

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
ХІХ ЩОРІЧНОЇ
НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

Інституту ядерних досліджень НАН України

24 - 27 січня 2012 р.

Київ, Україна

Київ 2012

Програмно-організаційний комітет конференції:

Коломієць В. М. – голова комітету
Павленко Ю. М. – заступник голови комітету
Степаненко Ю. М. – секретар комітету

Члени:

Дорошко Н. Л. – вчений секретар ІЯД НАН України
Дрозд І. П. – радіоекологія та радіобіологія
Іванюк Ф. О. – теоретична ядерна фізика
Ковалінська Т. В. – голова ради молодих учених
ІЯД НАН України
Колесниченко Я. І. – фізика плазми
Пугач В. М. – експериментальна ядерна фізика
Слісенко В. І. – атомна енергетика
Сугаков В. Й. – радіаційна фізика та радіаційне
матеріалознавство

Секретарі:

Бурдо О. С. (радіаційна фізика та радіаційне матеріалознавство;
фізика плазми), Пугач О. М. (ядерна фізика; атомна енергетика),
Святун О. В. (радіоекологія та радіобіологія).

Друкується за рішенням вченої ради інституту від 12.01.12.

Адреса програмно-організаційного комітету:

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

ЗМІСТ

Секція 1. Ядерна фізика

Напівкласичне дисперсійне рівняння для парних вібрацій у важких ядрах	
<i>В.І. Абросімов, Д.М. Брінк, А. Деллафіоре, Ф. Матера</i>	17
Дослідження важких кварків і структури протона на колайдері HERA	
<i>В.Є. Аушев</i>	18
Пружне dd- і dt($d^3\text{He}$)-розсіяння при енергіях $12 < E_d < 100$ MeV	
<i>О.О. Белюскіна, В.І. Гранцев, В.В. Давидовський, К.К. Кісурін, С.Є. Омельчук, Ю.С. Рознюк, Б.А. Руденко, В.С. Семенов, Л.І. Слюсаренко, Б.Г. Стружко</i>	18
Нові результати з RHIC та LHC з ультрарелятивістських зіткнень важких іонів	
<i>М. С. Борисова</i>	19
Установка для дослідження місцезнаходження домішкових атомів та дефектів у монокристалах	
<i>А.О. Внученко, А.Б. Крамченков, В.Л. Денисенко</i>	20
Визначення перерізів вуглецю в області енергії 90 - 160 кеВ з використанням модифікованих фільтрованих пучків нейтронів	
<i>С.П. Волковецький, О.О. Грицай, В.А. Лібман</i>	22
Зв'язані канали і структура хвильової функції дейтрону	
<i>І.І. Гайсак, В.І. Жаба, Р.Й. Балог</i>	23
Пружне та непружне розсіяння ядер $^7\text{Li} + ^{14}\text{N}$	
<i>А.Т. Рудчик, О.В. Геращенко, А.А. Рудчик, Є.І. Коцый, С. Клічевскі, К. Русек, С.Ю. Межевич, В.А. Плюйко, О.А. Понкратенко, Вал.М. Пірнак, А.П. Ільїн, В.В. Улещенко, Р. Сюдак, Я. Хоїньскі, Б. Чех, А. Щурек</i>	24
Ізмерні відношення для ядер – продуктів реакцій $^{121}\text{Sb}(\gamma, 3n)^{118\text{m,g}}\text{Sb}$ та $^{121}\text{Sb}(\gamma, 5n)^{116\text{m,g}}\text{Sb}$	
<i>Я.О. Безиийко, О.М. Водін, Л.О. Голінка-Безиийко, А.М. Довбня, І.М. Каденко, В.В. Крилов, В.А. Кушнір, В.В. Мітроченко, С.М. Олійник, Г.Е. Туллер</i>	26
Густина збуджених станів атомних ядер: вплив колективних станів, тестування та використання в розрахунках характеристик ядерних реакцій	
<i>В.А. Плюйко, О.М. Горбаченко, В.М. Бондар, М.М. Зьолко</i>	27
Визначення повних нейтронних перерізів CR-52 із використанням методу зсуву середньої енергії нейтронів фільтрованого пучка	
<i>О.О. Грицай, А.К. Гримало, В.В. Колотий, В.А. Пшеничний, В.М. Венедиктов, В.П. Шахов</i>	28
Схема визначення амплітуди та форми сигналів з використанням швидких АЦП та програмованої логіки FPGA	
<i>А.А. Громяк, О.А. Безиийко, Л.О. Голінка-Безиийко, І.М. Каденко, В.В. Крилов</i>	29

Розпад ізомерів, індукований електронними переходами	
<i>А. Я. Дзюблик</i>	30
Оновлення методик вимірювань на пучку тандема ЕГП-10К з використанням цифрової техніки	
<i>І.П. Дряпаченко, В.С. Ковтун, Е.М. Можжухін, В.В. Осташко, Ю.М. Павленко, О.І Рундель, А.Ф. Шаров</i>	30
Новий вузол опромінення зразків на циклотроні У-120	
<i>А.С. Борзаковський, О.В. Жабровець, В.І. Куц, В.О. Рилошко</i>	31
Зміна форми ядер, що обертаються	
<i>Ф.О. Іванюк, К. Поморський, Й. Бартель</i>	31
Вимірювання та теоретичний аналіз перерізів ядерних реакцій (n, p), (n, α), (n, 2n) на ізотопах диспрозію, ербію, ітербію	
<i>О.М. Горбаченко, Н.Р. Дзисюк, А.О. Каденко, І.М. Каденко, В.А. Плюйко, Г.І. Применко</i>	33
Пружне й непружне розсіяння іонів ¹²C ядрами ⁷Li при енергії 115 МеВ	
<i>А.Т. Рудчик, В. Ю. Канищев, А.А. Рудчик, О.А. Понкратенко, Є.І. Коций, С. Клічевскі, К. Русек, В.А. Плюйко, С.Ю. Межевич, Вал.М. Пірнак, А.П. Ільїн, В.В. Улещенко, Р.Сюдак, Я. Хоїньскі, Б. Чех, А. Щурек</i>	34
Кластерний розпад високозбуджених резонансів ядра ⁵He	
<i>Ю.М. Павленко, В.Л. Шаблов, В.О. Кива, О.К. Горпинич, Н.Л. Дорошко, О.І. Рундель, А.В. Степанюк, Л.Л. Дулгер, Д.В. Касперович</i>	35
Пошук антинейтрино від невідомих джерел	
<i>В.В. Кобичев (від колабораціїorexino)</i>	36
Низькофононий детектор зі сцинтиляційними кристалами ¹¹⁶CdWO₄ для пошуку подвійного бета-розпаду ¹¹⁶Cd	
<i>О.С. Барабаш, П. Беллі, Р. Бернабей, Р.С. Бойко, Я.В. Васильєв, В.Д. Вірич, Є.М. Галашов, Ф.А. Даневич, М.Л. Ді Вакрі, О.Є. Доссовицький, А. Інчікитті, Ф. Капелла, В. Караччіоло, В.В. Кобичев, Г.П. Ковтун, С.І. Коновалов, М. Лаубенштайн, А.Л. Міхлін, В.М. Мокіна, С. Нісі, Д.В. Пода, Р.Б. Подвіяннюк, О.Г. Поліщук, Д.О. Солопихін, Ю.Г. Стенін, В.І. Третьак, Д.М. Черняк, Р. Черулі, В.М. Шлегель, О.П. Щербань, В.І. Юматов</i>	37
Металеві мікро-детектори для діагностики пучків іонізуючого випромінювання	
<i>О.С Ковальчук, В.М. Пугач, О.А. Федорович, А.В. Чаус, Д.І. Сторожик, В.М. Міліція, Є.Г. Костін, Б.П. Полозов</i>	38
Бета-розпад ²³¹Th → ²³¹Pa	
<i>Г.П. Куртєва</i>	39
Енергії низьколежачих збуджених станів ¹⁷⁵Lu	
<i>А.П. Лашко, Т.М. Лашко</i>	40
Розподіл нуклонів в ядрах поза лінією бета-стабільності	
<i>В.М. Коломієць, С.В. Лук'янов, А.І. Санжур</i>	41
Квантовий хаос у колективній ядерній динаміці	
<i>Я.П. Блоцький, О.Г. Магнер</i>	42

Аналізатор для експериментів на фільтрованих пучках нейтронів <i>А.П. Войтер, О.О. Грицай, М.І. Доронін, О.М. Ковальов, В.А. Лібман, І. О. Мазний.....</i>	43
Перші дослідження чіпа nХУТЕР для кремнієвої трекової системи експерименту СВМ у режимі зовнішнього тригерування <i>В.М. Пугач, В.О. Кива, Г.М. Малигіна, Я.В. Панасенко, Ю.Є. Сорокін, Й. Хойзер.....</i>	44
Розрахунок спектру гальмівних гамма-квантів з використанням методу Монте-Карло та деяких аналітичних підходів <i>О.А. Безиийко, Я.О. Безиийко, І.М. Каденко, Б.В. Масловський, А.О. Нагай.....</i>	45
Статистика ансамблю уламків поділу: масові, зарядові спектри та функція нейтронної емісії <i>В.Т. Маслюк, О.О. Парлаг, О.І. Лендел, Т.Й. Маринець, М.І. Романюк..</i>	46
Дослідження кореляції напрямку руху електрона "струсу" з напрямком руху позитрона при β^+-розпаді <i>М.Ф. Митрохович.....</i>	47
Оптимізація умов збору світла в криогенних сцинтиляційних болометрах <i>В.М. Мокіна, Ф.А. Даневич, В.В. Кобичев, Х. Краус, В.Б. Михайлик, Л.Л. Нагорна.....</i>	48
Рівняння руху в узагальнених теоріях гравітації <i>П.О. Наказной.....</i>	49
Проблема темної речовини та фізика елементарних частинок <i>П.О. Наказной.....</i>	50
Пошук суперчастинок на колайдері ЛНС шляхом використання комп'ютерної симуляції <i>Т.В. Обіход.....</i>	51
Система радіаційного моніторингу експерименту ЛНСб <i>О.Ю. Охріменко, В.М. Пугач, В.М. Яковенко.....</i>	52
Тригер множинності експерименту СВМ на основі металево-фольгових детекторів <i>Я.В. Панасенко, М.С. Борисова, В.М. Пугач.....</i>	53
Масові розподіли уламків фотоподілу ^{241}Am при максимальній енергії гальмівного випромінювання 12,5 MeV <i>О.О. Парлаг, Т.В. Гаврилець, О.І. Лендел, В.Т. Маслюк, В.М. Головей...</i>	53
Пружне та непружне розсіяння ядер $^6\text{Li} + ^{18}\text{O}$ <i>А.Т. Рудчик, Р.М. Зелінський, А.А. Рудчик, Є.І. Кощій, В.А. Плюйко, О.А. Понкратенко, С.Ю. Межєвич, Вал.М. Пірнак, А.П. Ільїн, В.В. Улещенко, С. Клічевські, К. Русек, Р. Сюдак, Я. Хоїньські, Б. Чех, А. Щурек.....</i>	54
Енергетична залежність розсіяння ядер $^6\text{Li} + ^{16}\text{O}$ та ізотопічні відмінності потенціалів взаємодії ядер $^{6,7}\text{Li} + ^{16}\text{O}$ <i>А.Т. Рудчик, Р.М. Зелінський, В.А. Плюйко, О.А. Понкратенко, А.П. Ільїн, Вал.М. Пірнак, А.А. Рудчик, В.В. Улещенко.....</i>	56

Спектроскопія найлегших ядер та particle-decay метод	
<i>О.М. Поворозник, О.К. Горпинич.....</i>	58
Остаточні результати експерименту з пошуку подвійного бета-розпаду ізотопів рутенію	
<i>П. Беллі, Р. Бернабей, Г.П. Ковтун, Н.Г. Ковтун, Ф.А. Даневич, С. д'Анджело, А. Інчікітті, Ф. Капела, М. Лаубенштейн, О.Г. Поліщук, Д. Проспері, Д.А. Солопихін, В.І. Третьяк, Р. Черулли, А. П. Щербань.....</i>	59
Енергетична залежність оптичного потенціалу пружного розсіяння $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$	
<i>О.А. Понкратенко.....</i>	60
Динаміка фазових переходів у металах спостережувана мікропиксельним детектором TimePix	
<i>М.В. Пугач, О.С. Ковальчук, В.М. Пугач, Д.І. Сторожик, А.В. Чаус, В.В. Бурдін, С.О. Фірстов, Ю. Подрезов, Б. Мінаков, М. Кемпбел, К. Ллопарт, Л. Тлустос, С. Поспішил.....</i>	61
Не-марківська дифузія через потенціальний бар'єр у присутності періодичної часової модуляції	
<i>В.М. Коломієць, С.В. Радіонов.....</i>	61
Механізми підбар'єрної взаємодії дейтронів з ядрами $^{58,62}\text{Ni}$, ^{124}Sn та ^{208}Pb	
<i>Ю.М. Павленко, О.І. Рундель, <u>К.О. Теренецький</u>, В.П. Вербицький, І.П. Дряпаченко, В.В. Осташко, О.К. Горпинич, Л.І. Слюсаренко, Ю.Я. Карлишев, А.В. Степанюк, Е.М. Можжухін.....</i>	62
Вплив кривизни та дифузності на поверхневий натяг ядра	
<i>В.М. Коломієць, С.В. Лук'янов, А.І. Санжур.....</i>	63
WEB-інтерфейс для програми UMADAC	
<i>О.М. Семенюк.....</i>	63
Спектр електронів низькоенергетичної області, що виникає при опроміненні Au α-частинками ^{238}Pu	
<i>В.Т. Купряшкін, Л.П. Сидоренко, О.І. Феоктістов, Є.П. Ровенських.....</i>	64
Аналіз спектрометричних залежностей на основі їхнього представлення у вигляді лінійної комбінації компонент	
<i>О.М. Соколов.....</i>	65
Дослідження поверхневих шарів кремнієвих бар'єрних детекторів методами ядерного мікроаналізу	
<i>В.І. Сорока, С.О. Лебедь, М.Г. Толмачев, О.Г. Кухаренко, О.О. Веселов.....</i>	66
Пошук подвійного бета розпаду ^{106}Cd за допомогою збагаченого кристалічного скінтілятора $^{106}\text{CdWO}_4$	
<i>П. Беллі, Р. Бернабей, Р.С. Бойко, В.Б. Бруданін, Я.В. Васильєв, Е.Н. Галашов, Ф.А. Даневич, С. д'Анджело, А. Інчікітті, Ф. Капела, В. Карачіоло, В.В. Кобичев, М. Лаубенштейн, В.М. Мокіна, Д.В. Пода, Р. Б. Подвіянюк, О.Г. Поліщук, Д. Проспері, Ю.Г. Стенін, Дж. Сухонен, В.І. Третьяк, Д.М. Черняк, Р. Черулли, В. Н. Шлегель.....</i>	67

Пошуки процесів безнейтринного резонансного подвійного електронного захоплення	
<i>П. Беллі, Р. Бернабей, Р.С. Бойко, В.Б. Бруданін, Я.В. Васильєв, Е.Н. Галашов, Ф.А. Даневич, С. д'Анджело, М.Л. ді Вакрі, А. ді Марко, А. Інчікитті, Ф. Капелла, В. Карачіоло, В.В. Кобичев, Г.П. Ковтун, Н.Г. Ковтун, М. Лаубенштейн, В.М. Мокіна, С.С. Нагорний, С. Нісі, Д.В. Пода, Р.Б. Подвіянюк, О.Г. Поліщук, Д. Проспері, Д.А. Солоніхін, Ю.Г. Стенін, Дж. Сухонен, А.В. Толмачов, В.І. Третьяк, Д.М. Черняк, Р. Черулі, В.Н. Шлегель, А.П. Щербань, Р.П. Явецький.....</i>	68
Іонізація різних атомних оболонок при анігіляції позитрона, випущеного в процесі β^+-розпаду	
<i>С.М. Федоткін.....</i>	69
Реакція $^{12}\text{C}(\text{d}, \text{pn})^{12}\text{C}$ ПРИ 56 MeV у дифракційному наближенні	
<i>В.В. Давидовський, А.Д. Фурса.....</i>	70
Розвал дейтрона атомними ядрами з виходом продуктів реакції під малими кутами. «PRIOR»-DWBA-підхід та ефекти другого порядку	
<i>К.О. Теренецький, О.В. Бабак, В.П. Вербицький, О.Д. Григоренко.....</i>	72
Дослідження розпаду збуджених чарівних мезонів	
<i>А.О. Вербицький (від колаборації ZEUS).....</i>	72
Опис пружного (e, D)-розсіяння в наближенні однофотонного + двофотонного обміну	
<i>А.П. Кобушкін, Я.Д. Кривенко-Емєтов.....</i>	73
Реакція $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^7\text{Li})^{18}\text{O}$ та потенціал взаємодії ядер $^7\text{Li} + ^{18}\text{O}$	
<i>С.Ю. Межевич, А.Т. Рудчик, К. Русек, Є.І. Коццій, С. Клічевські, Б. Чех, В.М. Кир'янчук, А.В. Мохнач, А.А. Рудчик, С.Б. Сакута, Р. Сюдак, А. Щурек, Я. Хоїньські, Л. Гловацка.....</i>	74
Дифракційна взаємодія дейтронів з ядрами ^{12}C і ^{16}O	
<i>В.П. Михайлюк, О.Д. Григоренко.....</i>	75
Антисиметризація та потенціал ядерно-ядерної взаємодії	
<i>В.О. Нестеров.....</i>	76
Низькотемпературний сцинтиляційний болометр з кристалом молібдату цинку для пошуку безнейтринного подвійного бета-розпаду ^{100}Mo	
<i>Я.В. Васильєв, Є.М. Галашов, Ф.А. Даневич, В.Я. Дегода, А. Джуліані, І.М. Дмитрук, В.В. Кобичев, В.М. Мокіна, Р. Пікколі, С. Русконі, О.П. Становий, В.І. Третьяк, І.А. Тупіцина, Д.М. Черняк, В.М. Шлегель.....</i>	78
Радіаційні розпади $\text{W}^0 \rightarrow \text{K}^{*0} \gamma$ та $\text{W}^0_s \rightarrow \text{f} \gamma$ в експерименті LHCb	
<i>В.М. Яковенко, О.Ю. Охріменко, В.М. Пугач.....</i>	79
Ефекти проникнення в E1 і E2-загальмованих переходах ^{120}Sn	
<i>І.М. Вишневський, С.С. Драпей, В.О. Желтоножський, А. М. Саврасов.....</i>	80
Вимірювання ізомерних відношень при фотоділенні ^{233}U і ^{241}Am	
<i>І.М. Вишневський, В.О. Желтоножський, А.М. Саврасов.....</i>	80

