувачів до змін.

Загальна схема пілотної версії бази даних заснована на архітектурі клієнт – сервер. Клієнтська частина системи базується на стандартних інтернет-браузерах і не вимагає ніякого спеціального програмного забезпечення. Запропонована архітектура для веб-сервера є подібна загальновідомій відкритій архітектурі сервера LAMP, що включає: Linux - операційна система сервера; Apache - компонент веб-сервера; MySQL - реляційна база даних; PHP-система програмування на прикладному рівні.

Особливу увагу в даний час приділяється процедурі заповнення бази даних. У результаті обговорень з потенційними користувачами бази даних України та попереднього аналізу даних з відкритих джерел, визначено базовий набір даних. Також особлива увага приділяється вибору існуючих словників термінів і визначень, та схвалених міжнародним співтовариством підходів до систематизації даних.

В цілому тестування пілотного проекту дають підстави стверджувати, що запропонований підхід є досить універсальним і дає змогу його використання в якості єдиного інформаційного ресурсу і для інших галузей науки та технологій.

РОЗРОБКА БАЗИ ДАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ЦИТОГЕНЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ІЯД НАН УКРАЇНИ

О. В. Гайдар, Л. К. Бездробна, Т. В. Мельник

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Протягом тривалого періоду часу в ІЯД НАН України проводяться цитогенетичні дослідження різних категорій населення з метою виявлення закономірностей у проявах хромосомних порушень у лімфоцитах периферійної крові залежно від умов проживання, роботи та наявності шкідливих звичок.

Зведення довготривалих результатів спостережень у єдину структуровану базу даних дає змогу значно підвищити як надійність збереження даних, так і ефективність аналітичної обробки їхніх вибірок та достовірність отриманих результатів їхнього аналізу.

У 2014 р. в ІЯД була проведена робота щодо розробки пілотного проекту бази даних цитогенетичних обстежень на основі традиційного підходу до створення реляційних баз даних з використанням СУБД Microsoft ACCESS.

У доповіді будуть обговорені результати тестування пілотного проекту бази даних та можливість і доцільність їхнього включення у більш універсальну інформаційну систему фізичних, радіобіологічних та радіоекологічних досліджень, яка може бути створена в ІЯД НАН України.

ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУЧАСНИХ ЦЕНТРІВ ЯДЕРНОЇ МЕДИЦИНИ В УМОВАХ МЕГАПОЛІСІВ

**О. В. Гайдар¹, В. В. Тришин¹, О. В. Сваричевська¹,
І. О. Павленко¹, В. О. Гайдар²**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

На сьогодні в Україні існує нагальна потреба у впровадженні сучасних методик ранньої діагностики та лікування онкологічних захворювань. Використання ядерно-радіаційних установок визнані у всьому світі одними з найбільш дієвих та ефективних засобів для вирішення вказаних задач.

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 обласних та міських онкологічних центрів, які часто знаходять в центральних, густонаселених районах великих міст.

Проектування, будівництво та введення в експлуатацію таких об'єктів вимагає ретельної оцінки не тільки біологічних систем захисту персоналу, але й вдосконалення підходів до оцінки впливу на навколишнє середовище та населення, що проживає на прилеглих територіях.

В доповіді будуть обговорені результати оцінки впливу різних ядерно-радіаційних медичних установок як в режимі проектної експлуатації, так і у випадку проектних та запроектних аварій, а також підхід для оцінки величин колективних доз в умовах мегаполісів.

РЕЗУЛЬТАТЫ ДОЛГОВРЕМЕННОГО РАДИОНУКЛИДНОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ

Д. И. Гудков¹, С. И. Киреев², С. М. Обризан², А. Е. Каглян¹,
А. Б. Назаров², В. В. Беляев¹, В. Г. Кленус¹, К. Д. Ганжа¹

¹ *Институт гидробиологии НАН Украины, Киев*

² *ГСП «Чернобыльский спецкомбинат» ГАЗО Украины, Киев*

В период 1997 - 2014 гг. исследовали динамику количественного содержания и распределения ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²³⁸Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ²⁴¹Am в главных компонентах водных экосистем различного типа, находящихся на территории Чернобыльской зоны отчуждения (ЧЗО). Основными полигонными водными объектами служили озера Азбучин, Глубокое, Далекое, Вершина, Яновский затон, Красненская старица, водоем-охладитель (ВО) ЧАЭС, а также р. Уж (у с. Черевач) и Припять (у г. Чернобыля). Анализировали удельную активность в воде, сестоне, донных отложениях и гидробионтах – водных растениях (30 видов), моллюсках (10 видов) и рыбах (18 видов).

Основное количество радионуклидов в озерных экосистемах левобережной поймы р. Припяти (озера Глубокое и Далекое) депонировано в донных отложениях: ⁹⁰Sr – 89 - 95 % (37 - 444 ГБк), ¹³⁷Cs – 99 % (52 - 962 ГБк), трансурановые элементы (ТУЭ) – практически 100 % (1 - 26 ГБк) общего количества в экосистеме. Повышенная миграционная активность ⁹⁰Sr определяет более высокое его содержание в водной компоненте – 4 - 10 % по сравнению с ¹³⁷Cs – 0,5 - 0,6 % и ТУЭ – 0,03 - 0,04 % и, напротив, меньшее в сестоне –

0,15 - 0,16 % по сравнению с ^{137}Cs – 0,25 - 0,30 %. Содержание ^{90}Sr в биотической компоненте озер составляет 0,25 - 0,61 %, ^{137}Cs – 0,14 - 0,47 %, ТУЭ – 0,07 - 0,16 % общего содержания в экосистеме. Изучение распределения радионуклидов в экосистеме ВО ЧАЭС показало, что 99,5 % ^{90}Sr (54 ТБк) и 99,9 % ^{137}Cs (266 ТБк) локализовано в донных отложениях, 0,42 % ^{90}Sr (227 МБк) и 0,08 % ^{137}Cs (196 МБк) – в воде и 0,08 % ^{90}Sr (46 ГБк) и 0,02 % ^{137}Cs (40 ГБк) – в биоте.

В воде всех исследуемых водных объектов ЧЗО отмечено снижение удельной активности ^{137}Cs . Время полураспада воды от ^{137}Cs за анализируемый период для различных водоемов составило 6,0 - 12,8 года. При этом вклад физического распада радионуклида в самоочищение воды составил 22 - 43 %. Период полураспада водной компоненты от ^{90}Sr составил 6,0 - 9,2 года, а вклад физического распада радионуклида в самоочищение воды – 21 - 33 %. При этом достоверного снижения удельной активности ^{90}Sr в воде озер одамбированного участка левобережной поймы р. Припяти, а также в ВО ЧАЭС за период исследований не зарегистрировано.

Доминирующей тенденцией в динамике содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в гидробионтах большинства исследуемых водоемов и водотоков ЧЗО является постепенное снижение удельной активности. Исключения составляют озера, расположенные на территории одамбированного участка левобережной поймы р. Припяти, а также ВО ЧАЭС, в которых, при продолжающемся снижении удельной активности ^{137}Cs , с конца 1990-х годов происходит постепенное увеличение удельной активности ^{90}Sr в тканях высших водных растений, моллюсков и рыб.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛАХ

**М. В. Желтоножская, Н. В. Кулич, А. И. Липская,
В. И. Николаев, Л. В. Садовников**

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Продолжаются исследования концентрации радионуклидов в образцах топлива из ЛТСМ, отобранных внутри объекта «Укрытие». Впервые были выделены образцы ТВЭЛов, которые находились в работе несколько месяцев. В γ -спектрах, кроме основных радионуклидов, наблюдались γ -переходы ^{243}Am и ^{243}Cm . В α -спектрах кроме основных радионуклидов выделены переходы изотопов урана, ^{242}Pu , ^{243}Am . Из полученных данных рассчитано выгорание по соотношению изотопов для различных элементов. Обнаружено систематическое занижение величины выгорания, определенной по изотопным отношениям $^{134},^{137}\text{Cs}$, на 2 - 3 МВт · сут/кг урана, по сравнению с расчетами по европию и плутонию.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

В. А. Желтоножский, М. В. Желтоножская, В. П. Хоменков

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Исследование вертикальной миграции радионуклидов является важной составной частью радиационного мониторинга, позволяющей прогнозировать как радиационную обстановку, так и дозовые нагрузки на окружающую среду и население.

Нами с 2000 г. проводятся систематические исследования вертикальной миграции ^{90}Sr , ^{137}Cs и ^{241}Am на полигонах в 30-км зоне ЧАЭС.

Для анализа полученных данных нами используется модель, в которой миграция описывается двумя процессами – диффузией и конвективным переносом. В рамках этой модели получена формула, описывающая миграцию радионуклидов, в виде:

$$C(x, t) = C_0 \cdot \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi Dt}} \exp\left(-\frac{(x-ut)^2}{4Dt}\right) - \frac{ux}{2D} \exp\left(\frac{ux}{2D}\right) \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x+ut}{2\sqrt{Dt}}\right) \right] \right\} \cdot \exp(-\lambda t),$$

где D , u – соответственно параметры диффузии и конвекции, C_0 – начальная активность, λ – постоянная радиоактивного распада. На основе этого выражения разработана программа по расчету периода полуочищения различных слоев почвы. При этом учитывается изменение плотности грунта по глубине.

Анализ экспериментальных данных показал, что миграция радионуклидов на исследуемых полигонах происходит подобно для всех наблюдаемых радионуклидов с коэффициентами диффузии $D \sim (10^{-8} - 10^{-9}) \text{ см}^2/\text{с}$ и скоростью конвективного переноса $u \sim (10^{-9} - 10^{-10}) \text{ см/с}$.

СОВРЕМЕННОЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЧАЭС ПОСЛЕ НАЧАЛА ЕГО ТРАНСФОРМАЦИИ

О. Л. Зарубин, Н. Е. Зарубина, В. А. Костюк, И. А. Малюк

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

После прекращения работы ЧАЭС было принято решение про постепенное снижение уровня воды в ее водоеме-охладителе (ВО) на 5 - 7 м. С 2012 г. на акватории ВО ведутся гидротехнические работы. До ноября 2014 г. уровень воды снизился примерно на 70 - 100 см. Оголилась часть донных отложений. Началось гниение прикрепленных моллюсков (дрейссена) и водной растительности.