Випробування прототипних мікροстріпових кремнієвих детекторів для трекової системи експерименту СВМ на пучку протонів 2.4 GeV/c <i>Й. Адамчевський-Муш, Т. Балог, Ю. Васильєв, Ю. Ешке, Б. Кольб, С. Лінев, Г. Малигіна, В. Мюллер, В. Нібуар, Ю. Сорокін, Й. Хойзер</i>	81
Можливі фазові траєкторії в явищі мультифрагментації <i>Л.А. Булавін, В.М. Сисоєв, К. В. Черевко</i>	81
Поляризований електричний дипольний момент у сильно деформованих дзеркально-асиметричних ядрах <i>В.Ю. Денисов</i>	82
Використання циклотрона У-120 у технологіях перспективних трекових мембран з низькою діелектричною проникністю <i>А.Є. Борзаковський, О.В. Жабровець, В.І. Куц, А.Г. Зелінський, В.І. Сахно, К.Г. Гусакова, О.М. Файнлейб, О.П. Григор'єва, О.М. Старостенко, Е. Еспуш, Д. Гранде</i>	83
Подвійний бета-розпад: стан експериментальних досліджень і перспективи <i>Ф.А. Даневич</i>	84

Секція 2. Атомна енергетика

Дослідження впливу допусків при виготовленні ТВЗ ВВЕР на консервативність аналізу перехідних процесів з використанням кодів тривимірної кінетики <i>В.В. Гальченко, Н.М. Рабченко, А.А. Мішин</i>	85
Дослідження по оптимізації геометричних характеристик двозонних підкритичних систем <i>В.О. Бабенко, В.І. Гулік, В.М. Павлович</i>	85
Забезпечення достовірності результатів дозиметрії зразків-свідків і корпусів реакторів ВВЕР <i>В.В. Ількович, В.Л. Дем'юхін, В.М. Буканов</i>	87
Аналіз результатів випробувань зразків-свідків металу корпусу реактора блока № 1 ЗАЕС <i>О.Є. Майборода, Л.І. Чирко</i>	88
Реконструкція та випробування реконструйованих зразків-свідків першого вивантаження металу корпусу реактора енергоблока № 6 ОП «Запорізька АЕС» з обґрунтуванням терміну безпечної експлуатації <i>В.Д. Оцалюк, В.М. Ревка, Ю. В. Чайковський, Л.І. Чирко</i>	89
Умови опромінення внутрішньокорпусних пристроїв реакторів типу ВВЕР <i>С.М. Пугач, В.М. Буканов, О.В. Гриценко, В.Л. Дем'юхін</i>	90
Розподіл часу досягнення заданого рівня числом нейтронів і період реактора <i>В.В. Рязанов</i>	91

Реконструкція як інструмент уточнення стану металу корпусу реактора блока № 2 ЗАЕС	
<i>О.В. Тригубенко, В.М. Ревка, Ю.В. Чайковський, Л.І. Чирко</i>	92
Дослідження на стійкість стаціонарної хвилі ядерних поділів	
<i>В.М. Хотяїнцев, А.В. Аксьонов, В.М. Павлович, О.М. Хотяїнцева</i>	94
Порівняння українського та російського підходів до визначення параметрів окрихчування металу корпусів реакторів	
<i>Л.І. Чирко</i>	95
Дослідження проблем використання радіаційної установки ІЯД НАН України в технологіях нових конструкційних матеріалів в ядерній енергетиці	
<i>І.М. Вишневецький, А.Г. Зелінський, Т.В. Ковалінська, І.А. Остапенко, Д.Т. Пилипець, В.І. Сахно, Н.В. Халова</i>	96
Дослідження хімічного складу металу корпусів реакторів енергоблоків АЕС України	
<i>М.Г. Голяк, С.М. Ковбасенко Л.І. Чирко</i>	97
Впровадження методики вирощування утомних тріщин за допомогою датчика розкриття на реконструйованих зразках-свідках типу COD	
<i>О.В. Петренко, В.М. Ревка, Ю.В. Чайковський, Л.І. Чирко</i>	98

Секція 3. Радіаційна фізика та радіаційне матеріалознавство

Вимірювання доз у протонній терапії за допомогою кремнієвого ріп діода та іонізаційної камери	
<i>І.Є. Анохін, О.С. Зінець</i>	100
Вплив металевих наночастинок на енергетичні спектри та оптичні властивості периферійних фотозбірних LN2 комплексів фотосинтезуючих бактерій	
<i>І.Ю. Голіней, А.В. Верцімаха, Л. Валкунас, В.Й. Сугаков</i>	100
Надалеке поширення електромагнітних хвиль у земній корі	
<i>В.М. Павлович, А.І. Кваснюк</i>	101
Вибивання електронів іонами в металічних стріп-детекторах	
<i>О.Я. Дзюблик, В.Ю. Снівак</i>	103
Проблеми сумісності низькоактивованих конструкційних матеріалів з функціональними рідкометалевими середовищами реакторів синтезу і ділення	
<i>В.П. Цісар, О.І. Єлісєєва</i>	104
Особливості формування розподілу концентрації імплантованих у кристал атомів за межею пробігу	
<i>В.Й. Сугаков</i>	104
Електростатичні пастки для носіїв заряду та екситонів у напівпровідниках із подвійними квантовими ямами	
<i>В.Й. Сугаков, В.В. Томилко, А. А. Чернюк</i>	105

Застосування методу молекулярної динаміки для розрахунку параметрів дифузії атомів Р та Ga у монокристалах фосфіду галію <i>О.В. Конорева, П.Г. Литовченко, М.Б. Пінковська, В.П. Тартачник.....</i>	107
Радіаційні ефекти в кремнії, опроміненому високоенергетичними легкими іонами <i>В.І. Варніна, А.А. Гроза, П.Г. Литовченко, Л. С. Марченко, М.І. Старчик, Г.Г. Шматко.....</i>	108

Секція 4. Фізика плазми

Периферійні ВЧ моди в сильно неоднорідній геліконній плазмі та їхні пондеромоторні властивості <i>М.А. Белошенко, К.П. Шамрай, Ш. Шінохара, Т. Мотомура, Т. Танікава.....</i>	109
Хвильові електричні поля в геліконній плазмі <i>В.Ф. Вірко, В.М. Слободян, Ю.В. Вірко, К.П. Шамрай.....</i>	109
Холлівська МГД теорія спектрів гвинтових коливань циліндричного пінча <i>А.А. Гурин.....</i>	110
Порівняння ефективностей безіткненого нагрівання електронів у плазмі джерел індукційного та геліконного типів <i>А.І. Кобза, К.П. Шамрай.....</i>	111
Удосконалені рівняння низькочастотних коливань тороїдальної плазми та перші результати їхнього застосування <i>Я.І. Колесниченко, Б.С. Лепяк, Ю.В. Яковенко.....</i>	112
Фокусування пучків негативно заряджених частинок плазмовою лінзою <i>І. Літовко, А. Гончаров, С. Дунец, А. Добровольський.....</i>	113
Транспорт швидких іонів під час колапсу пилчастих коливань у плазмі, що нагрівається пучком нейтральних атомів <i>В.В. Луценко, Я.І. Колесниченко, Ю.В. Яковенко, С.М. Мускатело, В.В. Гейдбрінк, М.А. Ван Зіланд.....</i>	114
«Чірпінг» частоти під час спалахів МГД активності плазми <i>В.С. Марченко, С.Н. Резник.....</i>	115
Радіаційні процеси в турбулентній плазмі при параметричному збудженні іонно-циклотронних і дрейфових коливань <i>В.М. Павленко, В.Г. Панченко.....</i>	115
Вплив компонентного складу плазми імпульсних розрядів у рідинах на її властивості <i>П.В. Порицький, П.Д. Старчик.....</i>	116
Визначення потенціалу геліконної плазми термозондом з НЧ модуляцією струму емісії <i>Л.І. Романюк, В.М. Слободян, В.Ф. Вірко.....</i>	116

Збудження “геометричних” верхньогібридних коливань на стадії формування потенціальних ВЧ граничних шарів у замагніченій плазмі	
<i>Т.С. Руденко, К.П. Шамрай, Т. Матсуока, І. Фунакі, Ш. Шінохара.....</i>	118
Геометричні ефекти при розвитку інтенсивної низькочастотної нестійкості в плазмі геліконного джерела з планарною антеною	
<i>В.М. Слободян, Л.І. Романюк, В.Ф. Вірко, К.П. Шамрай.....</i>	118
Плазмове реформування вуглеводнів у плазмово-рідинній системі зі зворотно-вихровим потоком типу торнадо з рідким електродом із додаванням СО₂	
<i>Ол.В. Соломенко, О.А. Недибалюк, В.Я. Черняк.....</i>	120
Застосування узагальнених функцій до визначення симетрії і точних розв’язків рівнянь кінетичної теорії плазми	
<i>В.Б. Таранов.....</i>	121
Синергізм альфвенових нестійкостей через комптонове розсіяння на швидких іонах	
<i>Ю.В. Яковенко, Я.І. Колесниченко, М.Г. Тищенко, Р.Б. Вайт.....</i>	122
Активованій плазмою синтез вуглецевих наноматеріалів з неперервним їхнім виносом з області утворення	
<i>Ю.П. Веремій, В.Я. Черняк, К.В. Юхименко, О.А. Недибалюк.....</i>	123
Збудження низькочастотних азимутальних поверхневих хвиль кільцевими пучками електронів у плазмових хвилеводах	
<i>І.О. Гірка, Я.І. Моргаль.....</i>	123
Властивості плазмово-рідинної системи зі зворотно-вихровим потоком газу типу “Торнадо”	
<i>О.А. Недибалюк, В.Я. Черняк.....</i>	125
Ефективне фокусування акустичних хвиль в імпульсних плазмово-рідинних системах	
<i>С.М. Сидорук, В.Я. Черняк, О.А. Федорович, С.В. Ольшевський, В.В. Юхименко, І.Л. Бабіч.....</i>	126
Оптичні властивості мікророзрядів у повітрі	
<i>Ок.В. Соломенко, В.Я. Черняк, В.В. Лендел, І.В. Присяжневич, В.А. Зражевський.....</i>	126
Особливості поведінки розряду в аерозольному середовищі	
<i>В.В. Юхименко, В.Я. Черняк, С. М. Сидорук, С.М. Буханець, О.А. Федорович.....</i>	127
Експериментальне визначення коефіцієнтів розпаду густої плазми імпульсних розрядів у воді і порівняння з розрахованими по існуючих теоретичних моделях	
<i>О.А. Федорович, Л.М. Войтенко.....</i>	128
Вплив розрядного струму та величини газового потоку на рівень нерівноважності плазми дугового розряду в поперечному потоці повітря	
<i>І.В. Присяжневич, В.Я. Черняк, В.В. Юхименко.....</i>	129
Фундаментальна фізика плазми у термоядерних дослідженнях	
<i>Я.І. Колесниченко.....</i>	130

Секція 4. Радіоекологія та радіобіологія

Генетичні ефекти у дрібних гризунів із радіаційнозабруднених біотопів зони відчуження ЧАЕС	
<i>О.О. Бурдо, А.І. Липська, Т.В. Мельник, В.І. Ніколаєв.....</i>	131
Результати доклінічного дослідження РФП натрію йодид I-131 виробництва ІЯД	
<i>Л.К. Бездробна, В.А. Агеев, І.П. Дрозд, Ю.О. Носач, В.І. Федорченко, О.О. Бурдо, Т.В. Мельник, Т. В. Циганок, Л.В. Тарасенко, О.А. Сова.....</i>	131
Роль гідробіонтів у процесах перерозподілу ¹³⁷Cs по компонентах мілководних ділянок верхньої частини Київського водосховища	
<i>О.М. Волкова, В.В. Беляєв, С.В. Пришляк, О.О. Пархоменко, Т. Черненко.....</i>	132
Перекисні процеси у крові та ККМ щурів за разового введення ¹³¹I	
<i>Ю.П. Гриневич, А.І. Липська, С.В. Телецька, В.В. Посполіта.....</i>	133
Кінетика ¹³¹I в організмі щурів за одноразового надходження	
<i>І.П. Дрозд, А.І. Липська, В.А. Шитюк.....</i>	134
Транзитивний характер радіоадаптивної відповіді	
<i>С.О. Євдокимова, О.М. Міхеев, Л.Г. Овсяннікова.....</i>	135
Дослідження фрагментів паливних частинок, відібраних всередині об'єкта Укриття	
<i>В.А. Желтоножський, М.В. Желтоножська, Н.В. Кулич.....</i>	136
¹³⁷Cs у компонентах Канівського водосховища та водойми-охолоджувача ЧАЕС на сучасному етапі (2010 - 2011 рр.)	
<i>О.Л. Зарубін, В.А. Костюк, Н.Є. Зарубіна, І.А. Малюк, Є.Н. Волкова, В.В. Беляєв, В.В. Канівець, О.О. Заліський.....</i>	137
Параметри накопичення ¹³⁷Cs судаком (<i>Lucioperca Lucioperca</i> (L.))	
<i>О.Л. Зарубін, В.А. Костюк, О.О. Заліський.....</i>	138
Вплив погодних умов на накопичення ¹³⁷Cs вищими грибами	
<i>Н.Є. Зарубіна.....</i>	139
Радіонуклідне забруднення іхтіофауни водойм чорнобильської зони відчуження	
<i>О.Є. Каглян, Д.І. Гудков, В.Г. Кленус, З.О. Широка, О.Б. Назаров.....</i>	140
Оцінка радіаційної та екологічної безпеки придніпровського хімічного заводу	
<i>В.О. Кашипаров, В.К. Кириченко.....</i>	140
Оцінка доз населення зон впливу підприємств ядерного енергетичного циклу від інкорпорованого ³H. Можливі підходи в умовах неповноти інформації	
<i>О.П. Кравець.....</i>	141
Клітинні ефекти при комбінованій дії солей важких металів та іонізуючого випромінювання	
<i>Г.Й. Лавренчук, Д.Д. Гапєєнко, Г. М. Чоботько.....</i>	142
Вплив нейтронозахватних агентів на життєздатність клітин in vitro	
<i>Г.Й. Лавренчук, Ю.Б. Шевченко, В.В. Тришин, Д.Д. Гапєєнко.....</i>	143

Масове опромінення у власних квартирах може залишитись недослідженим	
<i>І.М. Лютий</i>	145
Моніторинг забруднення зернової продукції ⁹⁰Sr в Іванівському районі Київської області	
<i>Л.М. Отрешко, В.О. Кашипаров, С.Е. Левчук, І.М. Малоштан</i>	146
Прогнозування впливу роботи центрів позитронно-емісійної томографії на довкілля	
<i>В.В. Тришин, О.В. Гайдар, І.О. Павленко, О.В. Сваричевська</i>	147
Моніторинг вмісту природних радіонуклідів у поверхневих шарах ґрунту міста Ужгород	
<i>І.С. Потокі, О.О. Парлаг, В.Т. Маслюк, О.І. Лендел</i>	148
Вплив внутрішньоводоймної динаміки водних мас на формування радіонуклідного забруднення вищих водних рослин Київського водосховища	
<i>С.П. Пришляк, О.М. Волкова, В.В. Беляєв, О. О. Пархоменко</i>	149
Сучасний стан і перспективи електрофізичних радіаційних технологій	
<i>В.І. Сахно</i>	150
Зміна профілю метилування ДНК РОСЛИН при індукції, радіоадаптації різними за тривалістю впливами	
<i>Д.О. Соколова, Г.С. Венгсен, О.П. Кравець, Д.М. Гродзинський</i>	151
Вплив попереднього γ-опромінення в нелетальному діапазоні доз на реакції вищої нервової діяльності щурів на стрес	
<i>В.В. Талько, В.В. Варецький, О. Г. Ракочі, Є.В. Тукаленко, М.В. Шелковський</i>	152
Дослідження шляхів адаптації аероіонних технологій до виробництва в'яленої продукції з чорноморських видів риб	
<i>Д.В. Бондаренко, А.Г. Зелінський, Т.В. Ковалінська, Т.К. Лебська, В.І.Сахно, Н. В. Халова</i>	154
Дослідження стану систем антиоксидантного захисту у тварин з перещепленою карциномою герена після попереднього тривалого впливу екзогенних оксидів азоту та малих доз іонізуючої радіації	
<i>О.Б. Ганжа, Л.І. Маковецька, Н.К. Родіонова, М.О. Дружина, В.М. Михайленко</i>	155
Дослідження ефективності використання пікохвильових технологій ІЯД НАН України для виробництва пресервів з прісноводних риб	
<i>А.Г. Зелінський, Т.В. Ковалінська, Т. К. Лебська, Н. В. Голембовська, В. І.Сахно, Н. В. Халова</i>	156
Вплив іонізуючої радіації на вміст альфа-токоферолу та карнітину в сім'яній рідині кролів	
<i>Ю.А. Кондратова, А.В. Клепко, С.В. Андрейченко</i>	157
Комплексний метод видалення радіоіотопів з водних розчинів	
<i>Ю.В. Литвиненко, Ю.Л. Забулонов, В.М. Кадошніков</i>	158
Забезпечення здоров'я та життєдіяльності населення у складних радіоекологічних умовах	
<i>О. В. Азарова, Ю.В. Литвинов, В.І. Паламарчук</i>	159

Дослідження процесів радіаційної модифікації міофібрилярних білків у харчових продуктах	
<i>А.Г. Зелінський, Т.В. Ковалінська, Т. К. Лебська, Т.Маєвська, В.І.Сахно, Н.В. Халова.....</i>	161
Експериментальне дослідження впливу електронного опромінювання на структурно-механічні властивості тканин рапани, восьминогів та кальмарів на радіаційній установці ІЯД НАН України	
<i>А.Г. Зелінський, Т.В. Ковалінська, Т.К. Лебська, К.Міхнева, В.І. Сахно, Н.В. Халова.....</i>	162
Оцінка рівня фрагментації ДНК у тварин з перещепленою карциномою герена після тривалої фракціонованої дії екзогенних оксидів азоту та малих доз іонізуючої радіації	
<i>І.І. Музальов, В.М. Михайленко.....</i>	163
Методика визначення активності β-випромінювачів низької активності чорнобильського походження	
<i>М.Д. Бондарьков, М.В. Желтоножська, А.І. Липська, В.І. Ніколаєв, М.В. Стрільчук.....</i>	164
Стан кровотворної системи тварин в умовах дії малих доз радіації та нітрозативного стресу на різних стадіях росту карциноми герена	
<i>Н.К. Родіонова, Б.І. Геращенко, Л.І. Маковецька, О.Б. Ганжа, Н.М. Рябченко, О.А. Главін, В.М. Михайленко.....</i>	164
Особливості клітинної біоенергетики лімфоцитів периферичної крові у дітей-мешканців радіоактивно забруднених територій	
<i>Є.І. Степанова, О.М. Литвинець.....</i>	165
Оцінка ефективності біоантиоксидантів тваринного і рослинного походження для корекції стану прооксидантно-антиоксидантної системи в різних органах щурів при дії іонізуючої радіації	
<i>Н.О. Фролова, Л.П. Дерев'яно.....</i>	166
Радіоекологічний моніторинг доз внутрішнього опромінення населення в зоні посиленого радіоекологічного контролю та моделювання радіогенних ефектів внутрішнього опромінення організму (¹³⁷Cs) в експерименті	
<i>Г.М. Чоботько, Ю.М. Пісковий, Л.А. Райчук.....</i>	167
Основні джерела надходження радіонуклідів у рослинницьку продукцію приватних господарств зони посиленого радіоекологічного контролю Київської області	
<i>Г.М. Якименко, Г.П. Паньковська, В.М. Кучма, Г.М. Чоботько.....</i>	169
Ідентифікація середньовічного лікарського засобу, визначення часу та регіону його походження	
<i>С.О. Воронов, Т.І. Довбуш, Л. Іоаннучі, С.С. Нагорний, С. Нісі, М.Й. Поволоцький, С.М. Романенко, В.В.Скрипник, Л.М. Степанюк.....</i>	170
Розробка технологій та організація виробництва радіофармацевтичних препаратів в Інституті ядерних досліджень НАН України	
<i>В.А. Агєєв, Л.К. Бездробна, І.М. Вишневський, В.В. Тришин, В.М. Шевель.....</i>	171

Радіопротекторні властивості гумату натрію в <i>Allium</i>-тесті	
<i>В.М. Шкарупа</i>	173
Цитогенетичні ефекти в лімфоцитах периферичної крові осіб, які зазнали дії іонізуючої радіації внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС і захворіли на рак щитоподібної залози	
<i>Л.В. Неумержицька, В.М. Шкарупа, С.В. Клименко, Ю.В. Антоненко</i>	174
Динаміка вільнорадикальних процесів у тварин з карциномою герена після тривалого впливу оксидів азоту та іонізуючого випромінювання	
<i>Л.І. Маковецька, О.Б. Ганжа, Н.К. Родіонова, М.О. Дружина, В.М. Михайленко</i>	175

Тези доповідей з ядерної фізики

НАПІВКЛАСИЧНЕ ДИСПЕРСІЙНЕ РІВНЯННЯ ДЛЯ ПАРНИХ ВІБРАЦІЙ У ВАЖКИХ ЯДРАХ

В. І. Абросімов¹, Д. М. Брінк², А. Деллафіоре³, Ф. Матера²

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Оксфордський університет, Оксфорд, Великобританія*

³ *Національний інститут ядерної фізики, Флоренція, Італія*

ПОЛУКЛАСИЧЕСКОЕ ДИСПЕРСИОННОЕ УРАВНЕНИЕ ДЛЯ ПАРНЫХ ВИБРАЦИЙ В ТЯЖЕЛЫХ ЯДРАХ

В. И. Абросимов¹, Д. М. Бринк², А. Деллафиоре³, Ф. Матера³

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Оксфордський університет, Оксфорд, Великобританія*

³ *Національний інститут ядерної фізики, Флоренція, Італія*

Для изучения эффектов парного взаимодействия (спаривания) в конечных ферми-системах рассмотрен изоскалярный отклик нормальной плотности. Используется решение полуклассических уравнений движения зависящей от времени теории Хартри-Фока-Боголюбова в линейном приближении, в котором учитываются самосогласованные колебания парного поля. Флуктуации парного поля определяются условиями самосогласования, а статическое парное поле аппроксимируется феноменологической константой.

Полученная функция отклика плотности имеет два дополнительных члена, которые генерируются действительной и мнимой частями флуктуации парного поля и определяют дополнительные (новые) полюса функции отклика. Найдено дисперсионное уравнение для коллективных мод, связанных с парным взаимодействием, решения которого дают дополнительные полюса функции отклика. Решение дисперсионного уравнения рассмотрено для простой модели, в которой ядро представляется как система нуклонов в сферической полости, характеризуемой параметрами (размер, плотность, энергетическая щель) типичными для тяжелых ядер. Найдено, что в области низких частот дисперсионное уравнение имеет приближенное решение при частоте, соответствующей удвоенной энергетической щели, для монопольного и квадрупольного каналов.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВАЖКИХ КВАРКІВ І СТРУКТУРИ ПРОТОНА НА КОЛАЙДЕРІ HERA

В. Є. Аушев

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

HERA – унікальний, єдиний в світі електрон-протонний колайдер, на якому проводяться дослідження внутрішньої структури протона із надзвичайно високою точністю. В звичайних умовах протон складається із легких u та d кварків із невеликими домішками віртуального s кварка. Для зіткнень при високих енергіях, які досягаються на HERA, спостерігається продукування важких c та b кварків із масами більшими, ніж маса протона, які починають грати важливу роль. В колайдерних експериментах ZEUS і H1 одержано функцію розподілу протонів (PDF), що обчислюється завдяки розробленому формалізму HERAPDF 1.5 із значно покращеною точністю $\sim 1 - 2\%$ для низьких Q^2 . Універсальність PDF передбачає, що за її допомогою можна описувати інші процеси за участю протонів, зокрема, протон-протонні зіткнення на колайдері LHC в ЦЕРН. Також в колайдерних експериментах на HERA виміряно вклад c та b кварків в протонну структурну функцію F_2 , що добре погоджується із розрахунками квантової хромодинаміки КХД. Вимірювання диференціальних перерізів народження адронних струменів на HERA є важливими для досліджень сильної взаємодії та теорії, що її описує - КХД. Зокрема вони дозволяють обчислити константу сильної взаємодії α_s . Значення α_s , вимяряні різними способами на HERA, добре узгоджуються між собою.

ПРУЖНЕ dd - і $dt(d^3\text{He})$ -РОЗСІЯННЯ ПРИ ЕНЕРГІЯХ $12 < E_d < 100$ MeV

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

(Цикл робіт)

Кутові розподіли пружно розсіяних дейтронів ядрами дейтерію та тритію при енергії $E_d = 36.9$ MeV було отримано на прискорювачі У-240 ІЯД НАН України. Проведено аналіз експериментальних кутових залежностей пружно розсіяних дейтронів у dd - і $dt(d^3\text{He})$ -зіткненнях у діапазоні енергій $12 < E_d < 100$ MeV. Розглянуто характерні особливості енергетичної залежності розподілів. У кутових dd - розподілах зі збільшенням енергії $E_d > 15 - 20$ MeV починає з'являтися додаткова структура: мінімум під кутом $\theta_{cm} \sim 60^\circ$ і щирокій вторинний максимум під кутом $\theta_{cm} \approx 90^\circ$. У пружному dt -розсіянні інтенсивний вторинний максимум спостерігається при

низьких енергіях. Зі збільшенням енергії відбувається деструктування кутових розподілів. В діапазоні кутів $60^0 \leq \theta_{ц.м.} \leq 140^0$ поступово зникає вторинний максимум.

Аналіз пружного dd - і $dt(d^3He)$ -розсіяння було проведено в межах дифракційних моделей як з урахуванням нуклонної структури ядер, що зіткнуться, так і без урахування, тобто зіткнення двох безструктурних кульок. При теоретичній інтерпретації кутових dd -розподілів враховано тотожність дейтронів, яка природним шляхом пояснює спостережену симетрію диференціальних перерізів відносно $\theta_{ц.м.} = 90^0$.

З використанням дифракційної моделі, що враховує нуклону структуру ядер, досягнуто кількісне узгодження даних пружного dd - і $dt(d^3He)$ -розсіяння для кутів $\theta_{ц.м.} \leq 60^0$ в енергетичному діапазоні $12 < E_d < 10$ МеВ. Структурні особливості кутових dd - та $dt(d^3He)$ -розподілів удалося якісно пояснити в межах квазікласичного наближення. Показано, що для dd - і dt -розсіяння інтерференція класичної та дифракційної амплітуд при енергіях $E_d < 37$ Мев значна за величиною і якісно пояснює поведінку перерізів при низьких енергіях. Розрахунки з дифракційною амплітудою якісно описують dd - та d^3He -перерізи при енергіях $E_d \geq 37$ МеВ та кількісно - вторинний максимум в пружному dd -розсіянні.

1. О.О. Белюскіна, В.І. Гранцев, В.В. Давидовський та ін. // УФЖ. - 2009. - Т. 54, № 7 - С. 658 - 668.
2. О.О. Belyuskina, V.I. Grantsev, V.V. Davidovskyy et al. // Problems of Atomic Science and Technology. - 2009. - No. 5 (63). - P. 17.
3. О.О. Belyuskina, V.I. Grantsev, V.V. Davidovskyy et al. // Problems of Atomic Science and Technology. - 2011. - No. 5. - P. 10 - 15.
4. О.О. Белюскіна, С.В. Бердниченко, В.І. Гранцев та ін. // Ядерна фізика та енергетика. - 2007. - № 3(21). - С. 54 - 59.

НОВІ РЕЗУЛЬТАТИ З RHIC ТА LHC З УЛЬТРАРЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ЗІТКНЕНЬ ВАЖКИХ ІОНІВ

М. С. Борисова

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

З проведенням перших зіткнень пучків іонів свинцю на Великому адронному колайдері (LHC) у листопаді 2010 р. розпочалася нова ера в області релятивістської фізики важких іонів. У цій доповіді буде висвітлено основні результати експериментальних вимірювань Pb-Pb зіткнень з енергією 2,76 ТеВ / нуклон на LHC. Також, обговорюватимуться останні експериментальні дані з колайдера релятивістських іонів (RHIC) для зіткнень ядер золота з енергією 200 ГеВ / нуклон. Одночасний розгляд даних, отриманих на LHC та RHIC, дозволяє по-новому поглянути на властивості і особливості нової гарячої та щільної форми матерії, створеної

в результаті зіткнень релятивістських важких іонів.

Буде розглянуто нові результати, отримані колаборацією ALICE з перших зіткнень важких іонів на LHC, а також останні експериментальні дослідження колаборацій STAR та PHENIX: порівняння адронних спектрів та інтерферометричних радіусів, поведінку еліптичних потоків, двочастинкових кутових кореляцій для енергій RHIC та LHC.

Потужний потік експериментальних даних спричинює сплеск у теоретичних дослідженнях. Зокрема, в роботі буде представлено оригінальні дослідження впливу початкових умов на спостережувані величини [1] в рамках гідро кінетичного підходу [2].

1. Borysova M.S., et. al., Nuclear Physics and Atomic energy. **11**, N3, 269 (2010).
2. Akkelin S.V., et. al., Phys. Rev. C **78**, 034906 (2008).

УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ДОМШКОВИХ АТОМІВ ТА ДЕФЕКТІВ У МОНОКРИСТАЛАХ

А. О. Внученко, А. Б. Крамченков, В. Л. Денисенко

Інститут прикладної фізики НАН України, Суми

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ И ДЕФЕКТОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ

А. А. Внученко, А. Б. Крамченков, В. Л. Денисенко

Інститут прикладної фізики НАН України, Суми

Все реальные твердые тела содержат дефекты структуры, нарушающие периодичность пространственного расположения атомов. Влияние дефектов на свойства кристаллов чрезвычайно разнообразно. Оно определяется характером сил связи в кристаллах, их энергетической структурой.

Для получения структурных данных о кристаллах используются методы каналирования и обратного рассеяния. Эти методы позволяют определять местоположение примесных и смещенных атомов, исследовать фонные аномалии в кристаллах, получать профили радиационных повреждений и т.д. [1].

При зондировании кристалла пучком заряженных частиц вдоль основных кристаллографических осей или плоскостей можно определить местоположение примесного атома или дефекта, т.е. определить находится ли он в узле кристаллической решетки или в междоузлии и где именно. Такая возможность возникает вследствие эффекта перераспределения плотности потока каналированных частиц. А именно, при движении частиц вдоль кристаллографического направления максимум плотности потока возникает в центре канала, а минимум на его периферийной части (т.е. вблизи атомных цепочек или плоскостей). Наблюдая ориентационные эффекты

выхода обратно рассеянных частиц, можно получать прямую информацию о местоположении примесных атомов и точечных дефектов в кристаллической решетке.

Наиболее используемым методом исследования местоположения и профилей дефектов является обратное рассеяние в комбинации с каналированием и блокировкой. Для получения информации измеряется спектр деканалирования и угловой профиль теней. В ситуации с внедренными посторонними атомами, отличающимися от атомов основной решетки, рассеяние от них выделяется на общем фоне методами NRA, PIXE, а также разделением спектров RBS/C в случае тяжелой примеси. Измеряя минимальный выход отдельно от решетки и от растворенных атомов вдоль различных каналов, можно просто установить межузельные позиции растворенных атомов. Но регистрация продуктов резонансных ядерных реакций или характеристического рентгеновского излучения наряду с обратным рассеянием позволяет не только разделить вклады в обратное рассеяние от различных компонент сплава, но и с более высокой точностью определить профиль дефектов [2].

Подходящий пример использования этой методики в применении к водородосодержащим сплавам переходных металлов содержится в [3]. Определение местоположения водорода и его изотопов в решетках этих сплавов важно как с фундаментальной, так и прикладной точек зрения, так как обеспечивает основу понимания диффузионных свойств гидридов переходных металлов, применяющихся в ядерной энергетике.

Особое место в методике определения местоположения примесных атомов занимают измерения с внедренными радиоактивными изотопами. По сравнению с RBS/C-В главное преимущество современной модификации этого метода состоит в комбинации его с измерениями сверхтонкого ядерного взаимодействия, чувствительного к деталям кулоновского взаимодействия примеси с окружающими атомами. Речь идет о комбинации эффекта каналирования с эффектами Мессбауэра (МЕ) [4] и эффектом возмущенной угловой корреляции γ -квантов (РАС).

В Институте прикладной физики НАН Украины в настоящее время ведется разработка оборудования для исследования местоположения примесных атомов и дефектов в монокристаллах. Установка разрабатывается на основе канала ядер отдачи [5] аналитического ускорительного комплекса (АУК) на базе компактного электростатического ускорителя с энергией ионов до 2 МэВ [6].

Для проведения экспериментов по каналированию ионов камера рассеяния канала ядер отдачи будет оснащена прецизионным автоматизированным гониометром, на головке которого будут закреплены образцы для исследования, и кремниевым поверхностно-барьерным детектором.

1. Ван Флек Л. Теоретическое и прикладное материаловедение. М.: Атомиздат, 1975.

2. Рябов В.А. Эффект каналирования. - М.: Энергоатомиздат, 1994.
3. Naramoto H., Kawatsura K., Sataka M. et al. // Nucl. Instrum. Meth. - 1988. - Vol. B33.
4. Hofsess H. // Nucl. Instrum. Meth. - 1986. - Vol. B13. - P. 71 - 75.
5. А.Б. Крамченков, В.Е. Сторижко, А.А. Дрозденко, В.Л. Денисенко, Х.Д. Карстаньен // Наука та інновації. - 2010. - Т. 6, № 5.
6. В.Е. Сторижко, А.А. Дрозденко, В.И. Мирошніченко, А.Г. Пономарев // Тр. XVI Междунар. конф. по электростатическим ускорителям и пучковым технологиям. - Обнинск: ГНЦ РФ ФЭИ, 2007.

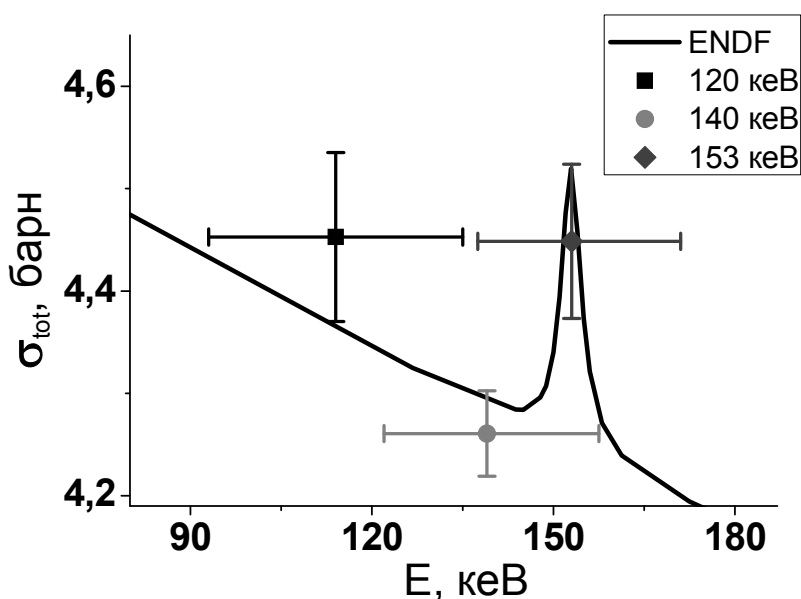
ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕРІЗІВ ВУГЛЕЦЮ В ОБЛАСТІ ЕНЕРГІЇ 90 - 160 кеВ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКОВАНИХ ФІЛЬТРОВАНИХ ПУЧКІВ НЕЙТРОНІВ

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Дана робота присвячена огляду результатів вимірів, проведених на експериментальному горизонтальному каналі ГЕК-9 реактора ВВР-М, а саме вимірів перерізів взаємодії нейтронів з ядрами природного вуглецю в області енергії 90 - 160 кеВ. Для виділення з білого реакторного спектру нейтронів в даному діапазоні енергії використовувалась фільтруюча збірка зі складом, представленим у таблиці. Такий склад фільтру дозволяє отримати нейтронний пучок з трьома квазімоноенергетичними лініями з середніми енергіями 120, 140 та 153 кеВ.