По данным «Экоцентра» (г. Чернобыль) усредненная удельная активность

растворенного ^{137}Cs в воде ВО последние годы практически не меняется и находится на уровне ≈ 1 Бк/л. В то же время усредненная удельная активность ^{137}Cs во взвесах в 2013 г. повысилась почти в 2 раза.

В 2013 - 2014 гг. в отдельных пробах водной растительности удельная активность ^{137}Cs была значительно выше средних показателей. Так, в ассоциации рдестов она достигала 94000 Бк/кг, в тростнике – до 77000 Бк/кг, в обрастаниях – до 15000 Бк/кг сухой массы. Максимум удельной активности ^{137}Cs в водных прикрепленных растениях ВО регистрируется в подводной части и корнях.

В большинстве исследованных видов водной растительности ВО регистрируется тенденция к повышению уровней удельной активности ^{137}Cs к 2013 - 2014 гг. По видимому, это обусловлено трансформацией экосистемы ВО, которая происходит в настоящее время.

В исследованных видах рыб ВО в 2014 г. не выявлено достоверных изменений в удельной активности ^{137}Cs по сравнению с 2010 - 2013 гг., хотя наблюдается тенденция к повышению данных значений. Регистрируемые значения удельного содержания ^{137}Cs у рыб находятся в пределах 700 - 10000 Бк/кг. Как и в предыдущие годы, наибольшая удельная активность ^{137}Cs характерна для хищных видов (окунь, судак, жерех) и сома обыкновенного – до 10000 Бк/кг; наименьшая (800 - 1300) Бк/кг для бентофагов (лещ, плотва, густера), фитофагов (красноперка) и планктофагов (белый и пестрый толстолобы).

По нашим оценкам, в дальнейшем следует ожидать повышения удельной активности ^{137}Cs во всех компонентах ВО.

ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ ОПЫТ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ

О. Л. Зарубин¹, Д. А. Вишневецкий²

¹ Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

² ГСП «Чернобыльский Спецкомбинат», Чернобыль

Чернобыльская катастрофа служит уникальным случаем для анализа механизмов принятия решений в условиях чрезвычайной ситуации. Это дает возможность выявить ошибки в различных аспектах управления. Предметом нашего рассмотрения стал радиоэкологический мониторинг, который является необходимым инструментом управления в условиях масштабного радиоактивного загрязнения среды.

На начальном, «остром», периоде аварии вопрос о проведении мониторинга не ставился принципиально. В руководящем звене ощущался острый дефицит информации о масштабе и характере радиоактивного загрязнения окружающей среды. Поэтому все ресурсы направляются на выполнение этой задачи. Этот период можно назвать временем информационного насыщения.

Іменно в цей період були допущені три основні помилки, які мали довготривалі наслідки.

Перша помилка – втрата вихідної інформації. Наукові та спеціалізовані організації, які працювали в зоні аварії, створювали мережі спостереження та відбору проб. Однак внаслідок ведомственої роздробленості та відсутності координації ця інформація – дані спостереження, результати, методи вимірювань, – була втрачена.

Друга помилка – вибір неефективних довготривалих видів-індикаторів. Створення господарської діяльності в зоні відчуження призвело до включення природних механізмів динаміки екосистем. Це призвело до зміни видового складу та показників обміну окремих видів. Види-індикатори, які використовувалися на початку аварії, з часом втрачали свої позиції.

Третя помилка – створення надлишкових мереж спостереження. Після стадії інформаційного насичення створюється мережа спостережень, яка щільно та рівномірно покриває всю територію або акваторію. Однак замовнику вже не потрібен такий обсяг інформації. Так же відсутні ресурси для її підтримки. В результаті мережа виводиться з експлуатації і, в кращому випадку, консервується.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МІГРАЦІЇ ^{90}Sr І ^{137}Cs В ҐРУНТОВО-РОСЛИННОМУ ПОКРИВІ АГРОФІТОЦЕНОЗІВ НА ПІЗНІЙ ФАЗІ АВАРІЇ

Ю. О. Іванов, Ю. В. Хому́тін

*Український науково-дослідний інститут сільськогосподарської радіології
НУБіП України, Київ*

На 15 контрастних за властивостями ґрунтах вивчена довготривала динаміка процесів виведення ^{90}Sr і ^{137}Cs з кореневмісного горизонту ґрунту, іммобілізації радіонуклідів в ґрунтах, накопичення радіонуклідів багаторічними злаковими травами. Отримано кількісні оцінки динаміки процесів.

На базі отриманих результатів розроблено, параметризовано і верифіковано математичну модель прогнозування динаміки накопичення ^{90}Sr і ^{137}Cs багаторічними злаковими травами з контрастних за властивостями ґрунтів на пізній фазі радіаційної аварії.

В моделі використано два алгоритми прогнозу накопичення ^{90}Sr і ^{137}Cs багаторічними злаковими травами з контрастних за властивостями ґрунтів: 1) емпірична модель багаторічної динаміки накопичення ^{90}Sr і ^{137}Cs багаторічними злаковими травами; 2) модель, побудована на існуванні зв'язку між багаторічною динамікою зміни в часі коефіцієнтів накопичення ^{90}Sr і ^{137}Cs рослинами і динамікою зміни в часі суми вмісту в ґрунті водорозчинних і обмінних форм радіонуклідів. Обидва алгоритми дають змогу враховувати в

розрахунках процеси винесення радіонуклідів з кореневмісного горизонту ґрунту і фізичний розпад радіонуклідів.

Для перевірки адекватності відображення в оцінках моделі інтенсивності основних процесів перерозподілу радіонуклідів в компонентах ґрунтово-рослинного покриву проведено її тестування. Отримані оцінки переконливо показують переважаючу роль процесу винесення ^{90}Sr з кореневмісного горизонту ґрунту в динаміці надходженні радіонукліда в рослини, тоді як для ^{137}Cs таким процесом є іммобілізація радіонукліда.

Для верифікації моделі використано незалежно отримані експериментальні дані про довготривалу динаміку накопичення ^{137}Cs багаторічними злаковими травами з дерново-підзолистого ґрунту і чорнозему типового. Результати проведеної перевірки показали задовільну збіжність розрахункових прогнозних оцінок з використанням запропонованої моделі і експериментальних оцінок динаміки накопичення ^{137}Cs злаковими травами з двох контрастних за властивостями ґрунтів.

З використанням моделі розраховано прогнозні оцінки багаторічної динаміки накопичення ^{90}Sr і ^{137}Cs злаковими травами з контрастних за властивостями ґрунтів на пізній фазі аварії.

МОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ЛОКАЛЬНОЙ ЗОНЕ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» НА ЭТАПЕ СООРУЖЕНИЯ НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙНМЕНТА «АРКА»

А. К. Калиновский, А. В. Филиппов, Б. И. Огородников

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев

Представлены результаты мониторинга концентрации радиоактивных аэрозолей (РА)-носителей продуктов Чернобыльской аварии в локальной зоне ОУ в 2001 - 2013 гг. на этапе сооружения нового безопасного конфайнмента «Арка». По результатам анализа динамики концентрации РА установлено, что наибольшие объемные активности наблюдались при интенсивных земляных работах по обустройству фундаментов НБК «Арка». Средние двухнедельные концентрации не превысили контрольных уровней, установленных для локальной зоны ОУ, максимальная концентрация $\Sigma\beta$ -активных аэрозолей равная $0,51 \text{ Бк/м}^3$ зарегистрирована в период с 31 мая по 16 июня 2010 г. При этом, показано, что наблюдается тенденция снижения объемов неорганизованного выброса РА через щели и неплотности на верхних отметках ОУ и, что положительная корреляционная связи между повышенным объемом неорганизованного выброса РА из ОУ и их концентрацией в приземном слое воздуха локальной зоны сохраняется только в отдельные месяцы в зимний период. Выполнен статистический анализ корреляционных зависимостей концентрации РА от метеоусловий при отборе проб.

Кроме того, по результатам анализа соотношения ^{137}Cs , ^{241}Am и ^{154}Eu в

аэрозолях приземного слоя воздуха локальной зоны установлено, что происходит их обогащение аэрозолями-носителями ^{137}Cs , а ^{241}Am и ^{154}Eu надежно фиксированы в топливной матрице.

ВИВЧЕННЯ ФОРМ ЗНАХОДЖЕННЯ ТА ХАРАКТЕРУ МІГРАЦІЇ УРАНУ В ХВОСТОСХОВИЩІ «ЦЕНТРАЛЬНИЙ ЯР»

К. О. Кориченський, Г. В. Лаптев, Т. В. Лаврова, Т. І. Дивак

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

Під час розробки корисних копалин, при подальшому збагаченні та переробці руд і концентратів невід'ємно утворюються хвостові та шламові сховища. У випадку не дотримання норм використання хвостосховища, вони стають джерелами екологічної небезпеки. Особливо небезпечними є хвостосховища уранопереробних підприємств, які без забезпечення їхньої надійної заключної консервації і рекультивациї території, створюють максимальне навантаження на навколишнє природне середовище. Характерним радіаційно-небезпечним об'єктом є одне з хвостосховищ колишнього виробництва по переробці уранових руд «ПХЗ» - «Центральний Яр». Створене у середині 50-х років минулого сторіччя, воно не має гідротехнічних бар'єрів, тому при рекультивованій території залишається джерелом радіаційного забруднення підземних вод.

Дана робота присвячена вивченню сучасної геохімічної та радіоекологічної обстановки хвостосховища «Центральний Яр» та спрямована на вивчення вірогідного впливу інфільтраційних вод, що проходять крізь тіло хвостосховища на навколишнє середовище.

Об'єктом дослідження обрано техногенні ґрунти, що містяться у хвостосховищі, і досліджені шляхом вивчення розрізів, отриманих за результатами буріння 2012 р., а також підземні та поверхневі води району досліджень.