Компоненти фільтра (г/см ²)			
¹⁰ B	¹¹ B	Si _{нат}	⁵⁴ Fe
0.2	0.035	213.43	77.45



У дослідженнях було проведено дві серії вимірів, в яких використано 5 зразків вуглецю з концентрацією в межах 0.00884 0 0.18281 ядер/барн. У ході обробки результатів вимірювань було доопрацьовано спеціальний метод обробки експериментальних спектрів з декількома квазімоноенергетичними лініями, який включає відновлення спектрів нейтронів, енергетичне калібрування, розділення ліній та визначення їх відносних інтенсивностей у спектрі.

Попередні результати, отримані з однієї серії вимірів представлені на рисунку. Проведено порівняння отриманих експериментальних значень з даними бібліотеки експериментальних ядерних даних EXFOR.

ЗВ'ЯЗАНІ КАНАЛИ І СТРУКТУРА ХВИЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ДЕЙТРОНУ

I. I. Гайсак, В. І. Жаба, Р. Й. Балог

Ужгородський національний університет, Ужгород

Із підручників по квантовій механіці добре відомо, що асимптотика радіальної хвильової функції з визначеним орбітальним моментом L має вид $u(r) \sim r^{L+1}$. В даній роботі показано, що на відміну від одиночного рівняння Шредінгера, у випадку двох зв'язаних рівнянь, що має місце для дейтрону, асимптотика радіальних компонент хвильової функції (S - і D - компоненти) в початку координат ($r \rightarrow 0$) визначається не тільки орбітальним числом L , а і характером поведінки тензорної частини потенціалу нуклон-нуклонної взаємодії. Врахування даного факту усуває надлишкові вузли хвильової функції як в конфігураційному, так і в імпульсному представленнях (хвильові функції з такими вузлами наводяться в багатьох публікаціях по вивченню різноманітних характеристик дейтрона). Характер поведінки конфігураційної хвильової функції в початку координат відображає високоімпульсну компоненту дейтрона.

Наведено чисельний алгоритм побудови незалежних та часткового рішення крайової задачі для системи зв'язаних диференціальних рівнянь. Розглядається хвильова функція дейтрону для сингулярного в нулі потенціалу Юкави та несингулярного потенціалу Ріда.

ПРУЖНЕ ТА НЕПРУЖНЕ РОЗСІЯННЯ ЯДЕР ${}^7\text{Li} + {}^{14}\text{N}$

А. Т. Рудчик¹, О. В. Геращенко², А. А. Рудчик¹, Є. І. Кощій³,
 С. Клічевскі⁴, К. Русек⁵, С. Ю. Межевич¹, В. А. Плюйко²,
 О. А. Понкратенко¹, Вал. М. Пірняк¹, А. П. Ільїн¹, В. В. Улещенко¹,
 Р. Сюдак⁴, Я. Хоїньскі⁶, Б. Чех⁴, А. Щурек⁴

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

³ Харківський національний університет, Харків

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

⁵ Національний інститут ядерних досліджень, Варшава, Польща

⁶ Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

Отримано нові експериментальні дані диференціальних перерізів пружного та непружного розсіяння іонів ${}^{14}\text{N}$ ядрами ${}^7\text{Li}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^{14}\text{N}) = 80$ МеВ. Експеримент проведено на Варшавському циклотроні С-200Р.

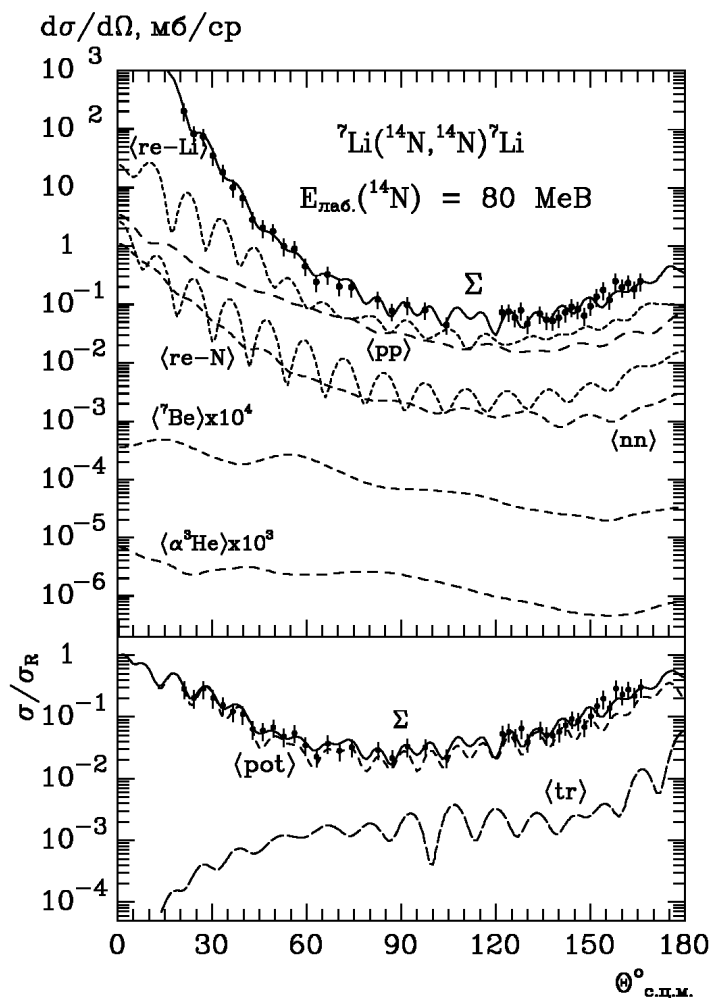


Рис. 1. Диференціальні перерізи пружного розсіяння іонів ${}^{14}\text{N}$ ядрами ${}^7\text{Li}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^{14}\text{N}) = 80$ МеВ. Криві – МЗКР-розрахунки.

Експериментальні дані проаналізовано за оптичною моделлю (ОМ) та методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР) із включенням у схему зв'язку каналів пружного й непружного розсіяння, процесу реорієнтації спінів ядер ${}^7\text{Li}$ і ${}^{14}\text{N}$ в основних та збуджених станах, а також найбільш важливих реакцій передач.

Визначено параметри потенціалу взаємодії ядер ${}^7\text{Li} + {}^{14}\text{N}$ в основних та збуджених станах, а також параметри деформації цих ядер.

Отримано відомості про внески реакцій одно- та двоступінчастих передач у диференціальні перерізи пружного й непружного розсіяння ядер ${}^7\text{Li} + {}^{14}\text{N}$. Установлено, що пружне розсіяння іонів ${}^{14}\text{N}$ на малі та середні кути обумовлено, в основному, потенціальним розсіянням (крива $\langle\text{pot}\rangle$), а в розсіяння на великі кути помітні внески дають процеси реорієнтації ядер ${}^7\text{Li}$ і ${}^{14}\text{N}$ (криві $\langle\text{re-Li}\rangle$ і $\langle\text{re-N}\rangle$). Реакції передач (крива $\langle\text{tr}\rangle$) не відіграють помітної ролі як у пружному, так і непружному розсіянні цих ядер. Дані непружного розсіяння ядер ${}^7\text{Li} + {}^{14}\text{N}$ для низькоенергетичних рівнів задовільно описуються МЗКР-перерізами для колективних збуджень цих ядер.

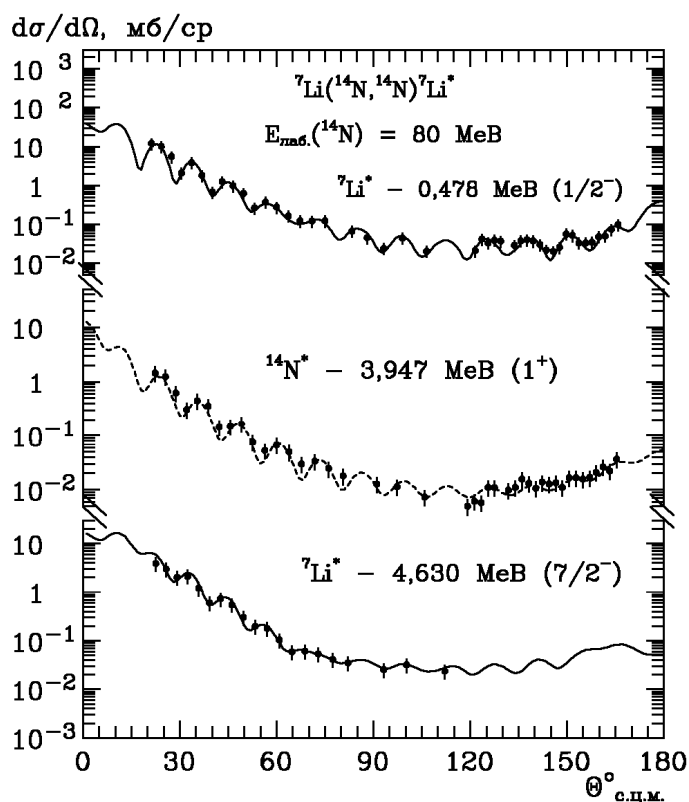


Рис. 2. Диференціальні перерізи непружного розсіяння іонів ${}^{14}\text{N}$ ядрами ${}^7\text{Li}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^{14}\text{N}) = 80 \text{ MeV}$.

Криві – МЗКР-розрахунки для колективних збуджень ядер.

ІЗОМЕРНІ ВІДНОШЕННЯ ДЛЯ ЯДЕР-ПРОДУКТІВ РЕАКЦІЙ $^{121}\text{Sb}(\gamma, 3n)^{118\text{m.g}}\text{Sb}$ ТА $^{121}\text{Sb}(\gamma, 5n)^{116\text{m.g}}\text{Sb}$

Я. О. Безшийко¹, О. М. Водін², Л. О. Голінка-Безшийко¹,
А. М. Довбня², І. М. Каденко¹, В. В. Крилов¹, В. А. Кушнір³,
В. В. Мітроченко³, С. М. Олійник², Г. Е. Туллер²

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

² Інститут фізики високих енергій та ядерної фізики ННЦ ХФТІ, Харків

³ НДК «Прискорювач» ННЦ ХФТІ, Харків

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

Нами було проведено вимірювання ізомерних відношень для ядра $^{118\text{m.g}}\text{Sb}$ – продукту фотоядерної реакції $^{121}\text{Sb}(\gamma, 3n)^{118\text{m.g}}\text{Sb}$ для максимальної енергії гальмівних гамма-квантів 38 та 43 МеВ. Було також експериментально визначено ізомерні відношення для ядра $^{116\text{m.g}}\text{Sb}$ – продукту фотоядерної реакції $^{121}\text{Sb}(\gamma, 5n)^{116\text{m.g}}\text{Sb}$ для максимальної енергії гальмівних гамма-квантів 53 МеВ. Опромінення проводилося γ -квантами гальмівного спектру лінійного прискорювача електронів НДК «Прискорювач» ННЦ ХФТІ ЛУ-40 з танталовою мішенню товщиною 1,05 мм. Енергетична роздільна здатність пучку електронів була не гірше 1 % при середньому струмі до 5 мкА. Величина ізомерного відношення виходів для ядра $^{118\text{m.g}}\text{Sb}$ – продукту фотоядерної реакції $^{121}\text{Sb}(\gamma, 3n)^{118\text{m.g}}\text{Sb}$ складає $0,15 \pm 0,01$. Величина ізомерного відношення виходів для ядра $^{116\text{m.g}}\text{Sb}$ – продукту фотоядерної реакції $^{121}\text{Sb}(\gamma, 5n)^{116\text{m.g}}\text{Sb}$ складає $1,29 \pm 0,07$ для максимальної енергії гамма квантів 53 МеВ.

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

1. A.J.Koning, S.Hilaire, M.C.Duijvestijn. TALYS: Comprehensive nuclear reaction modeling // AIP Conf. Proc. Vol. 769. - P. 1154 - 1159. <http://www.talys.eu>.

ГУСТИНА ЗБУДЖЕНИХ СТАНІВ АТОМНИХ ЯДЕР: ВПЛИВ КОЛЕКТИВНИХ СТАНІВ, ТЕСТУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ В РОЗРАХУНКАХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ

В. А. Плюйко^{1,2}, О. М. Горбаченко¹, В. М. Бондар¹, М. М. Зьолко¹

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Врахування колективних станів суттєво впливає на значення густини ядерних рівнів і тому на розраховані значення спостережних характеристик ядерних реакцій [1]. В даній роботі порівнюються різні феноменологічні методи [2 - 5] обчислення коефіцієнтів K_{vibr} , K_{rot} зміни густини рівнів атомних ядер за рахунок вібраційних та ротаційних станів, а саме для вібраційних станів аналізуються: параметризація з затухаючими числами заповнення [2]; метод функції відгуку [3]; метод, який базується на статистичній сумі бозонів з усередненими числами заповнення (K_{BAN}) [4]; метод, за моделлю рідкою краплини, що використовується в коді EMPIRE-3 [5]. Враховувалися квадрупольні та октупольні вібраційні стани. В деформованих ядрах також враховувалось ротаційне підсилення густини ядерних рівнів [1, 2].

Експериментальні оцінки значень $K = K_{vibr}K_{rot}$ знаходилися з використанням при розрахунку внутрішньої густини рівнів ядер узагальненої надплинної моделі (GSM) [2, 6]. Була виконана підгонка параметрів в моделі GSM, реалізованої в коді EMPIRE, по кумулятивній сумі рівнів та відстанями між нейтронними резонансами для 296 атомних ядер. Отримана таблиця значень параметрів та їх систематики. Продемонстровано, що параметризація K_{BAN} найкраще описує коефіцієнт зміни густини рівнів. Дана параметризація також гарно узгоджується з оцінками коефіцієнту зміни густини рівнів за рахунок вібраційних станів в рамках мікроскопічного підходу за квазічастинково-фононою моделлю [7].

Проаналізована чутливість розрахунків перерізів реакцій (n , γ) до різних виразів для густин рівнів та впливу колективних ефектів.

1. R. Capote, et al. // Nuclear Data Sheets, 2009, V. 110, P. 3107 - 3214.
2. A.V. Ignatyuk, et al. / Phys. Rev., 1993, C47, 1504.
3. V.A. Plujko, O.M. Gorbachenko // УФЖ. 2003, 48, 790; AIP Conference Proc., 2005, 79, 1124; 36. наук. праць Ін-ту ядерних досл., 2005, № 2. P. 17-29; Ядерна фізика та енергетика, 2006, № 2(18), 48.
4. V.A. Plujko, et al. // Phys. At. Nucl., 2007, 70, 1643; Int. Journ. Mod. Phys. E. 2007, 16, 570.
5. M. Herman, et al. // Nuclear Data Sheets, 2007, 108, 2655.
6. М.И. Свирич // ЭЧАЯ, 2006, 37, 901.
7. A.I. Vdovin, et al. // ЭЧАЯ, 1976, 7, 952.

ВИЗНАЧЕННЯ ПОВНИХ НЕЙТРОННИХ ПЕРЕРІЗІВ Cr-52 ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ЗСУВУ СЕРЕДНЬОЇ ЕНЕРГІЇ НЕЙТРОНІВ ФІЛЬТРОВАНОГО ПУЧКА

О. О. Грицай¹, А. К. Гримало¹, В. В. Колотий¹,
В. А. Пшеничний², В. М. Венедиктов¹, В. П. Шахов¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ
² Державний науково-інженерний центр
систем контролю та аварійного реагування, Київ

У доповіді буде представлено результати вимірів повного нейтронного перерізу Cr - 52, які було отримано для енергій нейтронів від 58,6 кеВ до 48,4 кеВ. Експериментальні дослідження було проведено на ГЕК-8 реактора ВВР-М на установці куткових розподілів (УКР-3) [1].

Для формування квазімоноенергетичної нейтронної лінії з середньою енергією 58.9 кеВ було використано композиційний фільтр з наступним складом:

$$\begin{aligned} S - 116,53 \text{ г/см}^2, \text{}^{58}\text{Ni} - 81,42 \text{ г/см}^2, V - 24,44 \text{ г/см}^2, \\ Al - 5,4 \text{ г/см}^2, \text{}^{10}\text{B} - 0,5 \text{ г/см}^2. \end{aligned}$$

Для зміни середньої енергії фільтрованих нейтронів було використано метод зсуву енергії нейтронів за рахунок залежності енергії розсіяних нейтронів від кута розсіяння. В якості зразків-розсіювачів використовувались вуглець та поліетилен, що дозволило отримати при кутах розсіяння 15, 20 та 25⁰ нейтронні лінії з середніми енергіями 58,6, 58,3, 58 кеВ та 55, 52, 48,4 кеВ відповідно.

Отримані експериментальні дані було порівняно з перерізами, представленими в бібліотеці оцінених ядерних даних ENDF/B - VII, для чого повні нейтронні перерізи Cr - 52 з ENDF/B – VII були усереднені по спектрах нейтронів.

1. O.O. Gritzay, A.K. Grymalo, V.V. Koloty, O.O. Mityushkin, V.P. Shachov, V.M. Venedyktov. Research of Isolated Resonances Using the Average Energy Shift Method for Filtered Neutron Beam // Proc. of the 3rd Int. Conf. "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy" (June 7 - 12, 2010, Kyiv, Ukraine). - P. 483.

СХЕМА ВИЗНАЧЕННЯ АМПЛІТУДИ ТА ФОРМИ СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ШВИДКИХ АЦП ТА ПРОГРАМОВАНОЇ ЛОГІКИ FPGA

**А. А. Громлюк, О. А. Безшийко, Л. О. Голінка-Безшийко,
І. М. Каденко, В. В. Крилов**

Цифрові методи обробки сигналів все частіше використовуються в експериментальній фізиці. При цьому основною метою є оцифрування досліджуваного сигналу на ранніх стадіях його формування та подальша цифрова обробка з використанням потужних швидких схем програмованої логіки для фільтрації сигналів, покращення відношення сигнал/шум, аналізу форми сигналу, визначення його амплітуди тощо. Оскільки для більшості детекторів іонізуючого випромінювання характерною є тривалість сигналів від одиниць до сотень наносекунд, тактова частота оцифрування сигналів бути не меншою за 100 МГц, а для забезпечення достатньо складного аналізу сигналів в он-лайн режимі необхідно застосування швидкої програмованої логіки з внутрішньою пам'яттю та великими ресурсами для логічних операцій, наприклад, мікросхем FPGA.

У даній роботі представлено розробку універсальної плати для аналізу сигналів з детекторів іонізуючого випромінювання для забезпечення роботи режиму багатоканального аналізатора імпульсів з цифровою обробкою сигналу та цифрової схеми розділення сигналів за формою імпульсів (n - α - γ розділення для сцинтиляційних детекторів). Для оцифрування сигналу використовується двоканальний 12 бітний АЦП (AD9613BCPZ-170-N) із частотою 170 МГц, при цьому один сигнал проходить через лінію затримки, інший підсилюється швидким регульованим підсилювачем, швидка програмована логіка забезпечується за рахунок використання мікросхеми FPGA Xilinx Spartan 3 (XC3S400-4PQ208C), складна обробка даних і обмін із зовнішніми комп'ютерними системами через інтерфейси 100 Mb Ethernet, USB 2.0 HS та RS-232 забезпечується 32-розрядним мікроконтролером ARM Cortex M3 100 МГц (STM32F207VET6). Функціональний генератор сигналу на основі швидкого (250 Msps) двоканального 12 бітного ЦАП (AD9745BCPZ-N) та FPGA Xilinx Spartan 3 (XC3S50-4TQ144C) призначено для тестування та контролю функціонування плати (електроніки та програмного забезпечення). Проаналізовано тестові дані роботи складових системи в режимі багатоканального аналізатора імпульсів.

РАСПАД ИЗОМЕРОВ, ИНДУЦИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

А. Я. Дзюблик

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Рассматривается возможность ускорения распада ядерных изомеров при электронных переходах, индуцированных рентгеновскими фотонами (NEET). Считается, что рентгеновские фотоны выбивают электрон из внутренней оболочки атома, затем происходит заполнение вакансии при переходе другого электрона с вышележащего уровня, сопровождающийся передачей энергии ядру. Ядро, переходя в промежуточное возбужденное состояние, может уже распасться по другой ветви.

Обсуждается возможность триггирования изомера $^{178}\text{Hf}^{\text{m}2}$ при NEET на L_3 оболочке атома. Коллинс и др. именно этот механизм предлагали в качестве объяснения своих результатов по ускорению распада изомера гафния рентгеновскими фотонами. Наши расчеты показывают, что теоретическое значение вероятности NEET на $^{178}\text{Hf}^{\text{m}2}$ меньше значения Коллинса как минимум на 2 порядка. Анализируются возможные варианты схемы распада промежуточного уровня гафния, минуя изомерный уровень.

ОНОВЛЕННЯ МЕТОДИК ВИМІРЮВАНЬ НА ПУЧКУ ТАНДЕМА ЕГП-10К З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВОЇ ТЕХНІКИ

І. П. Дряпаченко¹, В. Є. Ковтун², Е. М. Можжухін¹, В. В. Осташко¹,
Ю. М. Павленко¹, О. І Рундель¹, А. Ф. Шаров¹

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Національний університет ім. В. Н. Каразіна, Харків*

Протягом останніх десяти років на виведеному пучку тандема проводились експерименти та вимірювання з реєстрацією продуктів пружного розсіювання та ядерних реакцій, ініційованих прискореними іонами водню – протонами та дейтронами. Всі експериментальні дані були отримані з використанням універсальної багатоканальної установки, яка дозволяє реєструвати інклюзивні та ексклюзивні спектри різноманітних продуктів (заряджених частинок, нейтронів, γ -квантів) за допомогою комп'ютеризованої методики накопичення, сортування та запису багато параметричної статистичної інформації. Останнім часом реалізується програма оптимізації та прямого покращення характеристик прискорювача, перш за все стосовно енергії та інтенсивності виведеного пучка. Одночасно вдалося створити нові можливості, як для прийому пучка прискорювача (додаткові ділянки іонопроводу та реакційні камери), так й для обробки експериментальних даних – фактично, реанімувати вимірювальний центр попереднього одно-

каскадного прискорювача ЕГ-5. В даній роботі мова йде про створені нові умови для проведення експериментів на виведеному пучку, використані новітні пристрої діагностики цього пучка та реєстрації й відображення отриманих даних з використанням сучасної цифрової техніки.

НОВИЙ ВУЗОЛ ОПРОМІНЕННЯ ЗРАЗКІВ НА ЦИКЛОТРОНІ У-120

А. Є. Борзаковський, О. В. Жабровець, В. І. Куц, В. О. Рилошко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

На циклотроні У-120 створений новий вузол опромінення зразків для цілей вивчення високозбуджених станів ядер, дослідження виходів реакцій на пучках прискорюваних іонів, модифікації матеріалів, дослідження виходів реакцій на пучках прискорюваних іонів, напрацювання радіонуклідів і таке інше.

Вузол опромінення уявляє собою ізольовану від іонопровода камеру опромінення з циліндром Фарадея. В середині камери розташований змінюваний утримувач зразків, який може охолоджуватись водою. Утримувач зразків закріплюється на рамці скануючого приладу, що працює за принципом числового програмного керування. Вузол опромінення дозволяє опромінювати як “тонкі”, так і “товсті” зразки розміром до 150×150 мм².

ЗМІНА ФОРМИ ЯДЕР, ЩО ОБЕРТАЮТЬСЯ

Ф. О. Іванюк¹, К. Поморський², Й. Бартель³

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Університет ім. М. Кюрі-Склодовської, Люблін, Польща*

³ *Університет Страсбург-1, Страсбург, Франція*

У реакціях з важкими іонами утворюються ядерні системи, що швидко обертаються. Щоб описати енергію та інші властивості таких систем, перш за все необхідно знати форму поверхні та її залежність від швидкості обертання.

Для визначення форми поверхні ядер, що обертаються, використано метод Струтинського [1], в якому форма поверхні знаходиться шляхом мінімізації енергії ядра в моделі зарядженої рідкої краплі з додатковими обмеженнями, що фіксують об'єм та деформацію ядра.

Енергія зарядженої краплі складається з поверхневої, кулонівської енергії та енергії обертання,

$$E_{\text{RLD}} = E_{\text{surf}} + E_{\text{Coul}} + E_{\text{rot}}. \quad (1)$$

Оскільки енергія (1) є функціоналом від профільної функції $\rho(z, \varphi)$, яка за-

дає форму поверхні

$$E_{RLD} = \int_{z_{min}}^{z_{max}} dz \int_0^{2\pi} d\varphi E(\rho, \rho_z, \rho_\varphi; z, \varphi), \quad (2)$$

профільну функцію $\rho(z, \varphi)$ можна знайти як розв'язок рівняння Ейлера

$$\frac{\partial E}{\partial \rho} - \frac{d}{dz} \frac{\partial E}{\partial \rho_z} - \frac{d}{d\varphi} \frac{\partial E}{\partial \rho_\varphi} = 0. \quad (3)$$

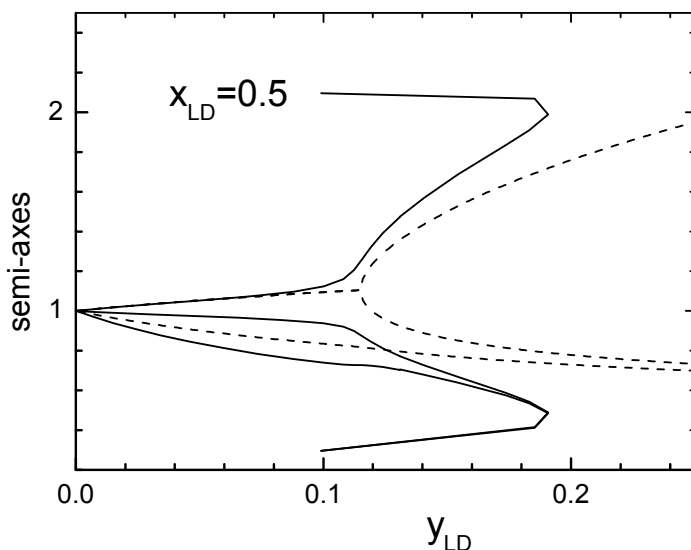
Для розв'язку рівняння (3) в [2] було запропоновано наближення

$$\rho^2(z, \varphi) = \frac{\zeta(z) \sqrt{1 - \eta^2(z)}}{1 + \eta(z) \cos(2\varphi)}. \quad (4)$$

Підстановка (4) в (3) приводить до системи двох значно простіших рівнянь для функцій $\zeta(z)$ та $\eta(z)$

$$\delta E_{RLD}[\zeta, \eta] / \delta \zeta = 0, \quad \delta E_{RLD}[\zeta, \eta] / \delta \eta = 0, \quad (5)$$

які можна розв'язати тими ж методами, що і в випадку ядер, що не обертаються, див. [3, 4]. Знаючи функції $\zeta(z)$ та $\eta(z)$ неважко розрахувати форму поверхні, енергію, моменти інерції та залежність цих характеристик від швидкості обертання ядра.



Залежність пів-осей краплі еліпсоїдальної форми (суцільні криві) та довжини вздовж x , y , z -осей оптимальних форм (пунктир) від параметра обертання $y_{LD} = E_{rot}/E_{rot}^{(sph)}$ для значення параметра подільності $x_{LD} = 0,5$.

Виконані розрахунки показали, що раптове порушення аксіальної симетрії (перехід Якобі) з ростом швидкості обертання є результатом обмеження на форму краплі, яке накладається припущенням про еліпсоїдальну форму краплі. Без такого обмеження з ростом кутового моменту форма краплі в області переходу Якобі змінюється неперервно, див. рисунок.

Показано також, що в важких ядрах, для $x_{LD} > 0,612$, ядро втрачає стабільність відносно поділу при менших значеннях кутового моменту ніж перехід Якобі.

1. V. M. Strutinsky, N. Ya. Lyashchenko, N. A. Popov, Nucl. Phys. **46**, 659 (1963).
2. F. A. Ivanyuk, K. Pomorski and J. Bartel, submitted to Int. J. Mod. Phys.
3. F. A. Ivanyuk, Int. J. Mod. Phys. **E18**, 130 (2009).
4. F. A. Ivanyuk and K. Pomorski, Phys. Rev. **C79**, 054327 (2009).

ВИМІРЮВАННЯ ТА ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПЕРЕРІЗІВ ЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ (n, p), (n, α), (n, 2n) НА ІЗОТОПАХ ДИСПРОЗІЮ, ЕРБІЮ, ІТЕРБІЮ

**О. М. Горбаченко, Н. Р. Дзисюк, А. О. Каденко,
І. М. Каденко, В. А. Плюйко, Г. І. Применко**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Представлені результати вимірювань нейтронно-активаційним методом перерізів ядерних реакцій (n, p), (n, α), (n, 2n) на ізотопах диспрозію, ербію та ітербію при енергії нейтронів $14,6 \pm 0,2$ МеВ. Зразки диспрозію, ербію та ітербію природного ізотопного складу опромінювалися (d - t) нейтронами на нейтронному генераторі НГ-300 [1]. Апаратурні спектри гамма-випромінювання продуктів активації вимірювалися на спектрометрі з HPGe детектором фірми CANBERRA. При обробці експериментальних даних було враховано нестационарність нейтронного потоку, реальну геометрію експерименту, ефекти каскадного додавання при вимірюваннях апаратурних гамма-спектрів та поглинання гамма-квантів у зразках.

Виміряні перерізи порівнюються із наявною експериментальною інформацією, оціненими ядерними даними і теоретичними розрахунками. Теоретичні розрахунки функцій збудження досліджуваних ядерних реакцій виконано з використанням кодів TALYS 1.2 і EMPIRE 3.0 [2] та емпіричних і напівемпіричних систематик, що використовуються для оцінки перерізів реакцій.

1. Дзисюк Н. Р., Каденко А. О., Каденко І. М., Применко Г. І. Перерізи ядерних реакцій (n,x) на ізотопах диспрозію та ербію // Ядерна фізика та енергетика. - 2011. - Т. 12, № 2. - С. 137 - 144.
2. Koning A.J., Blomgren J. Nuclear data for sustainable nuclear energy // JRC Scientific and Tech. Rep. - 2009. - Vol. EUR23977EN; Herman M., Capote R., Carlson B.V., Oblozinsky P., Sin M., Trkov A., Wienke H., Zerkin V. EMPIRE 3.0: Nuclear Reaction Model Code System for Data Evaluation // Nuclear Data Sheets. - 2007. - Vol. 108. - P. 2655 - 2715.

ПРУЖНЕ Й НЕПРУЖНЕ РОЗСІЯННЯ ІОНІВ ^{12}C ЯДРАМИ ^7Li ПРИ ЕНЕРГІЇ 115 MeV

А. Т. Рудчик¹, В. Ю. Каніщев², А. А. Рудчик¹, О. А. Понкратенко¹,
 Є. І. Коший³, С. Клічевскі⁴, К. Русек^{5,6}, В. А. Плюйко²,
 С. Ю. Межевич¹, Вал. М. Пірнак¹, А. П. Ільїн¹, В. В. Улещенко¹,
 Р. Сюдак⁴, Я. Хоїньскі⁶, Б. Чех⁴, А. Щурек⁴

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ

³ Харківський національний університет, Харків

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

⁵ Національний інститут ядерних досліджень, Варшава, Польща

⁶ Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

Отримано нові експериментальні дані диференціальних перерізів пружного й непружного розсіяння ядер $^7\text{Li} + ^{12}\text{C}$ з використанням пуска іонів ^{12}C Варшавського циклотрону С-200Р при енергії $E_{\text{лаб.}}(^{12}\text{C}) = 115 \text{ MeV}$ (рис. 1 і 2).

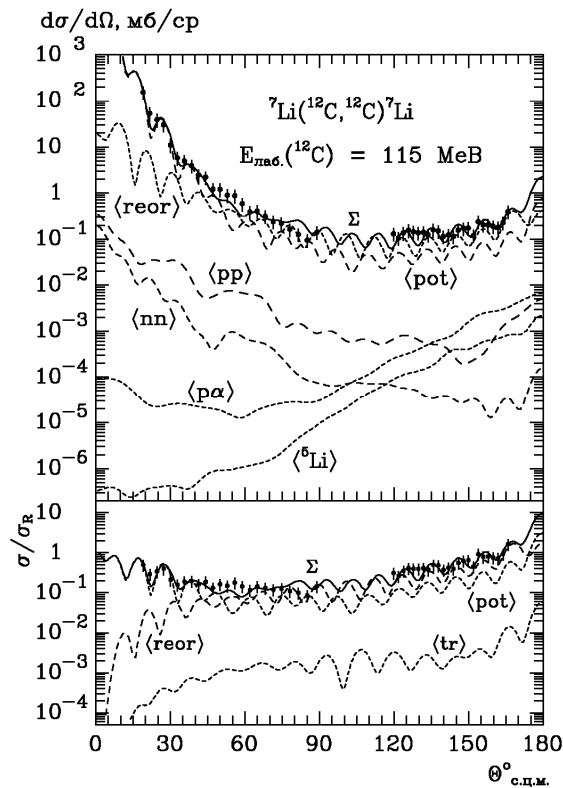


Рис. 1. Диференціальні перерізи пружного розсіяння іонів ^{12}C ядрами ^7Li при енергії $E_{\text{лаб.}}(^{12}\text{C}) = 115 \text{ MeV}$. Криві – МЗКР-розрахунки.

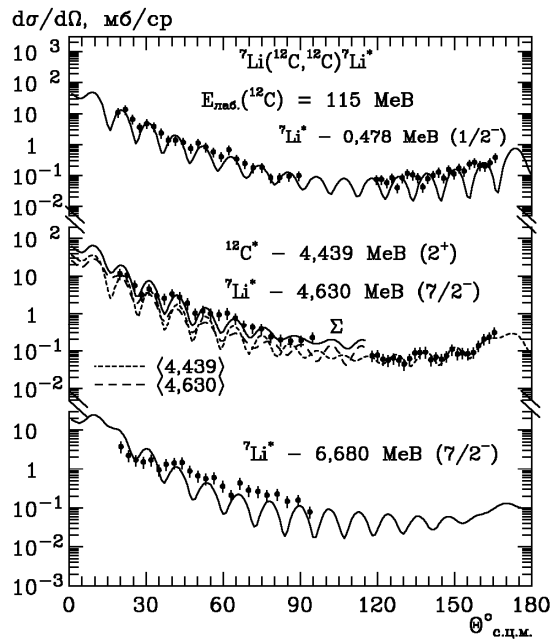


Рис. 2. Диференціальні перерізи непружного розсіяння іонів ^{12}C ядрами ^7Li при енергії $E_{\text{лаб.}}(^{12}\text{C}) = 115$ МеВ.

Криві – МЗКР-розрахунки для колективних збуджень ядер.

Експериментальні дані проаналізовано за оптичною моделлю (ОМ) та методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР) з включенням у схему зв'язку каналів пружного й нпружного розсіяння, процесу реорієнтації ^7Li та найпростіші реакції передач нуклонів і кластерів.

Визначено параметри потенціалу взаємодії ядер $^7\text{Li} + ^{12}\text{C}$ в основних і збуджених станах та параметри деформації ядер ^7Li і ^{12}C .

Визначено внески реакцій одно- та двоступінчастих передач у диференціальні перерізи пружного й непружного розсіяння ядер $^7\text{Li} + ^{12}\text{C}$. Установлено, що основну роль в пружному розсіянні ядер відіграють потенціальне розсіяння та процес реорієнтації спіна ^7Li (криві <rot> і <reor> на рис. 1). Внески реакцій передач в цей канал незначні (криві <pn>, <pp>, <pa> і < ^5Li >). В непружному розсіянні ядер $^7\text{Li} + ^{12}\text{C}$ домінують колективні збудження низькоенергетичних станів цих ядер.