Метою дослідження було визначення форм знаходження, міграційної здатності, характеру міграції ^{238}U в хвостосховищі «Центральний Яр» та попередня оцінка його вкладу у забруднення навколишніх підземних та поверхневих вод.

Для виконання поставлених цілей використовувались методи низької фонові гамма-спектрометрії та напівпровідникової α -спектрометрії. Для визначення форм знаходження ^{238}U застосовувалась методика послідовного селективного вилуговування BCR (Bureau Commune de Reference of the European Commission), запропонована європейським бюро по стандартам.

Застосування методу BCR дало змогу виявити форми знаходження урану залежно від окислювально-відновлювальних умов середовища, а саме:

- в окислювальних умовах уран знаходиться у формі сульфатних і органічних комплексів;

- у нормальних – у формі оксидів та гідроксидів уранілу, а також легко-розчинних карбонатних і сульфатних сполук,
- у відновлювальних – у формі комплексів, що містять оксиди і гідроксиди заліза та марганцю.

На даний момент в хвостосховищі спостерігаються кислі окислювальні умови, що обумовлює найбільшу міграційну спроможність ^{238}U в підземних водах. За даними гідрохімічного складу та вмісту ^{238}U в підземних водах зони впливу хвостосховища встановлено, що міграція ^{238}U з підземними водами відбувається переважно у вигляді сульфатних сполук. При цьому за напрямком розвантаження підземних вод спостерігається тенденція зменшення його вмісту, а ділянках виходу до поверхневих вод не перевищує природних фонових концентрацій.

Спостереження за рівнем активності суми ізотопів урану в поверхневих водах зони можливого впливу протягом 2007 - 2013 рр. виявляє стабільний хід коливань, обумовлений природними процесами і не виявляє помітного вкладу від техногенно-підсилених джерел надходження природних радіонуклідів.

ВПЛИВ ПІСКУВАННЯ ТОРФОВИХ ҐРУНТІВ НА ЗМЕНШЕННЯ НАДХОДЖЕННЯ ^{137}Cs В РОСЛИНИ

О. В. Косарчук, М. М. Лазарєв, С. В. Поліщук

*Український НДІ сільськогосподарської радіології
Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ*

У віддалений період після аварії основним шляхом надходження ^{137}Cs у сільськогосподарську продукцію є кореневе. Накопичення радіонукліду в сільськогосподарських рослинах залежить від типу ґрунту та його агрохімічних характеристик. У будь-якому випадку максимальні коефіцієнти переходу спостерігаються для торф'яних та дерново-підзолистих піщаних і супіщаних ґрунтів, що є поширеними на радіоактивно забруднених територіях України.

У дослідженнях, які виконувались нами раніше було показано, що різні види добрив, у віддалений період після аварії на ЧАЕС, по різному впливають на надходження радіоцезію в рослини. Було встановлено, що азотні добрива підвищують накопичення радіонукліда в урожаї, калійні, навпаки – знижують надходження його в рослини, а при сумісному їхньому застосуванні часто позитивна дія калію нівелюється негативним впливом азоту.

Зрозуміло, що у після аварійний період при проведенні протирадіаційних заходів поширення отримали заходи із застосування мінеральних добрив (NPK- 1:1,5:2). При великій вартості калійних добрив в останні роки не виконуються рекомендоване співвідношення NPK із збільшенням вмісту N.

Апробовані на початку 90-х років такі методи, як піскування торфових ґрунтів не отримали поширення як протирадіаційний захід, не входять у жодні рекомендації із поліпшення радіоекологічної ситуації на забруднених

радіонуклідами територіях.

Нами у лабораторних умовах проведено серію дослідів із вивчення впливу піскування на надходження ^{137}Cs із торфових ґрунтів у багаторічні трави. Було випробувано декілька доз піску із розрахунку 200 т/га; 300 т/га та 400 т/га. Пісок рівномірно перемішували у верхньому шарі торфу.

Отримані результати свідчать про високу ефективність застосування піску, як меліоранту, для зниження надходження ^{137}Cs в рослини. Залежно від кількості внесеного піску ефект становив від 3 до 8 разів. Крім цього ми апробували такий захід як внесення піску із додаванням золи деревини листяних порід.

Результати проведеного заходу показали, що після внесення у варіанті: пісок 200 т/га + зола 1,5 т/га - Кн зменшується у 8 разів, при подальшому збільшенні дози у варіантах: пісок 300 т/га + зола 2,25 т/га і пісок 400 т/га + зола 3 т/га маємо зменшення у 15 і 44 рази відповідно.

Таким чином встановлено, що піскування, як агро меліоративний захід є ефективним для зниження рівнів рослинницької продукції від 3 до 8 разів.

Внесення меліорантів у комплексі (пісок +зола) підвищує ефективність піскування торфових ґрунтів.

ВИЗНАЧАННЯ АКТИВНОСТІ ^{90}Sr У ВОДІ ШЛЯХОМ ПРЯМОГО ВИМІРЮВАННЯ РІДИНО-СЦИНТИЛЯЦІЙНИМ ЛІЧИЛЬНИКОМ

Г. В. Лаптів¹, Д. С. Пірнач¹, Т. І. Дивак¹

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

Найпростішим методом визначання будь-якого радіонукліду, у т. ч. і ^{90}Sr , є пряме вимірювання. І в деяких виняткових випадках таке вимірювання можливе, завдяки перевагам застосування методів рідино-сцинтиляційної (РС) спектроскопії.

Можливість безпосереднього вимірювання активності ^{90}Sr виникає за рахунок того, що тільки досить обмежена кількість радіонуклідів, розповсюджених у довкіллі, спроможна вносити суттєвий вклад в Черенковське випромінювання.

Окрім того, починаючи з певного моменту часу після викиду від ядерних випробувань або аварій на атомних електростанціях більшість радіонуклідів розпадається, і впродовж декількох десятиріч радіоекологічна обстановка забруднених територій визначається дією довгоживучих ізотопів, головними чином ^{90}Sr та ^{137}Cs . У зразках природної води, водоймищ, що розташовані на цій території, внесок ^{90}Sr та ^{137}Cs в загальну бета-активність зазвичай на два порядки перевищує сумарний вклад всіх останніх бета-випромінювачів. У таких випадках, окрім визначання по Черенковському випромінюванню, вміст ^{90}Sr + ^{90}Y може бути також виміряний з застосуванням середовища рідкого сцинтилятора. На відміну від Черенковського світіння ефективності

реєстрації бета-випромінювання ^{90}Sr та ^{137}Cs зразків у сцинтиляційному коктейлі близькі за своїми значеннями, тому за цих умов виникає необхідність урахування можливого вкладу ^{137}Cs .

У дослідженні на прикладі проб води оз. Глибоке, що розташоване на найбільш забрудненій ділянці лівобережної заплави р. Прип'ять на відстані декількох кілометрів від аварійного блоку ЧАЕС, продемонстрована можливість прямих вимірювань ^{90}Sr рідино-сцинтиляційним спектрометром Triathlet як за Черенковським свіченням, так і шляхом реєстрації випромінювання зразка у сцинтиляційній суміші. Представлені також один із способів врахування ефекту гасіння та метод врахування присутності у пробі ^{137}Cs .

Результати визначання обома зазначеними методами, підтвержені результатами, отриманими за класичною методикою радіохімічного аналізу, показали високий рівень забруднення води озера ^{90}Sr (близько 100 Бк/л), основним джерелом якого вважається руйнування та вилуговування паливних часток, викинутих із зруйнованого реактора, що знаходяться на водозборах озера та в мулах дна. При цьому низьку інтенсивність процесів самоочищення води оз. Глибоке пов'язують з повним перемішуванням водно-грунтового комплексу і заболочуванням.

ОЦІНКА ВИНОСУ ПРИРОДНИХ РАДІОНУКЛІДІВ ІЗ ЗОНИ ВПЛИВУ КОЛИШНЬОГО ПІДПРИЄМСТВА З ПЕРЕРОБКИ УРАНОВОЇ СИРОВИНИ, ПЕРЕНОСУ ЇХ ТА РОЗПОДІЛІ В ЕКОСИСТЕМІ ДНІПРОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

Т. В. Лаврова, О. В. Войцехович, В. В. Канівець, Г. А. Деркач

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

Результати представленої роботи узагальнюють багаторічні дослідження стану водних екосистем в районі розташування колишнього виробництва по переробці уранової руди (ВО «ПХЗ», м. Дніпродзержинськ). Більшість радіаційно-небезпечних об'єктів цього підприємства (хвостосховища залишків уранового виробництва) розташовано у заплаві та надзаплавних терасах р. Дніпро (верхня ділянка Дніпровського водосховища) на відстані 1 - 2 км від та р. Коноплянки (права притока Дніпра), що відіграє роль дренажної системи, до якої надходять забруднені поверхневі, підземні стоки, води зливових та виробничих колекторів зі всієї забрудненої території.

Метою дослідження було оцінка рівня забруднення абіотичних (вода, донні відклади) компонентів водної екосистеми р. Коноплянка та оцінка її впливу на забруднення абіотичних компонентів екосистеми Дніпровського водосховища на підставі аналізу даних багаторічних спостережень та даних зібраних під час проведення експедиційних польових робіт на науковому судні УкрГМІ «Готовчиць» на станціях розташованих на різній відстані від гирла штучного русла р. Коноплянка, як вище так і нижче за течією у 2009 -

2013 рр. У якості порівняння для оцінки впливу використовувались дані спостережень р. Самари (лівої притоки).

Аналізувався гідрохімічний склад вод, вміст природних радіонуклідів (^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po) у воді, зважених частках, у різних шарах колонок донних відкладів. Для визначення радіонуклідів використовувались методи низької фонові гамма-спектрометрії, рідинно-сцинтиляційної та напівпровідникової α -спектрометрії.