КЛАСТЕРНИЙ РОЗПАД ВИСОКОЗБУДЖЕНИХ РЕЗОНАНСІВ ЯДРА ^5He

Ю. М. Павленко¹, В. Л. Шаблов², В. О. Кива¹, О. К. Горпинич¹,
Н. Л. Дорошко¹, О. І. Рундель¹, А. В. Степанюк¹,
Л. Л. Дулгер³, Д. В. Касперович³

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Обнінський інститут атомної енергетики НДЯУ МІФІ, Обнінськ

³ Національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

За умов повного та неповного визначення кінематики тричастинкових та чотиричастинкових каналів реакції $^7\text{Li}(d, \alpha)^5\text{He}$ ($E_d = 37$ МеВ, циклотрон

У-240 ІЯД НАН України) досліджено процеси збудження та розпаду по каналах $\alpha + n$, $t + d$, $t + n + p$ та ${}^3\text{He} + n + n$ резонансів ядра ${}^5\text{He}$. Високе значення енергетичного балансу реакції ${}^7\text{Li}(d, \alpha){}^5\text{He}$ дозволило дослідити спектр збудження ${}^5\text{He}$ до $E^* \sim 40$ МеВ.

В інклюзивних спектрах α -частинок на значному фоні, зумовленому супутніми тричастинковими каналами реакцій, окрім внесків утворення відомих резонансів ${}^5\text{He}$ [1] виявлено внески ряду високозбуджених станів з енергіями збудження $E^* \sim 19$ МеВ та $E^* > 20$ МеВ, кластерний розпад яких спостерігався в спектрах збігів α -частинок з іншими продуктами реакції ${}^7\text{Li}(d, \alpha)$. В кореляційних спектрах вперше виявлено розпад по каналу $d + t$ станів ${}^5\text{He}^*$ з $E^* > 24$ МеВ.

Визначені резонансні енергії і ширини частково узгоджуються з результатами R-матричного аналізу даних, отриманих при дослідженні бінарних процесів взаємодії $d + {}^3\text{H}$ та $n + {}^4\text{He}$ [1]. Аналізується також можливість прояву кулонівських ефектів в тричастинкових каналах реакції ${}^7\text{Li}(d, \alpha){}^5\text{He}$.

1. Tilley D. R. et al. // Nucl. Phys. A. - 2002. - Vol. 708, No. 1. - P. 3 - 163.

ПОШУК АНТИНЕЙТРИНО ВІД НЕВІДОМИХ ДЖЕРЕЛ

В. В. Кобичев (від колаборації Borexino)

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

ПОИСК АНТИНЕЙТРИНО ОТ НЕИЗВЕСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

В. В. Кобычев (от имени коллаборации Borexino)

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

На сцинтиляционном детекторе Borexino в Национальной лаборатории Гран-Сассо (Италия) были выполнены поиски антинейтрино неизвестного происхождения, не относящихся к известным природным (радионуклиды в недрах Земли) и искусственным (ядерные реакторы) источникам. В частности, исследована возможность существования потока гипотетических антинейтрино от Солнца. Антинейтрино детектировались с помощью реакции обратного бета-распада на протонах в большой мишени из жидкого органического сцинтиллятора. Было установлено новое верхнее ограничение $760 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ на поток гипотетических солнечных электронных антинейтрино (в предположении, что их энергетический спектр повторяет форму спектра, наблюдающегося для солнечных борных нейтрино). Это ограничение соответствует верхнему пределу на вероятность перехода солнечных нейтрино в антинейтрино, равному $1,3 \cdot 10^{-4}$ (90 % CL), для антинейтрино с энергетическим спектром, соответствующим спектру борных нейтрино выше порога реакции обратного бета-распада на протоне (1.8 МэВ). Получены также лучшие дифференциальные ограничения на

потоки антинейтрино от неизвестных источников в диапазоне энергий между 1,8 МэВ и 17,8 МэВ. Используются данные, полученные за более чем 2 года измерений.

НИЗЬКОФОНОВИЙ ДЕТЕКТОР ЗІ СЦИНТИЛЯЦІЙНИМИ КРИСТАЛАМИ $^{116}\text{CdWO}_4$ ДЛЯ ПОШУКУ ПОДВІЙНОГО БЕТА-РОЗПАДУ ^{116}Cd

О. С. Барабаш¹, П. Беллі¹, Р. Бернабей^{2,3}, Р. С. Бойко⁴,
Я. В. Васільєв⁵, В. Д. Вірич⁶, Є. М. Галашов⁵, Ф. А. Даневич⁴,
М. Л. Ді Вакрі⁷, О. Є. Доссовицький⁸, А. Інчікітті^{9,10}, Ф. Каппелла^{9,10},
В. Караччіоло^{7,11}, В. В. Кобичев⁴, Г. П. Ковтун⁶, С. І. Коновалов¹,
М. Лаубенштайн⁷, А. Л. Міхлін⁸, В. М. Мокіна⁴, С. Нісі⁷, Д. В. Пода^{7,4},
Р. Б. Подвіянюк⁴, О. Г. Поліщук⁴, Д. О. Солопихін⁶, Ю. Г. Стенін⁵,
В. І. Третяк⁴, Д. М. Черняк⁴, Р. Черуллі⁷, В. М. Шлегель⁵,
О. П. Щербань⁶, В. І. Юматов¹

¹ Інститут теоретичної та експериментальної фізики, Москва, Росія

² Відділення Національного інституту ядерної фізики (НІЯФ) у Римі
«Тор Вергата», Рим, Італія

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

⁴ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

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

⁶ ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, Харків

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

⁸ ЗАТ «Неохім», Москва, Росія

⁹ Відділення НІЯФ у Римі «Ла Сапієнца», Рим, Італія

¹⁰ Фізичний факультет Римського університету «Ла Сапієнца», Рим, Італія

¹¹ Фізичний факультет Л'Аквільського університету, Л'Аква, Італія

Монокристал вольфрамату кадмію із кадмію, збагаченого ізотопом ^{116}Cd до 82 %, ($^{116}\text{CdWO}_4$) масою 1,868 кг був вирощений методом Чохральського з низьким градієнтом температури. Досліджено ізотопний склад кадмію та концентрацію домішок у кристалі, оптичні та сцинтиляційні властивості трьох сцинтиляційних елементів, отриманих із кристалу. Два з них (масою 0,586 кг і 0,589 кг) встановлено у низькофоновій сцинтиляційній установці, яка включає активний захист на основі пластмасового сцинтилятора, кілька шарів пасивного захисту і розміщена на глибині 3600 метрів водяного еквіваленту у підземній лабораторії Гран-Сассо в Італії. Енергетична роздільна здатність детектора складає близько 5 % (FWHM) для гамма-квантів з енергією 2,615 МеВ. Низькофонові вимірювання було розпочато у березні 2011 р., натеper час вимірювань складає більше 4500 год, що дозволило оцінити рівень радіоактивної чистоти сцинтиляторів $^{116}\text{CdWO}_4$ шляхом виділення ланцюжків швидких розпадів (часово-амплітудний аналіз) і відбору подій альфа-розпадів (за формою сцинтиляційного імпульсу)

радіонуклідів сімейств урану і торію. Фон детектора в околі енергії подвійного бета-розпаду ^{116}Cd (2,7 - 2,9 MeV) становить близько 0,28 відліків / (рік \times кеВ \times кг). Радіоактивна чистота третього зразка $^{116}\text{CdWO}_4$ досліджена за допомогою наднизькофонового напівпровідникового гамма-детектора із надчистого германію. Для оцінки чутливості експерименту виконано моделювання методом Монте-Карло функцій відгуку детектора до подій подвійного бета-розпаду ^{116}Cd і можливих фонових процесів. Чутливість експерименту за 5 років вимірювань (період напіврозпаду) оцінено на рівні $T_{1/2} \sim (0,5 - 1,5) \cdot 10^{24}$ років, що відповідає, в залежності від розрахунків ядерних матричних елементів, ефективній майоранівській масі нейтрино $\langle m_\nu \rangle \sim 0,4 - 1,4$ еВ.

МЕТАЛЕВІ МІКРО-ДЕТЕКТОРИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ПУЧКІВ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

**О. С Ковальчук, В. М. Пугач, О. А. Федорович, А. В. Чаус,
Д. І. Сторожик, В. М. Міліція, Є. Г. Костін, Б. П. Полозов**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Мікростріповий Металевий Детектор (ММД) розроблений в Інституті ядерних досліджень НАН України. Його призначення – визначення профілю та положення пучків заряджених частинок або рентгенівського випромінювання. За останні роки значно покращено технології мікрофотолітографії та плазмо-хімічного травлення для створення ММД для широкого спектру застосувань. За підтримкою Програми CNCP (Проект УНТЦ Р396) було виготовлено декілька модифікацій ММД. У роботі представлено характеристики різних детекторів, зокрема MMD16-sectors, MMD64, MMD128 та MMD1024.

Створено систему збору та обробки даних ММД на основі 128-канальних зарядово-чутливих попередніх підсилювачів (VA-SCM3) із паралельно-последовним зчитуванням даних через мікро-контролер (VIRTEX – II) та USB порт. Проведені дослідження роботи модульної системи збору та обробки даних XDAS [1] та застосування її з ММД. Розроблено дизайн нової багатоканальної детекторної системи на базі мікрочіпу MEDIPIX [2] та мікрочіпу GOTTHARD [3].

Проведені дослідження ММД на європейському синхротроні ESRF (Гренобль, Франція) на базі медичної лабораторії ID-17, на синхротроні Diamond Light Source (Великобританія) та рентгенівській установці PSI (Швейцарія). Одержано попередні дані на прискорювачі ЕГП-10К (ІЯД, Київ).

1. <http://www.sens-tech.com>
2. Llopert X., Ballabriga R., Campbell M. et al. Nucl. Instr. and Meth. A 581 (2007) P485-489.
3. A. Mozzanica et al., A single photon resolution integrating chip for microstrip detectors, Nucl. Instrum. Meth. A 633 (2011) S29.

БЕТА-РОЗПАД $^{231}\text{Th} \rightarrow ^{231}\text{Pa}$

Г. П. Куртєва

Институт ядерних досліджень НАН України, Київ

БЕТА-РАСПАД $^{231}\text{Th} \rightarrow ^{231}\text{Pa}$

А. А. Куртева

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

В рамках динамической коллективной модели (ДКМ) рассчитаны спектроскопические характеристики ^{231}Pa и описан бета-распад $^{231}\text{Th} \rightarrow ^{231}\text{Pa}$.

У стабильного деформированного ядра ^{231}Pa сверх протонной оболочки $Z = 82$ имеется 9 протонов, а сверх нейтронной оболочки $N = 126$ - 14 нейтронов. Нейтронный химпотенциал ^{231}Th находится выше протонного, именно поэтому происходит β^- -распад. Разность между химпотенциалами коррелирует с энергией бета-распада $Q = 389$ кэВ. Этот изотоп отличается от ядер из области $A = 100$ большей плотностью уровней и сильной нелинейной зависимостью структуры состояний от трех вариационных параметров модели.

Бета-распад идет с основного $5/1_1^+$ -состояния ^{231}Th . В волновую функцию этого состояния в $f_{jK}^{(I)}$ -представлении модели примерно одинаковый вклад дают все подоболочки из заполняемой оболочки с четными орбитальными моментами и с $K = 1/2$, т. е. состояние имеет почти чисто «вращательную» природу. С максимальной интенсивностью и вероятностью бета-переходы идут на $5/2_1^+$ - и $7/2_1^+$ -состояния ^{231}Pa , которые в $f_{jK}^{(I)}$ -представлении являются членами вращательной полосы. Но в $F_{jR}^{(I)}$ -представлении ДКМ они образованы (главным образом) сильной связью одноквазичастичного состояния $i_{13/2}$ с фоновыми состояниями остова с полными моментами $R = 4, 6, 8$ и даже $R = 10$ (для $7/2_1^+$ -состояния). Не менее сложна структура $3/2_1^+$ - и $5/2_2^+$ -состояний, интенсивности переходов на которые примерно в 3 раза меньше. В таблице приведено сравнение рассчитанных $\lg ft$ с экспериментальными: в первой строке указаны спины состояний, на которые происходят бета-переходы, во второй – экспериментальные значения энергии этих состояний, далее – интенсивности переходов, экспериментальные и рассчитанные значения $\lg ft$.

Сравнение рассчитанных и экспериментальных значений $\lg ft$

I^π	$5/2_1^+$	$7/2_1^+$	$3/2_1^+$	$5/2_2^+$
$E_{\text{экс.}}, \text{кэВ}$	84.2	101.4	102.3	183.5
$I, \%$	35	37	12	12.8
$\lg ft, \text{экс.}$	6.0	5.9	6.4	5.9
$\lg ft, \text{рас.}$	6.2	5.8	6.4	6.2

Для этой области масс ядер рассчитанные значения $\lg ft$ слабо зависят от количества учитываемых классов диаграмм, в отличие от ядер из области $A = 100$. Использована та же перенормировка констант слабого взаимодействия, что и для ядер из области $A = 100$.

ЕНЕРГІЇ НИЗЬКОЛЕЖАЧИХ ЗБУДЖЕНИХ СТАНІВ ^{175}Lu

А. П. Лашко, Т. М. Лашко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Характеристики рівнів ^{175}Lu можна досліджувати в радіоактивному розпаді як ^{175}Yb ($T_{1/2} = 4.2$ днів), так і ^{175}Hf ($T_{1/2} = 70$ днів). При бета-розпаді ^{175}Yb ($I^\pi = 7/2^-$) заселяються рівні зі спінами $7/2$ та $9/2$, причому 73% розпаду відбувається в основний стан ^{175}Lu . При електронному захваті ^{175}Hf ($I^\pi = 5/2^-$) збуджуються рівні зі спінами від $1/2$ до $7/2$ до енергії 515 кеВ включно. Таким чином, подібні дослідження гармонійно доповнюють одне одного.

Електронний захват ^{175}Hf вивчався багатьма авторами. Проте і на сьогоднішній день енергії рівнів ^{175}Lu у верхній частині схеми розпаду та переходу між ними відомі з точністю лише в кілька десятків, а то й сотень електрон-вольт. Значно краще визначені енергії рівнів у нижній частині схеми, які збуджуються при β -розпаді ^{175}Yb . Виміри енергії кількох переходів, які вдалося зробити на кристал-дифракційному спектрометрі, дозволили зменшити похибку до $(2 \div 4) \cdot 10^{-5}$.

Раніше, нами з високою точністю визначені енергія лінії γ_{346} кеВ із розпаду ^{181}Hf , а також різниця енергій переходів $\gamma_{346} \text{ }^{181}\text{Hf} - \gamma_{343} \text{ }^{175}\text{Hf}$, що дозволило суттєво уточнити енергію останнього. Метою наших теперішніх досліджень є уточнення енергії переходів γ_{230} та γ_{433} кеВ, корекція на основі нових експериментальних даних енергії рівнів ^{175}Lu та розряджаючих їх γ -квантів.

В даній роботі використано новий експериментальний підхід до визначення енергії збуджених станів атомних ядер, який полягає у вимірах енергії опорних переходів методами прецизійної ядерної спектроскопії з подальшим розрахунком енергії рівнів та енергії усіх γ -квантів, які супроводжують розпад материнського ядра, за розробленим нами алгоритмом. Завдяки цьому підходу вдалося отримати прецизійні дані про енергії рівнів

та розряджаючих їх γ -переходів в ^{175}Lu з точністю в кілька електрон-вольт. Вони добре узгоджуються з даними інших експериментальних робіт, але перевершують їх по точності.

РОЗПОДІЛ НУКЛОНІВ В ЯДРАХ ПОЗА ЛІНІЄЮ БЕТА-СТАБІЛЬНОСТІ

В. М. Коломієць, С. В. Лук'янов, А. І. Санжур

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Головною характеристикою нейтронної шкіри у важких ядрах є її товщина (тобто різниця між нейтронним та протонним середньоквадратичними радіусами) $\Delta r_{np} = \sqrt{\langle r_n^2 \rangle} - \sqrt{\langle r_p^2 \rangle}$. Величина Δr_{np} виникає внаслідок різниці радіусів (ефект шкіри) та форм (ефект гало) нейтронного та протонного розподілів. Відносний вклад від обох ефектів залежить від значень енергії симетрії, спин-орбітальної та кулонівської взаємодій. В даній роботі ми вивчаємо відхилення розподілу нуклонів нейтронно-надлишкових ядер від властивості насичення. Ми також досліджуємо супутні проблеми нуклонного перерозподілу в області поверхні, зокрема нейтронної шуби та нейтронного надлишку для ядер, що знаходяться далеко від лінії бета-стабільності.

Для опису радіусів нуклонних розподілів ми застосували прямий варіаційний метод в рамках розширеного наближення Томаса - Фермі з ефективними силами Скірма. В даному розгляді нуклонні розподіли з тонким поверхневим шаром $\rho_n(r)$ та $\rho_p(r)$ генеруються профільними функціями, які вибираються з умови, що енергія ядра повинна бути стаціонарною по відношенню до варіацій цих профілів.

Нами отримано вираз для зміни густини в центрі ядра $\rho_{0,x}$ в нейтронно-надлишкових ядрах

$$\rho_{0,x} = \rho_{0,eq} - 9 \frac{P_{A,sym}}{K_A} (X - X^*)^2, \quad (1)$$

де $X = (N - Z)/A$ – параметер асиметрії. Обраховане за допомогою числових розрахунків позитивне значення тиску $P_{A,sym}$ приводить до явища виштовхування нейтронів в область поверхні нейтронно-надлишкових ядер (ефект поляризації).

Ми також продемонстрували, що нейтронна шкіра виникає внаслідок зростання дифузності нейтронного розподілу по відношенню до незмінного розподілу протонів, та може бути відповідальною за виникнення явища нейтронного гало в нейтронно-надлишкових ядрах. Досліджено вплив поляризаційного ефекту, що визначається формулою (1), на середньоквад-

ратичний радіус $\sqrt{\langle r_n^2 \rangle}$ нейтронного розподілу. Цей ефект зростає зі збільшенням параметру асиметрії X і може бути відповідальним за появу гігантського нейтронного гало в ядрах поблизу границі нейтронної нестабільності. Ми також оцінили відносні внески у величину ізотопічного зсуву радіусів Δr_{np} , що виникають від ефектів шкіри та гало. Ефект гало дає, як правило, малий внесок у зсув Δr_{np} і може бути співставним з внеском від ефекту шкіри лише поблизу границі нейтронної нестабільності ядер.

КВАНТОВИЙ ХАОС У КОЛЕКТИВНІЙ ЯДЕРНІЙ ДИНАМІЦІ

Я. П. Блоцький¹, О. Г. Магнер²

¹ Національний Центр Ядерних Досліджень, Отвоцк, Польща

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Багато задач ядерної динаміки (реакції поділу та зіткнень важких йонів) можна звести до руху незалежних частинок у середньому полі з різким залежним від часу краєм. Як показано у квантових та класичних розрахунках, які базуються на стінковій формулі (с.ф.) [1, 2], значна кількість колективної енергії дисипує у хаотичний нуклонний рух. У цій доповіді розглядаються малі повільні коливання радіусу потенціалу Вудса - Саксона навколо сферичної форми, які задаються розкладом по поліномам Лежандра P_n з залежною від часу деформацією $\alpha(t) = \alpha \cos(\omega t)$ та частотою коливань ω . Параметр адиабатичності $\eta = \alpha\omega / \Omega$ ($\Omega = v_F / R$, v_F є Фермі швидкість) і амплітуда α малі, $\omega / \Omega \ll 1$.

Знайдено значні кореляції між коефіцієнтом тертя γ , пропорційного середній швидкості зміни енергії з часом $\langle dE / dt \rangle$, і оболонкової поправки δE (в початковий момент при максимальній деформації α) як функції числа частинок при квадрупольних та октупольних коливаннях (див. також [3]). Отримано квазікласичне наближення до коефіцієнта тертя γ за допомогою розкладу функції Грина по класичним траєкторіям Гуцвілера в теорії періодичних орбіт, $\gamma = \int d\psi P_n(\psi) \gamma(\psi)$ з $\gamma(\psi) = \gamma_{wf} + \gamma_c(\psi)$, γ_{wf} відповідає с.ф., а

$$\gamma(\psi) = \gamma_{wf} \sum (\sin^3 \phi \cos \phi / 2v \sin \psi) [1 - J_0(\sqrt{\Delta S})]. \quad (1)$$

Тут сума пробігає класичні траєкторії, які з'єднують дві точки на сферичній поверхні з кутовою відстанню ψ , $v \geq 2|w|$ вершин і w обертань навколо центру симетрії, $w = \pm 1, \pm 2, \dots$ $\phi = \pi w / v - \psi / 2v$, $J_0(x)$ є циліндричною функцією Беселя нулевого порядку.

Коефіцієнт тертя γ в одиницях с.ф. γ_{wf}

kR	n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10		0.73	1.15	0.92	1.05	0.97	1.02	0.99	1.01	0.99
20		0.69	1.20	0.82	1.12	0.82	1.07	0.95	1.04	0.97
30		0.84	1.16	0.80	1.14	0.87	1.10	0.91	1.07	0.95
40		0.95	1.10	0.86	1.13	0.86	1.11	0.89	1.08	0.93
50		0.97	1.06	0.93	1.09	0.88	1.10	0.89	1.09	0.91
∞		1.11	0.93	1.06	0.95	1.08	0.96	1.03	0.97	1.03
	[3]	0.00	0.85	0.45	0.90	0.62	0.93	0.71	0.94	0.76

$\Delta S = kR \cos(\pi w / \nu) \sin \psi$, k є хвильовим числом при енергії Фермі. При $\psi \rightarrow 0$ маємо граничний внесок однопараметричних сімейств періодичних орбіт, що призводить до залежності тертя від kR через J_0 в (1). У таблиці показана суттєва різниця тертя, отриманого в даній роботі, від знайденого у [3], особливо при квадрупольних коливаннях. Аналітично отримано квазікласичну оцінку періода осциляцій коефіцієнта тертя в залежності від числа частинок у доброму узгодженні з чисельними розрахунками.

1. J. Blocki, Y. Boneh, J.R. Nix, J. Randrup, M. Robel, A.J. Sierk, W.J. Swiatecki, Ann. Phys., **113**, 330 (1978).
2. J.P. Blocki, A.G. Magner, I.S. Yatsyshyn, Atomic Nuclei and Energy, 11, 239 (2010); Int. J. Mod. Phys., E283, 292 (2011).
3. S.E. Koonin, J. Randrup, V.M. Kolomietz, R.L. Hatch, J. Phys. Soc. Japan, **44**, 372 (1978).
4. S.E. Koonin, J. Randrup, Nucl.Phys. **A289**, 475 (1977).

АНАЛІЗАТОР ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ НА ФІЛЬТРОВАНИХ ПУЧКАХ НЕЙТРОНІВ

**А. П. Войтер, О. О. Грицай, М. І. Доронін, О. М. Ковальов,
В. А. Лібман, І. О. Мазний**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Розроблено новий аналізатор для експериментів на фільтрованих пучках нейтронів на реакторі ВВР-М.

Структурно аналізатор має три вимірювальних тракти (два кутових тракти та один тракт вимірювання на прямому пучку) і систему управління установкою кутового розсіювання нейтронів УКР-3. Кожен з кутових вимірювальних трактів містить нейтронний детектор, попередній підсилювач (ПП) та спектрометричний підсилювач (СП). Кутові вимірювальні тракти об'єднані через аналоговий комутатор з номером детектора (АКНД), який забезпечує комутацію імпульсів з їхніх виходів на спектрометричний амплітудно-цифровий перетворювач (САЦП) та формування номера відповідного кутового тракту. Тракт вимірювання на

прямому пучку має апаратурний склад, аналогічний кутовим вимірювальним трактам. Управління роботою аналізатора здійснюється одноплатним системним комп'ютером (СК). До комунікаційного порту системного комп'ютера підключено модуль комутації для програмного керування електроприводом механізму установки УКР-3. СК має зв'язок з локальною комп'ютерною мережею для забезпечення доступу до сервера та інших ресурсів, що можуть використовуватися в процесі експериментів.

СП, АКНД та САЦП є пристроями ядерної електроніки з програмним керуванням від системного комп'ютера через шину ISA. Указані пристрої, а також модуль комутації розроблено в Інституті ядерних досліджень НАН України.

Програмне забезпечення аналізатора призначено для керування роботою аналізатора та отримання результатів вимірювань. При цьому відповідно до алгоритму роботи УКР-3 за одну експозицію накопичується три спектра (по прямому та двох вимірювальних трактах). У свою чергу число експозицій в одному циклі визначається кількістю комбінацій зразків, що дорівнює 16. Таким чином, за повний цикл вимірювань накопичується 48 спектрів.

Аналізатор реалізовано на основі розширювача шини ISA BP-14S-RS-R30 та корпусу системного блока персонального комп'ютера з використанням штатного блока живлення. З конструктивних міркувань та з урахуванням особливостей керування електромеханізмом УКР-3, модуль комутації БУК-1М виконано в блоці САМАС одиночної ширини.

Аналізатор буде використано для розширення напрямків експериментальних робіт із фільтрованими пучками нейтронів на дослідницькому реакторі ВВР-М, зокрема для отримання диференційних перерізів розсіювання нейтронів на ядрах, повних нейтронних перерізів ядер та для дослідження ефектів самоекранування нейтронних перерізів.

ПЕРШІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЧПА nХУТЕР ДЛЯ КРЕМНІЄВОЇ ТРЕКОВОЇ СИСТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТУ СВМ У РЕЖИМІ ЗОВНІШНЬОГО ТРИГЕРУВАННЯ

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

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Франкфуртський університет імені Гете, Франкфурт, Німеччина

³ Центр досліджень з важкими іонами (GSI), Дармштадт, Німеччина

В експерименті СВМ (GSI, Darmstadt) планується дослідження матерії при високих баріонних густинах за допомогою зіткнення важких іонів при енергіях 10 - 45 GeV/нуклон. Для цього буде використовуватись, зокрема, Кремнієва Трекова Система із восьми шарів двосторонніх мікростріпових детекторів. Для зчитування буде використовуватись спеціально розроб-

лений мікрочіп nXUTER.

Представлено результати тестування чіпа, проведені в ІЯД та в GSI. Було детально досліджено функціонування чіпа у режимі зовнішнього тригера, зокрема залежність відгуку від затримки тригерного сигналу. Також проведено симуляцію МПЧ за допомогою джерела ^{90}Sr - ^{90}Y . Визначено, що затримка тригерного сигналу у 50 нс дозволяє відібрати сигнал від електронів з енергією більше 1,5 MeV. Однак половина каналів має більший шум внаслідок структури мікрокабелів і це ускладнює реконструкцію кластерів, які утворюють електрони.

РОЗРАХУНОК СПЕКТРУ ГАЛЬМІВНИХ ГАММА-КВАНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО ТА ДЕЯКИХ АНАЛІТИЧНИХ ПІДХОДІВ

**О. А. Безшийко, Я. О. Безшийко, І. М. Каденко,
Б. В. Масловський, А. О. Нагай**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Прискорювачі електронів широко використовуються для вирішення наукових та прикладних задач в т.ч. як джерела гальмівного випромінювання. Гальмівне випромінювання є зручним інструментом для дослідження властивостей атомного ядра та характеристик ядерних реакцій, проведення гамма-активаційного аналізу зразків оточуючого середовища, лікування онкохворих тощо.

Для оптимізації умов опромінення зразка необхідно мати вичерпну інформацію щодо характеристик пучка гальмівного випромінювання, а саме: діапазон енергій електронів, розміри пучка, параметри гальмівної мішені, що визначають радіаційне поле гальмівного випромінювання та супутніх частинок тощо. Вичерпна інформація про радіаційне поле міститься в енергетичних розподілах гальмівного випромінювання, якщо вони відомі для будь-якого кута вильоту фотонів з мішені. Проведення експериментальних вимірів спектрів гальмівного випромінювання пов'язане зі значними труднощами та в багатьох випадках практично неможливе. Тому часто доцільніше використовувати розрахункові методи, що дозволяють отримувати необхідну інформацію для проведення відповідних оцінок.

Розрахункові методи можна поділити на дві групи: 1) наближені аналітичні та напівемпіричні методи; 2) розрахунки з використанням методу Монте-Карло. Найбільш відомим методом першої групи для розрахунку гальмівного спектру є підхід, запропонований Шиффом [1]. Використання сучасних програмних кодів на основі методу Монте-Карло, таких як GEANT4, MCNP, FLUKA, EGSnrc(EGS4) дає можливість отримати спектри гальмівних гамма-квантів в максимальному наближенні до реальних умов їх формування.

У роботі проведено порівняння змодельованих гальмівних спектрів гам-

ма-квантів з використанням GEANT4, MCNP, EGSnrc(EGS4) для енергій електронів в діапазоні 10 - 50 MeV з спектром Шиффа для відповідних енергій. Проведено обговорення отриманих результатів.

1. Schiff L. I. Energy-angle distribution of tin target bremsstrahlung // Phys. Rev. - 1952. - Vol. 83, No. 2. - P. 252 - 253.

СТАТИСТИКА АНСАМБЛЮ УЛАМКІВ ПОДІЛУ: МАСОВІ, ЗАРЯДОВІ СПЕКТРИ ТА ФУНКЦІЯ НЕЙТРОННОЇ ЕМІСІЇ

**В. Т. Маслюк, О. О. Парлаг, О. І. Лендел,
Т. Й. Маринець, М. І. Романюк**

Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород

Представлено можливості нового статистичного методу систематизації уламків поділу атомних ядер. В його основі – представлення про статистичну нееквівалентність протонів (нейтронів) для різних ядер-уламків та упорядкування ансамблю 2-х уламкових кластерів, що утворюються при поділі ядра [1]. Необхідним також є врахування статистичних флуктуацій термодинамічних параметрів, характерних для малих ядерних систем [2,3].

Приводяться результати розрахунку масових та зарядових виходів уламків поділу для ізотопів U, Pa, Th, Ac and Ra, досліджується їх еволюція при рості температури (енергії збудження) вихідного ядра. Показано, що теорія дозволяє розраховувати також спостережувані нейтронні характеристики як число нейтронів поділу, функцію нейтронної емісії $\nu(A)$ при поділі ядра. Приведено такі дані розрахунку $\nu(A)$ для реакції $(n, f)^{235}\text{U}$, обговорюються природа відомої «пилкоподібної залежності» та тонкої структури $\nu(A)$. Обговорюються результати Дармштадського експерименту [4] по зарядових спектрах уламків поділу та приводиться їх статистична інтерпретація.

Показано, що анізотропія виходів уламків поділу важлива для ядерної термометрії.

1. V. Maslyuk et al., Phys. of Part. and Nucl. Lett. **4**, 78(2007).
2. H. Feshbach, Phys. Today. **12**, 9 (1987).
3. V.M. Kolomietz, Phys. Rev.C. **52**, 697(1995).
4. K.-H. Schmidt et al. Nucl. Phys. A 665 (2000) 221 - 267.

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЇ НАПРЯМКУ РУХУ ЕЛЕКТРОНА
"СТРУСУ" З НАПРЯМКОМ РУХУ ПОЗИТРОНА
ПРИ β^+ -РОЗПАДІ**

М. Ф. Митрохович

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

**ИССЛЕДОВАНИЯ КОРЕЛЯЦИИ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ
ЭЛЕКТРОНА "ВСТРЯСКИ" С НАПРАВЛЕНИЕМ ДВИЖЕНИЯ
ПОЗИТРОНА ПРИ β^+ -РАСПАДЕ**

Н. Ф. Митрохович

Інститут ядерных исследований НАН Украины, Киев

Исследования пространственных корреляций испускания электрона "встряски" ("shake-off") и основной частицы (позитрон при β^+ -распаде и электрон при β^- -распаде) дополняют друг друга. При совместных исследованиях они особенно важны для понимания механизма, ответственного за наблюдение этих корреляций [1 - 3], поскольку зарядовые и токовые компоненты взаимодействия при β^- -и β^+ -распаде различны. По нашим данным скорелированность испускания электрона "shake-off" вдоль направления испускания β^- -частицы велика. Она увеличивается с увеличением энергии электрона "shake-off", качественно следуя зависимости $\sim E^{1/2}$, т.е. является пропорциональной импульсу "shake-off" электрона. Это некоторым образом указывает на взаимодействие, ответственное за корреляционное движение "shake-off" электрона и частицы, как взаимодействие токов от движения этих заряженных частиц. Если это так, то пространственные корреляции в испускании электрона "shake-off" и основной частицы при β^- - и β^+ -распаде должны быть различными, поскольку токи, создаваемые движением электрона и позитрона противоположны.

Определение наличия скорелированности движения "shake-off" электрона с позитроном основано на измерениях $\gamma\gamma_{511}\beta^-$ - и $\gamma\gamma_{511}\beta^+e_0$ -совпадений от источника ^{152}Eu при регистрации электронов "встряски" по e_0 -электронам вторичной электронной эмиссии низкоэнергетичными детекторами, а γ -квантов - детекторами NaJ(Tl). При этом измеряется относительная (по отношению к γ_{344}) интенсивность γ -квантов 511 кэВ. γ -спектр $\gamma\gamma_{511}\beta^+$ -совпадений соответствует произвольному направлению испускания электрона "встряски" по отношению к позитрону. $\gamma\gamma_{511}\beta^+e_0$ -совпадения соответствуют испусканию электрона "встряски" по направлению движения позитрона.

Хотя интенсивность β^+ -компоненты в распаде ^{152}Eu и низка (оценивается 0,05 % от распада), γ -спектр в измерениях с тройными $\gamma\gamma_{511}\beta^+$ -совпаде-

ниями с приемлемой статистикой был получен. Набор данных в четверных $\gamma\gamma_{511}\beta^+e_0$ - совпадениях продолжается.

1. N. F. Mitrokhovich // Annual Report-2010. Institute for Nuclear Research, Kyiv, Ukraine. P. 46.
2. N. F. Mitrokhovich // Nuclear Physics and Atomic Energy. - 2010. - No. 2 - P. 136 - 40.
3. N. F. Mitrokhovich // Proc. of the 3-rd Int. Conf. "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy" (NPAE-Kyiv2010) Part 1. - P. 312 - 315.

ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ ЗБОРУ СВІТЛА В КРІОГЕННИХ СЦИНТИЛЯЦІЙНИХ БОЛОМЕТРАХ

**В. М. Мокіна¹, Ф. А. Даневич¹, В. В. Кобичев¹, Х. Краус²,
В. Б. Михайлик², Л. Л. Нагорна³**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Оксфордський університет, Оксфорд, Великобританія*

³ *Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, Харків*

Сцинтиляційні болометри є перспективними детекторами для кріогенних експериментів для пошуку темної матерії та подвійного бета-розпаду завдяки високій енергетичній роздільній здатності, низькому енергетичному порогу реєстрації, можливості ефективно ідентифікувати частинки. Збільшення збору світла та покращення енергетичної роздільної здатності є важливим для покращення чутливості таких детекторів. Метою наших вимірювань було виявити залежність світловиходу та енергетичної роздільної здатності від форми (циліндр чи шестигранник) та стану поверхні (полірована чи дифузна) кристалу, а також від матеріалу та форми відбивача світла. Були використані сцинтиляційні кристали $ZnWO_4$ з однаковими оптичними властивостями. Зразки циліндричної та гексагональної форм діаметром (діагоналю шестигранника) 20 мм та висотою 20 мм були вирізані з однієї кристалічної булі і мали близькі коефіцієнти пропускання світла в інтервалі довжин хвиль 330 - 700 нм. Дослідження біли проведені із зразками з полірованою та дифузною поверхнями у різних умовах оптичного контакту та відбивання світла. Найкраща енергетична роздільна здатність (ширина піка на половині висоти 9.2 % для гамма-лінії ^{137}Cs з енергією 662 кеВ) була отримана з кристалом гексагональної форми, що мав дифузну бічну поверхню та поліровані торці з тефлоновим відбивачем. В цьому випадку кристал був оптично з'єднаний з фотоелектронним помножувачем (ФЕП). Найбільша амплітуда сигналу була зареєстрована для кристалу гексагональної форми, що мав дифузну бічну поверхню, з відбивачем світла виробництва компанії ЗМ, у оптичному контакті з ФЕП. У вимірюваннях без оптичного контакту (саме такими є умови роботи кріогенного сцинтиляційного болометра) найкращі результати були отримані для кристала гексагональної форми з дифузною

поверхнею та відбивачем ЗМ віддаленим від поверхні кристала на 3 мм. Моделювання світловиходу кристалів було проведено за допомогою програм ZEMAX та GEANT4. Результати моделювання задовільно узгоджуються з експериментальними даними, зокрема, показують що гексагональна форма та дифузна поверхня кристалів є найбільш доцільними з огляду на оптимізацію сцинтиляційних властивостей у криогенних сцинтиляційних болометрах з використанням кристалів з високим коефіцієнтом заломлення.