За зробленими розрахунками оцінено річний стік у 2012 р. рр. Коноплянка, Самара (за даними підпосту Кочережки), Дніпро (Дніпровське водосховище) на рівні 0,032, 0,25 та 41,8 км³ відповідно, що приблизно можна оцінити як 1 : 10 : 1000. За даними моніторингу співвідношення виносу ізотопів урану (238, 234) і радію-226 можна приблизно оцінити як 1 : 11 : 140, або 11,8 ГБк (0,32 Кі) : 131 ГБк (3,5 Кі) : 1670 ГБк (42,5 Кі). За рахунок суттєвого розбавлення вод р. Коноплянка водами Дніпра, внесок скидів радіонуклідів урану 238, 234 і радію-226 із проммайданчика ВО «ПЗХ» є практично не значущим (біля 1 %), але при цьому їм не можна нехтувати. Дослідження виявило, що перенос цих радіонуклідів відбувається із зваженими частками, і на відстані до 60 км залишається у 2 рази вищим, ніж на фонових ділянках.

Показники вертикального розподілу урану у донних відкладах свідчать, що його накопичення у донних відкладах добре корелює із ефектами ерозійного змиву часток ґрунту і седиментаційними ефектами у водоймах. Аналіз розподілу радіонуклідів у шарах донних відкладів дав змогу визначити характеристики накопичення в них забруднюючих речовин і довести, що седиментаційний процес є одним із найважливіших процесів самоочищення водойм.

Таким чином, в сучасних умовах винос урану і радію у Дніпровське водосховище із проммайданчику колишнього ВО «ПХЗ» не спричиняє будь-яких значущих негативних впливів і в сучасних умовах завдати суттєвої шкоди для екосистеми Дніпровського водосховища. При цьому у майбутньому мають бути розглянуто довгострокові спостереження за можливим виносом радіоактивних забруднюючих речовин із підземними водами, а також переносу радіонуклідів із зваженими частками на довготривалу перспективу, проведені спостереження за розподілом радіонуклідів у біотичних компонентах цих водних екосистем.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОАКТИВНОГО ТА ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ СЕДИМЕНТАЦІЙНОГО ВІДСТІЙНИКА НА Р. КОНОПЛЯНКА У ЗОНІ ВПЛИВУ КОЛИШНЬОГО ПІДПРИЄМСТВА З ПЕРЕРОБКИ УРАНОВОЇ РУДИ

Т. В. Лаврова, О. В. Войцехович, В. В. Канівець, С. В. Годосієнко

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

У роботі узагальнюються багаторічні дані спостережень за розподілом природних радіонуклідів та металів у різних шарах донних відкладів седиментаційного відстійника

нтаційного відстійника в зоні впливу колишнього виробництва по переробці уранової руди (ВО «ПХЗ», м. Дніпродзержинськ), що розташовано у нижній частині р. Коноплянка перед її впадінням у р. Дніпро. Відстійник створено наприкінці 70-х років минулого сторіччя з метою перехвату зважених часток, що надходять зі всієї забрудненої території для запобігання надходження їх до Дніпровської водної системи. На сьогоднішній час більше 90% корисної ємкості відстійника заповнено муловими відкладами. Це дає змогу припустити, що відстійник не може виконувати свою головну функцію – перехоплення техногенно-забрудненого твердого матеріалу, тому постає питання про його очистку.

Проведене дослідження було спрямовано на вивчення рівнів забруднення донних відкладів седиментаційного відстійника радіонуклідами і токсичними елементами із можливим виявленням хронології забруднення методом радіометричного датування та для оцінки утилізації вилученого ґрунту при проведенні днопоглиблювальних робіт. У якості контрольної водойми, де не має виносу осаду з течіями було вибрано озеро Сомівка у заплаві лівого берега р. Дніпро навпроти проммайданчика.

Аналізувався вміст природних радіонуклідів (^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{40}K) та металів (As, Cd, Se, V, Cr, Cu, Mn, Ni, Co, Fe, Zn) у різних шарах колонок донних відкладів. Для визначення радіонуклідів використовувались методи низько фонові гамма-спектрометрії та методи атомної-абсорбційної спектрометрії для визначення вмісту важких металів. Відібрано і проаналізовано 10 колонок ґрунту у водоймі із різним типом і умовами формування осаду довжиною до 60 - 80 см і пошаровим поділом на 5 см.

Отриманий матеріал дав змогу оцінити загальну кількість радіонуклідів, що накопичено у седиментаційному відстійнику, побудувати карти пошарового розподілу забруднюючих речовин (радіонуклідів та металів) в товщі донних відкладів седиментаційного відстійника. Визначені величини скелету ґрунту у поверхневих шарах $0,28 - 0,61 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$, свідчать про їхній дуже рухливий стан, що обумовлює потенційну загрозу виносу забруднення. Аналіз отриманих даних виявляє неоднорідний характер забруднення як по горизонтальній осі відстійника, так і по вертикальному розподілу у різних шарах донних відкладів на різних ділянках відстійника. В цілому, на території седиментаційного відстійника відмічається дві зони накопичення радіонуклідів в верхній (починаючи із 20 см шару і нижче) та нижній (починаючи із поверхні) третинах території відстійника. При цьому, якщо у нижніх шарах (40 - 60 см) вміст ^{238}U і ^{226}Ra є практично рівноважний, що свідчить про їхній природний рівень у донних відкладах або про рудний характер джерела забруднення цих шарів за період активного функціонування ВО «ПХЗ». У верхніх шарах (0 - 20 см) спостерігається перевищення вмісту ^{226}Ra над ^{238}U , що свідчить про забруднення продуктами переробки після екстракції урану із рудних матеріалів.

Таким чином, отримані результати свідчать що за рівнем і розподілом радіо-

нуклідів і металів намули із Коноплянки не можуть вільно використовуватися після вилучення їх із водойми, а також дає змогу надати рекомендації, щодо стратегії очищення накопичених намулів у седиментаційному відстійнику.

РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НА СЛІДАХ АВАРІЙНИХ ПАЛИВНИХ ВИПАДІНЬ В ЗВ ЧАЕС

А. І. Липська, В. І. Ніколаєв, В. А. Шитюк, Н. В. Куліч, В. І. Чурюмов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Проведено комплексні радіоекологічні дослідження в ЗВ ЧАЕС на полігоні с. Стечанка (12 км від ЧАЕС). Потужність експозиційної дози γ -випромінювання місцях відбору проб становила 2 - 3 мР/год.

Досліджено рівні радіоактивного забруднення ґрунту та рослинності. Методами γ - і β -спектрометрії в пробах ґрунту виявлено присутність радіонуклідів характерних для паливної компоненти викидів: ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , ^{154}Eu , ^{155}Eu , $^{238-241}\text{Pu}$. Показано, що радіоактивність ґрунтів в основному зумовлена ^{137}Cs , ^{90}Sr та ^{241}Am . Визначено щільність забруднення експериментального полігону: ^{137}Cs $20 \div 61$ МБк/м², ^{90}Sr $3 \div 7$ МБк/м², ^{241}Am $0,5 \div 0,9$ МБк/м².

З проб ґрунту для досліджень були виділені паливні частинки, спектрометричні дослідження виявили в значній кількості присутність стронцію-90, ізотопів урану, плутонію та америцію. Частинки суттєво різнилися за ізотопним складом та співвідношенням ізотопів. Розглянуто вертикальну міграцію основних радіонуклідів в ґрунті.

Методом радіоавтографії досліджено розподіл паливних частинок по профілю ґрунту: основна кількість частинок знаходиться в верхньому шарі ґрунту, до глибини 7 см. Встановлено, що радіоактивність ґрунту в основному зумовлена дрібнодисперсними високоактивними паливними частинками (2 - 5 мкм), проте виявляли і більш крупні екземпляри до 30 - 40 мкм.

Спектрометричні дослідження рослинних проб виявили видові особливості накопичення радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr , які, очевидно, обумовлені мінеральним живленням конкретної рослини. Розраховані коефіцієнти накопичення.

ЕКСПЕРИМЕНТ З МАСОВИМ ОПРОМІНЕННЯМ ТРИВАЄ, А РЕЗУЛЬТАТИ ВТРАЧАЮТЬСЯ

І. М. Лютий

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Загальновідомо, що значна частина будинків, споруджених і до, і після Чорнобильської катастрофи, мали підвищену радіоактивність будівельних матеріалів (ПРБМ). У таких будинках основна дозова межа індивідуального опромінення населення 1 мЗв/рік може перевищуватись у кілька разів, спри-

чиняючи додаткову онкозахворюваність. Проте з незрозумілих причин справжні масштаби й наслідки такого опромінення ще й сьогодні (навіть після Чорнобиля!) лишаються поза увагою як фахівців-дослідників, так і компетентних державних органів, відповідальних за радіаційну безпеку населення. Підтвердженням цього – ще не відомі навіть адреси більшості будинків з ПРБМ, тобто об'єкти досліджень.

Звичайно, опромінення малими дозами не є найбільшою з існуючих сьогодні небезпек, а тому, здавалося б, не потребує термінових досліджень. Та при тривалому багаторічному опроміненні постійних мешканців у будинках з ПРБМ хоча й малими дозами, сумарні дозові навантаження спричиняють ризики додаткових онкозахворювань щонайменше рівнозначні ризику спонтанної онкозахворюваності.

Отже, вплив такого масового опромінення з онкологічними наслідками, яке, ймовірно, триватиме ще багато років, вже давно мав бути дослідженим. Адже за десятки років існування будинків з ПРБМ фактично вже відбувся і триває далі надзвичайно дорогий широкомасштабний експеримент на людях по дослідженню впливу тривалого хронічного опромінення стабільними малими дозами в наших реальних побутових умовах. Водночас (навіть незалежно від цих досліджень) основні експериментальні дані – діагнози первинних онкозахворювань у досліджуваних будинках (з ПРБМ та контрольних «чистих») – всі ці роки встановлювались медпрацівниками і регулярно фіксувались у канцер-реєстрах разом з аналогічними даними по решті будинків. Для опрацювання потрібних зібраних даних бракує лише адрес досліджуваних будинків, знайти які з допомогою звичайного портативного дозиметра може легко кожний охочий (а найоперативніше, буквально за кілька тижнів і по всій Україні – дозиметристи місцевих СЕС).

За знайденими адресами основної маси досліджуваних будинків, з канцер-реєстрів по всій Україні вже давно могла бути зібрана і збережена унікальна база даних щодо онкозахворювань у будинках з різними рівнями опромінення (по можливості, включно з найдавнішими записами). Опрацювання цих даних конче потрібне не лише для термінової розробки ефективних шляхів мінімізації негативних наслідків опромінення у будинках з ПРБМ, але й для більш складних досліджень тих чи інших аспектів хронічного опромінення стабільними малими дозами. Зокрема для уточнення ще недостатньо прогнозованих наслідків хронічного опромінення чорнобильськими малими дозами.

На жаль, сьогодні дані, зібрані в канцер-реєстрах, катастрофічно втрачаються. Зокрема, в сучасних канцер-реєстрах на електронних носіях зберігається інформація лише починаючи з середини 90-х років. А старі «хрущівки» в недалекому майбутньому теж будуть знесені, отже рівнів опромінення їхніх мешканців впродовж десятків років теж залишаться невідомими.

Тому для порятунку досліджень потрібний терміновий пошук будинків з ПРБМ по всій території України. А після цього за знайденими адресами – пошук медичних даних у всіх можливих архівах і канцер-реєстрах, де вони

ше могли зберегтись.

Для такого широкомасштабного пошуку конче потрібна участь компетентних державних органів разом з місцевими СЕС та місцевими фахівцями, оскільки для будь-якої групи дослідників повний пошук будинків тривав би ще десятки років.

ВПЛИВ ПОЄДНАНОЇ ДІЇ ЕКЗОГЕННИХ ОКСИДІВ АЗОТУ ТА МАЛИХ ДОЗ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ НА РОЗВИТОК ГЕНЕТИЧНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ У МАЛІГНІЗОВАНИХ КЛІТИНАХ

І. І. Музальов, В. М. Михайленко

*Інститут експериментальної патології, онкології та радіобіології
ім. Р. С.Кавецького НАН України, Київ*

За даними Міжнародної агенції з дослідження раку (IARC), головною причиною виникнення онкологічних захворювань людини є забруднення навколишнього середовища, зокрема – повітря. Викиди автотранспорту, підприємств, електростанцій, спалювання твердого палива та інших джерел забруднюють навколишнє середовище.

Оксиди азоту (ОА) входять у десятку найбільш розповсюджених полутантів атмосферного повітря переважно техногенного походження з тенденцією до щорічного збільшення емісії. Дози опромінення від наукових, медичних, промислових та військових джерел іонізуючого випромінювання (ІВ) у розвинених країнах вже в кілька разів перевищують рівні природного фонового опромінення. Найбільшу небезпеку для людини становить синергічне посилення негативного ефекту факторів навколишнього середовища за їхнього поєданого впливу.

Розвиток більшості онкологічних захворювань відбувається саме на фоні поєданого дії екологічних факторів різної природи, зокрема – інгаляційного впливу ОА та малих доз іонізуючої радіації (МДІР). Кінцевою мішенню, що зумовлює реалізацію як безпосередніх, так і віддалених ефектів такого впливу, виступає ДНК. У зв'язку з цим, метою нашої роботи було дослідження динаміки розвитку пошкодження ДНК у клітинах карциноми Герена (КГ) за окремої та поєданого дії ОА та МДІР.

Дослідження проводили методом горизонтального гель-електрофорезу ізольованих клітин («ДНК-комет») на 12 та 18 добу розвитку пухлини. Матеріалом дослідження були клітини КГ, виділені з тварин, що зазнали окремої дії обох чинників, а також їхнього поєданого впливу.

Кількість розривів у ДНК на 18 добу росту КГ була в 1,6 разів більшою, ніж на 12 добу. Це свідчить про інтенсифікацію процесів, які призводять до пошкодження ДНК, та розвитку генетичної нестабільності у клітинах КГ з ростом пухлини.

Дія МДІР призвела до підвищення кількості розривів молекули ДНК на 12

добу її розвитку – у 2 рази, та на 18-ту – у 1,6 рази проти відповідних контролів. Тривалий інгаляційний вплив ОА на 12 добу росту КГ викликав підвищення рівня пошкодження ДНК у 2,3 рази, та на 18-ту – у 1,9 рази проти відповідних контрольних значень.

Поєднана дія обох чинників викликала підвищення кількості розривів ДНК на 12 добу розвитку пухлини у 2,9 рази проти контролю. При цьому окрему дію ОА було перевищено у 1,3 рази, а МДП – у 1,5. На 18 добу розвитку пухлинного процесу перевищення склало 2,5 рази. Індивідуальний генотоксичний ефект ОА було перевищено у 1,3 рази, а МДП – у 1,5.

Таким чином, клітини КГ характеризуються порівняно більшим рівнем генетичної нестабільності за соматичні клітини організму, який прогресує з розвитком пухлини. Генотоксичний ефект тривалої інгаляційної дії ОА перевищував індивідуальну дію МДП, але максимальні рівні пошкодження ДНК було зафіксовано за поєднаної дії обох чинників на 18 добу розвитку пухлини.

РАДИОНУКЛИДНЫЙ СОСТАВ ПРОБ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Т. В. Никитина

*Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Ростовский научно-исследовательский онкологический институт»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия*

Тяжесть последствий загрязнения окружающей среды и живых организмов радионуклидами зависит не столько от их концентрации, сколько от биологического влияния ионизирующего излучения, сопровождающего распад радиоактивных элементов. Биологические эффекты радиоактивного загрязнения природной среды определяются дозами облучения живых организмов, которые в свою очередь зависят от уровней содержания, накопления, прочности фиксации и скорости выведения радионуклидов из компонентов водных экосистем.

Радионуклиды, поступившие в водоем, сорбируются взвесями и осаждаются, претерпевают радиоактивный распад, накапливаются водной биотой, в результате этих процессов донные отложения, в которых накапливаются радионуклиды, становятся долговременным резервуаром загрязнителей и источником вторичного радиоактивного загрязнения. Воздушная и гидрологическая миграция радионуклидов из водоемов, поступление радионуклидов в подземные воды приводят к их постепенному распространению в окружающей среде, включению в пищевые цепочки и дополнительному облучению человека.

Особую значимость приобретает исследование содержания радионуклидов в тех водоемах, которые расположены в непосредственной близости с АЭС. Таким водоемом является Цимлянское водохранилище.

Радионуклидный состав проб донных отложений Цимлянского водохра-

нилища определялся гамма-спектрометрическим методом. Использовались стандартные методики отбора и подготовки проб, счетные геометрии Мари-нелли 1 л и дента. Время набора спектров не превышало 24 ч.

Результаты исследования содержания радионуклидов в пробах показали, что наиболее часто встречающееся значение удельной активности ^{137}Cs находится в интервале $17 \div 30$ (Бк/кг). Содержание ^{40}K , в основном, находится в интервале $600 \div 700$ (Бк/кг), ^{232}Th – в интервале $36 \div 45$ (Бк/кг), ^{210}Pb находится в пределах $210 \div 350$ (Бк/кг), а ^{226}Ra – $28 \div 36$ (Бк/кг). Средние значения содержания радионуклидов в донных отложениях составляют $41,0$ Бк/кг для ^{226}Ra , $324,4$ для ^{210}Pb , $41,8$ – для ^{232}Th , $713,8$ для ^{40}K , $35,5$ – для ^{137}Cs .

Распределение как естественных радионуклидов, так и ^{137}Cs по профилю донных отложений неравномерно, с локальными минимумами и максимумами. В распределении ^{137}Cs имеет место два максимума его удельной активности. Первый максимум был выявлен на глубине $25 - 30$ см, это связано с чернобыльской аварией, второй максимум – на глубине свыше 30 см, связан с испытанием ядерного оружия.

СОДЕРЖАНИЕ ^{129}I В ВОДЕ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

А. А. Одинцов, В. Е. Хан, А. К. Калиновский

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев

При эксплуатации атомных электростанций, переработке и утилизации отработавшего ядерного топлива в окружающую среду, несмотря на предпринимаемые усилия по минимизации выбросов, попадают техногенные радионуклиды. Одним из продуктов деления является радиоактивный йод. Из-за большого разнообразия химических форм, а также высокой мобильности изотопов йода в окружающей среде он представляет большую экологическую опасность. Среди изотопов йода большое внимание уделяется наиболее долгоживущему ^{129}I ($T_{1/2} = 1,57 \cdot 10^7$ лет).

Целью данной работы было определение объемной активности ^{129}I в радиоактивно загрязненной воде (РЗВ) объекта «Укрытие», поступающей из скважин, пробуренных в помещении 305/2, и основных водных скоплениях на нижних отметках объекта «Укрытие».

Пробы РЗВ для определения содержания изотопов йода отбирались в 2010 - 2013 гг. из скважины Ю-9-Б, которая пробурена на отметке $+8,8$ м из помещения 208/10 с юга на север помещения 305/2 и проходит в непосредственной близости от скоплений ЛТСМ.

Выделение и концентрирование радиоизотопов йода из РЗВ объекта «Укрытие» производили по экстракционной методике. Методика адаптирована с учетом сложного макрокомпонентного состава РЗВ. Измерение активности выделенного ^{129}I выполняли на γ -спектрометрическом комплексе, состоящем из полупроводникового детектора GL2020R из сверхчистого герма-

ния CANBERRA с разрешением 0,57 кэВ для энергии γ -квантов 122 кэВ (γ -линии ^{57}Co) и 16000-канального амплитудного анализатора импульсов CANBERRA.

В пробах РЗВ, отобранных из скважины Ю-9-Б, определено содержание урана и массовые доли изотопов урана, продуктов деления (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{155}Eu и ^{129}I) и трансурановых элементов ($^{238+239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm и ^{242}Cm). Объемная активность ^{129}I в исследованных пробах воды из скважины Ю-9-Б находится в пределах от 4,7 до 8,4 Бк/дм³ среднее значение $6,7 \pm 2,5$ Бк/дм³. Анализ отношений активности $^{90}\text{Sr}/^{129}\text{I}$ и $^{137}\text{Cs}/^{129}\text{I}$ показывает, что для проб РЗВ из скважины Ю-9-Б относительное содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs и ^{129}I в период наблюдений 2010 – 2013 гг. изменялось не значительно и составляло $^{90}\text{Sr}/^{129}\text{I} - (2,6 \pm 1,3) \cdot 10^6$ и $^{137}\text{Cs}/^{129}\text{I} - (5,7 \pm 1,8) \cdot 10^6$. Концентрация ^{129}I в воде объекта «Укрытие» составляет $(0,4 - 1,3) \cdot 10^{-6}$ г/дм³.

В исследованных пробах РЗВ из скважин и помещений на нижних отметках объекта «Укрытие» короткоживущих изотопов ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I обнаружено не было.

РОЗПОДІЛ ^{137}Cs МІЖ НАЗЕМНИМИ ТА ПІДЗЕМНИМИ ОРГАНАМИ *ТУРНА ANGUSTIFOLIA*

С. П. Пришляк, О. М. Волкова, В. В. Беляєв, О. О. Пархоменко

Інститут гідробіології НАН України, Київ

Відомо, що вищі водні рослини впливають на процеси перерозподілу радіонуклідів у водоймах завдяки високому продукційному потенціалу і здатності активно поглинати радіоактивні речовини. Однак досі не визначеними залишаються деякі параметри, без яких неможливо оцінити роль рослин в міграції радіонуклідів у прісноводних екосистемах, зокрема, до теперішнього часу не визначені особливості формування радіонуклідного забруднення підземних органів повітряно-водних рослин, життєдіяльність яких сприяє захороненню радіоактивних речовин у донних відкладах. Тому метою роботи було визначення кількісних параметрів розподілу ^{137}Cs між надземними та підземними органами *Typha angustifolia* (рогозу вузьколистого) – одного з домінуючих за фітомасою у водоймах України представника групи повітряно-водних рослин.

Дослідження проводили у 2013 - 2014 рр. на мілководдях правобережної верхньої частини Київського водосховища на ділянках монозаростей рогозу вузьколистого. Наземну масу рослин визначали загальноприйнятими у гідробіології рамковим методом, підземну – за власною методикою, яка полягає у відборі на території фітоценозів кернів донних відкладів глибиною 30 см відомої площі із подальшим відокремленням коренів та кореневищ рослин. Вибір глибини кернів обумовлений тим, що згідно з нашими та літературними даними, на неосушних ділянках фітоценозів 80-90 % підземної маси повітряно-водних рослин зосереджено у верхньому 20-ти сантиметровому шарі

донних відкладів.

Результати досліджень показали, що у досліджених фітоценозах наземна фітомаса рогозу вузьколистого у середньому становила 1266, підземна – 904 г/м² повітряно-сухої маси, при цьому маса кореневищ та коренів становила 297 та 607 г/м², відповідно. Отже, маса підземних органів становила 42 % від загальної, зокрема коренів та кореневищ – 14 та 28 % від загальної, відповідно.

Далі було визначено, що на період досліджень питома активність ¹³⁷Cs у наземних органах рогозу вузьколистого становила у середньому 4 ± 1, у коренях – 81 ± 18, у кореневищах – 7 ± 2 Бк/кг. Тобто активність наземних органів і кореневищ вірогідно не відрізнялася, активність коренів була значно вищою.

На основі наведених результатів, з урахуванням маси та питомої активності наземної та підземної складових фітоценозів, було визначено, що у монозаростях рогозу вузьколистого 14 % від загальної кількості ¹³⁷Cs у фітомасі зосереджено у наземній частині рослин, 13 % у кореневищах, 73 % – у коренях.

Таким чином, не зважаючи на відносно незначний внесок коренів у загальну біомасу рогозу вузьколистого, завдяки їхній високій здатності накопичувати ¹³⁷Cs, саме щорічне відмирання коренів сприяє переведенню більшої частини накопиченого у фітомасі радіонукліда у донні відклади.

СТАТИСТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ РАДІОНУКЛІДІВ В ҐРУНТАХ ЗАПОВІДНИХ ТЕРИТОРІЙ ЗАКАРПАТТЯ

**О. І. Симканич¹, С. М. Сухарев¹, Н. І. Сватюк²,
В. Т. Маслюк², О. О. Парлаг²**

¹ Державний вищий навчальний заклад

«Ужгородський національний університет», Ужгород

² Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород

Відомо, що Закарпаття важливе для формування водних ресурсів та повітряних потоків Східної та Центральної Європи. Гірські хребти ефективно акумулюють важкі хімічні елементи, що переносяться повітряними потоками. Наявність ізольованих гірських районів з особливим мікроелементним складом ґрунтів та води обумовлює специфіку біоєтносу, що проживає в ньому.

В доповіді представлено результати систематизації радіоекологічних досліджень ґрунтів НПП «Синевир», «Ужанський», «Зачарований край» за радіоекологічним і геохімічним станом ґрунтів і донних відкладів малих річок. Зразки ґрунтів бралися із глибини 0-50 см, після очищення та осушення поміщалися у повітрянепроникні пластикові контейнери для забезпечення рівноваги довго- та короткоживучих гама-активних нуклідів (ГАН) природного та штучного походження. Вимірювання проводилися в низькофоновій лабораторії із використанням охолоджуваних 100 см³ Ge та 175 см³ HPGe

напівпровідникових детекторів, визначався питомий вміст ^{214}Bi , ^{214}Pb (ряд ^{238}U), ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{228}Ac (ряд ^{232}Th), ^{40}K та ^{137}Cs . Для зразків ґрунтів визначалося їхнє рН, проби бралися для трьох горизонтів, - 0, 25 та 50 см. Точки пробовідбору розташовувалися як по гірських хребтах, так і вздовж них із перепадом висот до 300 м. Визначалися наступні характеристики:

- статичні кореляції між точками пробовідбору (поверхневі, глибинні, вздовж та вниз по хребтах територій НПП) по вмісту ГАН рядів ^{238}U , ^{232}Th та ^{40}K , ^{137}Cs із використанням кластерного аналізу;
- статистичні кореляції між вмістом вказаних ГАН та значень рН для поверхневих та глибинних зразків ґрунтів;
- статистичні кореляції між точками пробовідбору вздовж русел гірських рік (Бордава, Уж та Латориця).

Представлено дані картографування території НПП «Синеvir», «Ужанський», «Зачарований край» за радіоекологічним і геохімічним станом ґрунтів і донних відкладів малих річок.

ЯДЕРНА КРИМІНАЛІСТИКА В УКРАЇНІ

В. В. Тришин

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Незаконний обіг та контрабанда ядерних матеріалів становлять на сьогодні глобальну загрозу розповсюдження ядерної зброї та проявів ядерного тероризму. Ефективна протидія цьому може бути досягнута за рахунок об'єднання зусиль державних органів та організацій, а також тісного співробітництва на міжнародному рівні.

Ядерна криміналістика відіграє визначну роль в протидії незаконному обігу ядерних та інших радіоактивних матеріалів.

Основною метою ядерної криміналістики є встановлення джерела походження та потенційного застосування вилученого ядерного матеріалу. Така інформація є вкрай необхідною та важливою для ефективної протидії контрабанді ядерних матеріалів. Її отримання можливе на основі дослідження таких характеристик ядерного матеріалу, як ізотопний склад, вміст мікродомішок та ізотопні відношення стабільних елементів, час з моменту виготовлення матеріалу (вік), пористість, гранулярна та кристалічна структура матеріалу тощо. Оскільки подібні дослідження потребують наявності висококваліфікованих фахівців, сучасного надчутливого прецизійного обладнання (альфа-, бета-, гамма- і мас-спектрометри, нейтронні лічильники, рентгенфлюоресцентні аналізатори, скануючі та трансмісійні мікроскопи тощо), яке має високу вартість, а також комплексу відповідних метрологічно забезпечених методик вимірювання, вони можуть проводитись лише в наукових експертно-аналітичних центрах.

Постановою КМ України № 813 від 2 червня 2003 р. на Інститут ядерних досліджень НАН України (ІЯД) покладено виконання функцій головної експертної організації з питань дослідження та визначення характеристик радіоактивних матеріалів, які вилучено із незаконного обігу. За багато років ІЯД набув значний досвід в галузі ядерної криміналістики, має кваліфікованих спеціалістів, відповідне аналітичне обладнання і необхідну інфраструктуру та тісно співпрацює з провідними ядерно-криміналістичними лабораторіями світу. Зокрема, в рамках програм ТАСІС і Інструмент для стабільності (ІФС) ІЯД отримав мобільну лабораторію для проведення досліджень на місці інциденту та сучасний прецизійний мас-спектрометр з індуктивно-зв'язаною плазмою (ІСР-МС) Елемент-2 для визначення слідових елементів в ядерних матеріалах та зразках навколишнього середовища.

У 2010 р. на виконання заходів, передбачених розд. 2, пункт 2 Плану організації виконання Указу Президента України № 1035 від 15 листопада 2010 р. ІЯД виступив з пропозицією щодо створення регіональної мережі ядерно-криміналістичних лабораторій з базовою лабораторією в Україні. Ця ідея знайшла підтримку в Україні, а також в інших країнах об'єднання ГУАМ. Проект виконуватиметься спільно науково-дослідними експертними організаціями України, Грузії, Азербайджану та Молдови. Партнерська підтримка виконанню такого проекту надається Європейською Комісією, технічним куратором проекту буде виступати Інститут трансуранових елементів Об'єднаного дослідницького центру Європейської Комісії.

Важливість розвитку ядерної криміналістики в Україні знайшла своє відображення в Указі Президента України № 73/2013 Про затвердження Національного плану з реалізації положень Комюніке Сеульського саміту з ядерної безпеки на 2013 - 2014 рр., яким передбачено розробку та затвердження концепції державної цільової програми розвитку ядерної криміналістики в Україні.

ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ КРИТИЧНОСТІ ЕКОСИСТЕМ ЗАБРУДНЕНИХ РЕГІОНІВ ПОЛІССЯ У ПІЗНІЮ ФАЗУ РОЗВИТКУ РАДІОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧАЕС

Г. М. Чоботько, В. П. Ландін, Л. А. Райчук, І. К. Швиденко

Інститут агроекології і природокористування НААН, Київ

За висновками Міжнародної конференції «25 років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього» та Національної доповіді до 25-х роковин Чорнобильської катастрофи в процесах надходження радіонуклідів в сільськогосподарську продукцію ландшафтно-екологічні фактори превалюють над показниками щільності радіоактивного забруднення. Тому визначення підходів для оцінки критичності (в радіологічному розумінні) екосистем постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС регіонів є необхідною умовою в системі заходів щодо їхньої соціально-економічної реабілітації. Потребує коригування

сама система контрзаходів для різних видів господарювання в умовах радіоактивного забруднення з урахуванням сучасних тенденцій розвитку господарського комплексу.

Екологічне оздоровлення забруднених територій має передбачати відновлення природної ландшафтної структури угідь до умов оптимальних для Полісся. Для цього необхідно науково обґрунтувати пріоритети розвитку агропромислового виробництва. Організація ефективної системи господарювання в цих умовах повинна базуватись на науково обґрунтованій системі відновлення крупнотоварного виробництва з відродженням м'ясного скотарства як профільюючої галузі агропромислового комплексу на Поліссі, а також традиційних для регіону хмелярства, льонарства тощо. Зростання частки сільськогосподарської продукції для власного споживання, що вирощується у приватному секторі, вимагає перегляду системи радіоекологічного контролю та моніторингу і реалізації контрзаходів, що гарантуються державою.

Саме тому необхідно скорегувати існуючі нормативно-правові акти щодо впровадження в агропромислового виробництві системи протирадіаційних контрзаходів з урахуванням критичності екосистем радіоактивно забруднених територій:

1. З метою визначення підходів до оцінки критичності екосистем та запобігання наднормативного опромінення населення Поліського регіону в найближчі роки необхідно переглянути підходи до визначення пріоритетів господарської діяльності на забруднених територіях та скоригувати соціально-економічні критерії реабілітації радіоактивно забруднених земель. У зв'язку з цим нами розроблені пропозиції до нормативно-правових актів щодо коригування системи реабілітаційних заходів з врахуванням критичності екосистем радіоактивно забруднених регіонів Українського Полісся.

2. Аналітична система (тобто методичний підхід) до оцінки критичності екосистем забруднених регіонів Полісся у пізню фазу розвитку радіологічної ситуації після аварії на ЧАЕС включає кілька основних етапів аналізу факторів, що визначають дозові навантаження на населення регіону:

- визначення ролі лісів і лісових продуктів у формуванні дозових навантажень для населення;
- визначення внеску, ролі пасовищ і сіножатей у формуванні дозового навантаження для населення регіону через забруднення молока й м'яса;
- визначення фактичного раціону харчування населення, що значною мірою визначає величину дозових навантажень;
- встановлення ролі городньої продукції у формуванні дозових навантажень для населення регіону;
- встановлення ролі контрзаходів у формуванні дозових навантажень для населення регіону.

Авторський покажчик

- Абросімов В. І. 20
Агеев В. А. 184
Адам І. 103
Азаров І. С. 92, 93, 96,
97, 189
Аксьонов А. В. 114
Александрова Н. В. 192
Альохіна М. Є. 20, 21
Андрейченко С. В. 166,
174
Андрейченко К. С. 174
Анохін І. Є. 118
Арита К. 47
Арцимович М. В. 84
Асманкова В. С. 171
Атаманюк Н. П. 181
Атте Д. 88
Бабак О. В. 70
Барабаш А. С. 76
Бартел Дж. 33
Бездробна Л. К. 183,
184, 196
Безшийко О. А. 20, 21,
22, 88
Беллі П. 76
Беляев В. В. 191, 197,
214
Бердишев А. Г. 181
Бережна В. 161
Бернабей Р. 76
Белошенко М. А. 150
Блоцкі Я. П. 60, 33
Божок О. В. 184
Бойко О. А. 170
Бондар Б. 22
Бондаренко Я. В. 134
Бондарь Ю. В. 192
Бондарьков М. Д. 104
Бондарьков Д. М. 193
Борецький В. Ф. 134
Борисова М. С. 23
Бохінюк В. С. 24
Брак М. 47
Буканов В. М. 95, 102
Булавицька В. М. 174
Бурдін В. В. 53
Бурдо О. С. 160, 168
Бурдо О. О. 162
Вальков А. Е. 26, 27
Варніна В. І. 118
Васильева Е. Г. 95, 102
Васильев Я. В. 76
Ватліцова О. С. 166
Веклич А. М. 134
Вербицький В. П. 70
Веремейченко Г. М. 28
Веремій Ю. П. 150, 159
Вишневский Д. А. 200
Вишневский И. Н. 26,
28, 29, 30, 96, 97,
109, 110, 120, 163,
193
Вірко В. Ф. 135
Вірко Ю. В. 135
Войтенко Л. М. 136
Войтер А. П. 39, 54, 62
Войцехович О. В. 206,
207
Волкова Е. Н. 191, 214
Волох О. А. 31
Ворона П. М. 98
Воронов О. П. 28
Врзалова Й. 103
Гаврилов О. О. 31
Гайдар В. О. 196
Гайдар Г. П. 120
Гайдар О. В. 195, 196
Гайсак І. І. 103, 137
Гайсак М. І. 137
Гальченко В. В. 100,
105
Гамазін Д. К. 138
Ганжа О. Б. 182
Ганжа К. Д. 197
Георгадзе А. Ш. 32
Главін О. А. 194
Гладковська О. В. 29
Гладковський В. В.
139, 140
Глыгало В. Н. 104
Гнатич М. 137
Говоруха Т. 22
Голіней І. Ю. 121
Голінка-Безшийко
Л. О. 20, 21, 22
Голяк М. Г. 100
Гончаров А. 148
Горбань Л. В. 166
Горбаченко О. М. 30,
75
Горин В. В. 142
Горпинич О. К. 70, 71,
72
Горпинченко Д. В. 33
Гранцев В. І. 31, 34
Григоренко О. Д. 70
Гримало А. К. 35
Гриневич Ю. П. 167
Грицай О. О. 35, 36
Гриценко О. В. 95
Гудков Д. И. 197
Гула Н. М. 181
Гулік В. І. 101
Гурин А. А. 143
Гушенец В. 148
Д'Анжело С. 76
Д'яков О. Г. 111, 112
Давидовский В. В. 36
Давидовська О. І. 20,
75

- Даневич Ф. А. 44, 46,
65, 76, 90
- Демехин В. Л. 102
- Демина Е. А. 179
- Денисов В. Ю. 37, 61
- Дерев'яно Л. П. 181
- Деркач Г. А. 206
- Демьохін В. Л. 95
- Джуліані А. 90
- Дзюблик О. Я. 28, 38,
122
- Дивак Т. І. 203, 205
- Добровольський А. 148
- Долголенко А. П. 123,
124
- Донченко Т. С. 144
- Доронін М. І. 39, 54, 62
- Драпей С. С. 28
- Дрозд І. П. 162, 163,
164, 165, 167, 177,
187
- Дружина М. О. 182
- Дряпаченко І. П. 28, 41,
58, 71
- Дулгер Л. Л. 71, 72
- Дьоміна Е. А. 194
- Євланов В. М. 96, 97
- Жаба В. І. 24, 41
- Желтоножская М. В.
185, 186, 193, 198,
199
- Желтоножский В. А.
28, 29, 30, 185, 186,
193, 199
- Заворка Л. 103
- Заикин Г. Г. 41, 43, 58
- Зарубин О. Л. 199, 200
- Зарубина Н. Е. 168 199
- Заяц Т. М. 55
- Зелінський А. Г. 109,
110
- Зінець О. С. 118
- Золотарьова А. С. 44
- Зотєєв О. Є. 113
- Зотєєв В. О. 113
- Иванкова В. С. 179
- Ильин А. П. 44
- Іванов Ю. О. 201
- Ількович В. В. 95
- Інчікітті А. 76
- Каглян А. Е. 197
- Каденко І. М. 20, 21, 22
- Калиновский А. К. 202,
213
- Калустова Д. О. 152
- Кальний В. І. 34
- Кальченко О. І. 36
- Канівець В. В. 206, 207
- Капелла Ф. 76
- Карачіолло В. 76
- Карлишев Ю. Я. 71, 72
- Касперович Д. В. 71, 72
- Касумов М. М. 159
- Катовскі К. 103
- Кива В. О. 53, 66, 69,
71
- Киреев С. И. 197
- Кириченко В. 22
- Кирищук В. І. 29
- Кісурин К. К. 31, 34
- Кіш Ю. В. 103
- Кленівський М. С. 137
- Кленус В. Г. 197
- Клепо А. В. 166, 174
- Кметюк Я. 22
- Кобичев В. В. 44, 46,
76, 90
- Кобичев Р. В. 46
- Коваленко О. В. 28, 120
- Ковалінська Т. В. 109,
110, 120, 126
- Ковальов О. М. 31, 39,
54, 62, 81
- Ковальов В. 161
- Ковальчук О. С. 53
- Ковальчук О. 91
- Козловська І. В. 170
- Кола П. 88
- Колган В. В. 158
- Колесниченко Я. І. 145,
146, 147, 160
- Колесник М. В. 47
- Коломієць М. Ф. 28, 41,
120
- Коломієць В. М. 48, 49,
50, 51, 52
- Кондратова Ю. А. 166
- Коновалов С. І. 76
- Конорева О. В. 129
- Корзина Т. О. 70, 71
- Кориченський К. О.
203
- Коромысличенко Т. И.
192
- Косарчук О. В. 204
- Костюк І. О. 68
- Костюк В. А. 199
- Костюк Т. А. 115
- Косякова В. 181
- Краус Г. 46
- Краус Х. 65
- Кривенко-Еметов Я. Д.
47
- Кривский И. Ю. 55
- Кропив'янський Б. М.
44
- Круль М. 161
- Кузенко С. В. 192
- Кулич Н. В. 198, 209
- Купряшкин В. Т. 56
- Курочкіна В. А. 183
- Куртева А. А. 57
- Куц В. І. 129
- Кушпій Д. А. 41, 58, 84
- Кушпій О. А. 28, 41, 58

- Лавренчук Г. Й. 169, 170, 171
- Лаврова Т. В. 203, 206, 207
- Лазарєв М. М. 172, 173, 204
- Ландін В. П. 217
- Лаптев Г. В. 203, 205
- Лаубенштейн М. 76
- Лашко А. П. 58
- Лашко Т. М. 58
- Левко Д. С. 144
- Лейко О. Ф. 80
- Лендел О. І. 79, 80
- Лендел В. В. 152
- Лепякво Б. С. 145, 146
- Лиманець А. О. 59
- Липская А. И. 198, 120, 162, 163, 164, 165, 167, 177, 209
- Литвинчук Х. М. 171
- Литовченко П. Г. 118, 120, 129
- Литовченко М. В. 127, 129
- Лібман В. А. 169
- Ліст Д. 89
- Літовко І. 148
- Лук'яненко С. Т. 67
- Лук'янов С. В. 49
- Луценко В. В. 146, 147
- Лушкін О. Е. 158
- Лютій І. М. 209
- Магнер О. Г. 33, 47, 60
- Мазина Н. И. 111, 112, 115
- Мазний І. О. 62
- Макаровський В. М. 111, 112
- Максименко А. М. 104
- Максимов М. В. 106
- Малий С. В. 127, 129
- Малюк И. А. 199
- Маргітїч Т. О. 61
- Мартінез-Ровіра І. 91
- Марченко Л. С. 118
- Марченко В. С. 149
- Маслюк В. Т. 78, 79, 80, 215
- Мегедь О. Ф. 181
- Межевич С. Ю. 63
- Мельник О. П. 127
- Мельник Т. В. 183, 196
- Микитюк Т. В. 178
- Михайленко В. М. 175, 194, 211
- Михайлик В. Б. 46, 65
- Михайлов Л. В. 26, 27
- Михайловский В. В. 128
- Михайлюк В. П. 64
- Міліція В. М. 53, 66, 69
- Мінаков Н. В. 53
- Мінчук Г. Я. 184
- Мішин А. А. 105
- Можжухін Е. М. 41, 58, 71, 84
- Мокіна В. М. 46, 65
- Момот С. Л. 66
- Мотрина О. М. 174
- Музалев П. Н. 193
- Музальов І. І. 175, 211
- Назаров А. Б. 197
- Найко Л. 148
- Найко И. 148
- Найчук М. В. 177
- Недибалюк О. А. 150, 153, 158
- Нестеров В. О. 67
- Нечаев С. Ю. 183
- Никитина Т. В. 212
- Николаев В. И. 198
- Никольский М. В. 106
- Ніколаєв В. І. 209
- Обіход Т. В. 67
- Обризан С. М. 197
- Огородников Б. И. 202
- Одинцов А. А. 213, 161
- Окс Е. 148
- Омельчук С. Є. 31, 34
- Онищук В. А. 84
- Остапенко І. А. 109, 110
- Осташко В. В. 28, 41, 58, 71, 84
- Охріменко О. О. 68, 69, 91
- Павленко І. О. 196
- Павленко Ю. М. 70, 71, 72
- Павленко В. М. 150
- Павлович В. М. 32, 101, 114
- Паламар Л. 161
- Паламарчук В. І. 176
- Панасенко Я. В. 53, 59, 69
- Панін Ю. В. 34
- Панченко В. Г. 150
- Парлаг О. М. 24
- Парлаг О. О. 79, 80, 215
- Пархоменко О. О. 214
- Пастушенко В. І. 177
- Пельх С. Н. 106
- Песков В. Г. 104
- Петелін Г. 161
- Петренко Е. О. 73
- Петренко І. В. 129
- Петросян Э. Э. 178
- Пилипчинец І. В. 79, 80
- Пилипчук Е. П. 179
- Пилипчук О. П. 194
- Підгерська Л. О. 186
- Пінковська М. Б. 118, 127, 129
- Пірнач Л. С. 205

- Плекан Р. М. 74
Плюйко В. А. 30, 75
Погуляй С. С. 178
Пода Д. В. 76
Поліщук О. Г. 76
Поліщук С. В. 204
Полозов Б. П. 139, 140
Понкратенко О. А. 77, 84
Поп О. М. 78
Порицький П. В. 151
Посмітюх І. В. 58, 84
Презадо Й. 91
Применко Г. І. 28
Присяжневич І. В. 150, 152
Пришляк С. П. 214
Прохорова Є. М. 171, 181
Пугач А. М. 102
Пугач В. М. 53, 66, 68, 69, 91
Пугач М. В. 73
Пугач С. М. 102
Пшеничний В. А. 35
Рабченюк Н. М. 105
Радіонов С. В. 50
Разбудей В. Ф. 169
Райчук Л. А. 217
Рашидов Н. 161
Ревка В. М. 106, 116, 130
Резник С. М. 149
Резниченко Б. В. 51, 52
Ринг П. 60
Ровенських Є. П. 30, 75
Рогозін В. М. 28
Рогозін О. М. 31
Родін В. С. 72
Родіонова Н. К. 165, 181
Рознюк Ю. С. 31, 34
Романюк М. В. 81
Руденко Б. А. 31, 34
Руденко Т. С. 147
Рудчик А. А. 77, 84
Рундель О. І. 70
Рябченко Н. М. 162, 182
Рябчиков С. Д. 106
Рязанов В. В. 107
Саврасов А. М. 28, 29, 29, 30
Садовников Л. В. 185, 186, 198
Санжур А. І. 51, 52
Сахно В. І. 96, 109, 110, 120
Сваричевська О. В. 196
Сватюк Н. І. 215
Семенюк О. М. 80
Сенюк О. 161
Серета Ю. П. 92, 189
Сидоренко В. Л. 92, 189
Сидоренко Л. П. 56, 82
Симканич О. І. 215
Слисенко В. І. 111, 112, 115
Слободян В. М. 135
Слюсаренко Л. І. 31, 34
Сова О. А. 162, 164, 165
Соколов А. М. 178
Солнишкін А. А. 103
Соломенко О. В. 150, 152
Соломенко Ол. В. 152, 158
Сорока В. І. 83, 84
Сорокін Ю. Є. 66, 91
Співак В. Ю. 122
Старчик М. І. 118
Старчик П. Д. 151
Степаненко Ю. М. 77, 84
Степанюк А. В. 70, 71, 72
Стець М. В. 78
Сторожик Д. І. 53
Стружко Б. Г. 31, 34
Сугаков В. Й. 121, 128, 131
Сухарев С. М. 215
Сушко В. О. 183
Талько В. В. 181
Тарановський О. В. 93
Тарасенко Л. В. 183, 187
Тартачник В. П. 127, 129
Телецька С. В. 167
Тимошенко А. І. 44
Тищенко М. Г. 152, 160
Тітов М. П. 88, 89
Ткаczyk А. Н. 101
Тодосієнко С. В. 207
Томилко В. В. 131
Третяк В. І. 44, 76, 85, 86
Тригубенко О. В. 130
Тришин В. В. 169, 184, 195, 196, 216
Тугай А. В. 185, 186
Тугай Т. І. 185, 186
Тютюнников С. І. 103
Улещенко В. В. 77, 84, 86
Устинов А. І. 195
Федірчик І. І. 150, 153
Федорович О. А. 136, 139, 140, 154
Федорченко В. І. 187
Федорчук О. 88
Федоткин С. Н. 87
Феокистов А. І. 56
Фесенко С. О. 134
Филиппов А. В. 202

- Фоменко Ю. С. 58
Форостенко С. І. 72
Фурса А. Д. 36, 163
Халова Н. В. 110
Хан В. Е. 161, 213
Харабет А. Н. 113
Хвастунов О. В. 58
Хелемеля О. В. 156
Хіміч І. В. 74
Хойзер Й. 66, 69
Холодов Р. І. 156
Хоменков В. П. 133,
199
Хомутінін Ю. В. 173,
201
Хотяїнцев В. М. 101,
114
Хотяїнцева О. М. 101,
114
Хушвактов Ж. Х. 103
Цивун А. П. 104
Циганок Т. В. 183, 187
Цимбалюк О. М. 144
Цупко-Ситніко В. М.
103
- Чайковський Ю. В. 116
Чаплинський Р. Ю. 178
Чаус А. В. 88, 89
Червонна Л. Є. 169, 171
Чернишов А. В. 174
Чернолуцький Д. Л.
158
Чернюк А. А. 121, 131
Черняк В. Я. 138, 144,
150, 152, 153, 158,
159
Черняк Д. М. 76, 90
Черуллі Р. 76
Чирко Л. І. 100, 106,
116
Чілап В. В. 103
Чоботько Г. М. 217
Чулкін О. О. 113
Чумак А. А. 181
Чурюмов В. І. 209
Шаповал В. О. 150, 158
Шаров А. Ф. 41, 58, 71,
84
Швайко Л. І. 183
- Швиденко І. К. 217
Шевель В. М. 120
Шевченко О. 22
Шевченко Ю. Б. 169,
170, 171
Шевчук А. А. 84
Шелковський М. В. 188
Шестаков М. В. 178
Ширма Ю. О. 77
Шитюк В. А. 164, 209
Шкап'як О. В. 116
Шлапацька В. В. 127
Шлегель В. М. 76
Шматко Г. Г. 118
Шпырко С. Г. 55
Щепкин Ю. Г. 115
Юматов В. І. 76
Юхименко В. В. 138
Юхименко В. В. 150,
158
Юхименко К. В. 159
Якимов М. О. 158
Яковенко В. 91
Яковенко Ю. В. 152,
160

Наукове видання

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
XXII ЩОРІЧНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
Інституту ядерних досліджень НАН України**

26 - 30 січня 2015 р.
Київ, Україна

Тези публікуються в авторській редакції

Комп'ютерна верстка *О. Д. Григоренко*

Підп. до друку 15.01.2015. Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 13,0.
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.