РІВНЯННЯ РУХУ В УЗАГАЛЬНЕНИХ ТЕОРІЯХ ГРАВІТАЦІЇ

П. О. Наказной

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Загальна теорія відносності має численні підтвердження у астрофізичних спостереженнях та узгоджується у ньютонівській границі із класичною механікою. Однак для задовільного опису сучасних спостережень з астрофізики та космології в рамках ЗТВ необхідно припустити існування так званих темної матерії та темної енергії. При цьому, незважаючи на задовільне пояснення спостережуваних даних за допомогою введення темної речовини, залишається невідомою її мікроскопічна природа. Більш того, у стандартній моделі фізики елементарних частинок не містяться частинки що могли б розглядатись як кандидати на носії темної матерії, а в рамках квантово-польових моделей неможна отримати значення густини енергії вакууму що є зіставним із густиною темної енергії.

Сьогодні вельми перспективним альтернативним шляхом до подолання зазначених труднощів вважається пошук модифікацій саме рівнянь Айнштайна, як основних рівнянь гравітаційної теорії, що використовуються у якості теоретичної парадигми для обробки усіх спостережуваних даних в яких вимагається існування темної речовини. Особливу увагу останнім часом приділяється теоріям у яких враховуються поправки за кривиною простору-часу, які інтерпретуються як відгук вакууму на своє викривлення [1]. Дійсно, якщо речовина викривлює простір у якому знаходиться, то логічно припустити що й характеристики вакууму, який також міститься у цьому просторі, також змінюються, тобто вакуум «відгукується» на своє викривлення і протидіє своєму викривленню впливаючи на речовину.

У даних теоріях рівняння руху взагалі кажучи можуть відрізнитись від рівнянь геодезичних. Отримання їх з одного боку необхідне для проведення локальних тестів та з'ясування коректності теорії, а з іншого корисне для спроб опису ефектів темної речовини [2]. Показано, що звичний спосіб отримання рівнянь руху для точкової частинки, що полягає у безпосередньому інтегруванні польових рівнянь з тензором енергії-імпульсу точкової частинки, не застосовний, що обумовлено наявністю похідної від дельта-функції у польових рівняннях. Ця узагальнена функція призводить до поя-

ви неасоціативності у рівняннях, яка в загальному випадку не компенсується на відміну від загальної теорії відносності. Подібна ситуація виникає у класичній механіці при врахуванні неголономних зв'язків, наприклад сили тертя, в результаті чого для опису таких систем відмовляються від поняття потенціалу та застосовують метод множників Лагранжа. Спроби використання даного методу, що є в літературі, пов'язані із громіздкими обчисленнями. Тому в роботі запропонований інший метод отримання рівнянь руху, що полягає у переозначенні (перенормуванні) тензору енергії-імпульсу. Для цього слід розглядати його як симетричну функцію з обмеженим носієм, яка дозволяє зберегти асоціативність відносно множення у польових рівняннях.

З результатів дослідження можна ще раз зробити висновок про видатне місце загальної теорії відносності серед теорій гравітації: вона однозначно фіксує закон збереження енергії для речовини та зв'язок між законами збереження та рівняннями руху. Будь яка модифікація польових рівнянь призводить, передусім за рахунок тотожності Б'янкі, до модифікацій законів збереження та рівнянь руху, причому самі методи їх отримання набувають неоднозначності, яку потрібно досліджувати додатково.

1. *Наказной П.А.* ЖЭТФ. - 2008. - Т. 134, № 3. - С. 481 - 489.
2. *Наказной П.А.* *Астрономический журнал.* - 2010. - Т. 87, № 2. - С. 141 - 145.

ПРОБЛЕМА ТЕМНОЇ РЕЧОВИНИ ТА ФІЗИКА ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК

П. О. Наказной

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Астрофізичні спостереження останніх років ще раз наголошують на необхідності тісного зв'язку між астрофізикою та космологією з одного боку та фізикою елементарних частинок і зокрема фізикою високих енергій з іншого. Для задовільного опису астрофізичних даних слід припустити існування так званих темної матерії та темної енергії, при чому темна речовина повинна складати приблизно 96 % речовини у Всесвіті. Зокрема для опису кривих обертань галактик, гравітаційного лінзування, спостереження анізотропії реліктового випромінювання (Нобелівська премія 2006 р.) слід ввести темну матерію, яка не взаємодіє зі звичайною речовиною жодним чином окрім гравітаційної взаємодії. Вона локалізується у вигляді гало навколо видимих частин галактики та призводить до того що швидкість обертання навколо центру галактики не спадає з відстанню до її центра а залишається постійною або повільно зростає до відстаней порядку 10 - 20 видимих радіусів галактики. Для опису спостережень над надновими з яких впливає сучасне прискорене розширення Всесвіту (Нобелівська премія 2011 р.) до рівнянь Фрідмана, які впливають із ЗТВ для масштабного фактору однорідного та ізотропного Всесвіту, слід ввести так званий

λ -член, який за своїм сенсом повинен бути сталою або слабо залежною у просторі та часі густиною деякої речовини, так званої темної енергії. Оскільки темна енергія повинна рівномірно заповнювати Всесвіт та мати сталу у часі густину енергії її зв'язують із густиною енергії фізичного вакууму – основного стану квантових полів.

Однак, незважаючи на задовільне пояснення спостережуваних даних за допомогою феноменологічного введення темної речовини, залишається невідомою її мікроскопічна природа. Більш того, у стандартній моделі фізики елементарних частинок не містяться частинки що могли б розглядатись як кандидати на носії темної матерії, а в рамках квантово-польових моделей неможна отримати значення густини енергії вакууму що є зіставним із густиною темної енергії.

Спроби мікроскопічної інтерпретації темної речовини сьогодні просуваються, в основному, в двох напрямках. З одного боку, якщо припустити існування темної речовини, слід модифікувати стандартну модель та квантову теорію поля. Це відбувається за рахунок додавання нових частинок, існування яких можна обґрунтувати в рамках нових квантово-польових моделей, які засновані на високорозмірних калібрувальних групах симетрії, зокрема суперсиметричних теорій із відповідними механізмами порушення симетрії тощо. В іншому підході припускається що ефекти з якими зв'язують темну речовину можна пояснити шляхом модифікації теорії гравітації, яка використовується як теоретична парадигма для опису астрофізичних та космологічних спостережень. Зокрема модифікація польових рівнянь може принципово призводити до модифікації рівнянь руху (від яких залежить обробка спостережень темної матерії) та рівнянь для масштабного фактору (які використовуються при вивченні ефекту темної енергії). При цьому слід вивчити можливі наслідки даних теорій для явищ в області високих енергій та їх співставлення із спостереженнями. Серед таких теорій MOND, F(R)-гравітація, нелагранжева гравітація тощо.

ПОШУК СУПЕРЧАСТИНОК НА КОЛАЙДЕРІ LHC ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИМУЛЯЦІЇ

Т. В. Обіход

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

ПОИСК СУПЕРЧАСТИЦ НА КОЛЛАЙДЕРЕ LHC ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО СИМУЛИРОВАНИЯ

Т. В. Обиход

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

В контексте минимальной суперсимметричной стандартной модели [1] построены гистограммы распределения масс для суперпартнеров: \tilde{q}_R, \tilde{g} .

Анализ последних экспериментальных данных на установке CMS [2] позволяет свести набор параметров минимальной суперсимметричной стандартной модели к новым пяти параметрам. Применение компьютерных программ SUSY-HIT и PUTHIA с использованием этого набора параметров дает возможность посчитать массовый спектр суперпартнеров, каналы распадов и сечения рождения суперчастиц, поиск которых реализуется на коллайдере LHC.

1. H.E. Haber // arXiv: hep-ph/9306207.
2. CMS Collaboration, e-print arXiv: 1109.2352 [hep-ex] (2011).

СИСТЕМА РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ЕКСПЕРИМЕНТУ LHCb

О. Ю. Охріменко¹, В. М. Пугач¹, В. М. Яковенко^{1,2}

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *LAL, Орсе, Франція*

Представлено дані по розподілу дози, поглиненої кремнієвими мікростріповими детекторами Внутрішнього Трекера експерименту LHCb [1] у 2011 р. в протон-протонних зіткненнях при енергії 7 TeV для інтегральної світимості $1,2 \text{ fb}^{-1}$. Наводяться характеристики Системи Радіаційного Моніторингу (СРМ) [2], створеної в ІЯД НАН України для вимірювання та контролю за радіаційними навантаженнями Внутрішнього Трекера експерименту LHCb. СРМ базується на радіаційностійких Металевих Фольгових Детекторах (МФД) та спеціально розроблених чутливих зарядових інтеграторах [3]. СРМ забезпечує в реальному часі вимір потоків заряджених частинок із точки взаємодії IP-8 (експеримент LHCb) та радіаційного фону. Ці дані дозволяють розрахувати зростання зворотнього струму в кремнієвих сенсорах, ініційоване впливом радіації, а також забезпечують моніторинг інтегральної світимості експерименту. Результати, отримані за допомогою СРМ у 2010 - 2011 рр. під час зіткнень протонних пучків на прискорювачі LHC, добре узгоджуються із розрахунками радіаційних навантажень в рамках моделі FLUKA [4].

1. LHCb Collaboration, JINST S08005 (2008).
2. V. Pugatch et al., Ukr. J. Phys 54(4), 418 (2009).
3. V. Pugatch et al., LHCb Note 2007-062.
4. <http://lhcb-background.web.cern.ch/lhcb-ackground/Radiation/RadLevels.htm>

ТРИГЕР МНОЖИННОСТІ ЕКСПЕРИМЕНТУ СВМ НА ОСНОВІ МЕТАЛЕВО-ФОЛЬГОВИХ ДЕТЕКТОРІВ

Я. В. Панасенко, М. С. Борисова, В. М. Пугач

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Експеримент СВМ (Дармштадт, Німеччина) має на меті дослідження фазової діаграми КХД, зокрема пошук критичної точки переходу до кварк-глюонної плазми. Інтенсивності взаємодії мають бути високими (10 МГц) для пошуку надзвичайно рідких подій. Фізика СВМ вимагає створення новітніх детекторних систем, концепцій тригера та систем накопичення даних. За умовами високих множинностей подій детектор має вимірювати адронні, лептонні та фотонні спостережувані величини у великому аксептансі.

В даній роботі представлена ідея тригера множинності на основі металевих фольгових детекторів (МФД), розроблених в ІЯД НАН України. Такі детектори мають ряд переваг (висока радіаційна стійкість, мікронна товщина, конструктивна простота, тощо). Металеві фольгові детектори успішно використовуються в Системі радіаційного моніторингу експерименту LHCb (CERN), а також в численних застосуваннях металевих мікродетекторів.

Центральні зіткнення важких іонів, при яких найбільш імовірно утворення надгустих станів речовини, супроводжуються великою множинністю подій (в зіткненнях ядер золота, наприклад, при енергії 25 А*ГеВ може утворитись до 10 000 частинок на одну взаємодію). Такі потоки частинок достатні для функціонування МФД, і тому їх можна використати для створення тригера множинності. Представлено дизайн тригерної системи для умов геометрії експерименту СВМ.

МАСОВІ РОЗПОДІЛИ УЛАМКІВ ФОТОПОДІЛУ ^{241}Am ПРИ МАКСИМАЛЬНІЙ ЕНЕРГІЇ ГАЛЬМІВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ 12,5 МеВ

**О. О. Парлаг^{1,2}, Т. В. Гаврилець², О. І. Лендел¹,
В. Т. Маслюк¹, В. М. Головей¹**

¹ *Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород*

² *Ужгородський національний університет, Ужгород*

Методом напівпровідникової гамма-спектроскопії проведено вимірювання кумулятивних виходів ($^{85\text{m}}\text{Kr}$, $^{91\text{m}}\text{Y}$, ^{92}Sr , ^{97}Zr , ^{99}Mo , ^{105}Ru , ^{131}Te , ^{132}Te , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I , ^{138}Cs , ^{139}Ba , ^{140}Ba , ^{142}La , ^{143}Ce , ^{147}Nd , ^{149}Nd) уламків фотоподілу ^{241}Am при максимальній енергії гальмівного випромінювання 12.5 МеВ [1]. Опромінювання мішені ^{241}Am проводилися на мікротроні М-30 ІЕФ НАН України. Очищення пучка гальмівного випромінювання від фотонейтронів здійснювали за допомогою фільтра, виготовленого з монокристалічного

тетраборату літію. Сумарна помилка вимірювань кумулятивних виходів не перевищувала 8 % й оцінювалася з урахуванням статистичних похибок інтенсивності фотопіків від окремих уламків, аналізу часових залежностей, розкиду усереднених по окремих експериментах значень, помилок інтерпольованих значень ефективності та ядерно-фізичних констант уламків. Використовуючи напівемпіричну формулу для розподілу середніх зарядів уламків з даним масовим числом і параметрами з [2], розраховані повні виходи продуктів ділення, підсумовані по всьому масовому ланцюжку. На гладкій кривій виходів масового розподілу важких уламків фотоділення ^{241}Am спостерігається тонка структура, що узгоджується з існуючими експериментальними даними, отриманими з використанням аналогічної методики досліджень при поділі швидкими нейтронами [3] та фотоподілі [1, 4] актинідних ядер. Масовий розподіл проаналізований у рамках моделі «мультимодального поділу» з виділенням асиметричних каналів розпаду та отримані оцінки їх внеску.

1. О.О. Парлаг та ін. Масові розподіли уламків фотоподілу ^{237}Np при енергії 12,5 MeV // Ядерна фізика та енергетика - 2009. - Т. 10, № 3. - С. 288 - 292.
2. A.D. Efimenko et al. The ASIND-MEPHI fission product yield data-base // Proc. of «Nuclear data for science and technology», 1988, Mito, Japan. - P. 971- 974.
3. Iyer R. et al. Measurement of Absolute Fission Yields in the Fast Neutron-Induced Fission of Actinides: ^{238}U , ^{237}Np , ^{238}Pu , ^{240}Pu , ^{243}Am , and ^{244}Cm by Track-Etch-cum-Gamma Spectrometry // Nuclear Science Eng. - 2000. - V. 135. - P. 227 - 245.
4. H. Naik et al. Mass distribution in the bremsstrahlung-induced fission of ^{232}Th , ^{238}U and ^{240}Pu // Nucl. Phys. A. - 2011. - V. 853. - P. 1 - 25.

ПРУЖНЕ ТА НЕПРУЖНЕ РОЗСІЯННЯ ЯДЕР $^6\text{Li} + ^{18}\text{O}$

**А. Т. Рудчик¹, Р. М. Зелінський¹, А. А. Рудчик¹, Є. І. Кошій^{3,7},
В. А. Плюйко², О. А. Понкратенко¹, С. Ю. Межевич¹,
Вал. М. Пірнак¹, А. П. Льїн¹, В. В. Улещенко¹, С. Клічевскі⁴,
К. Русек^{5,6}, Р. Сюдак⁴, Я. Хоїньскі⁶, Б. Чех⁴, А. Щурек⁴**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ

³ Харківський національний університет, Харків

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

⁵ Національний центр ядерних досліджень, Варшава, Польща

⁶ Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

⁷ Відділ фізики Університету Штату Флориди, Таллахассі, США

Отримано нові експериментальні дані диференціальних перерізів пружного й непружного розсіяння ядер $^6\text{Li} + ^{18}\text{O}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}(^{18}\text{O}) = 114$ MeV (рис. 1 і 2) з використанням пука іонів ^{18}O Варшавського циклотрону С-200Р.

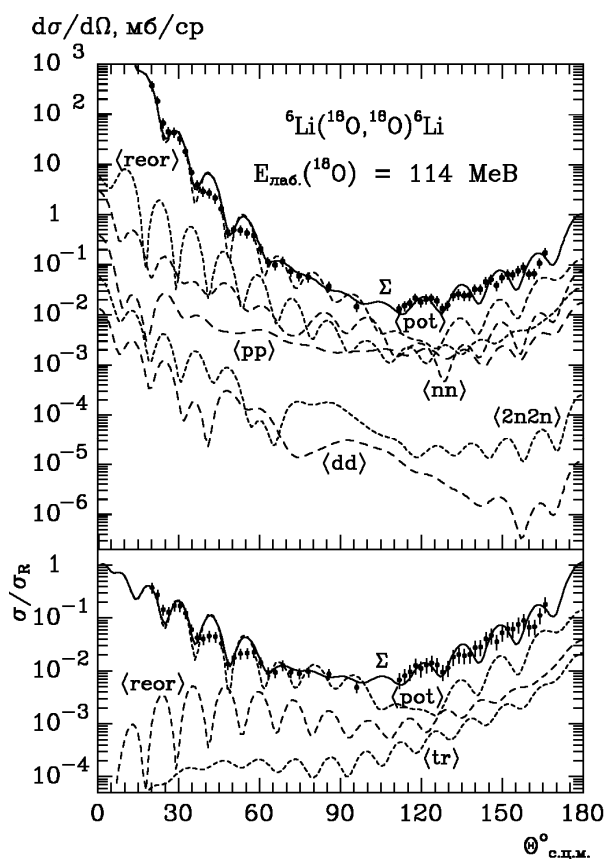


Рис. 1. Диференціальні перерізи пружного розсіяння ядер ${}^6\text{Li} + {}^{18}\text{O}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^{18}\text{O}) = 114 \text{ MeB}$. Криві – МЗКР-розрахунки Криві $\langle \text{tr} \rangle$ і Σ - суми перерізів реакцій передач та всіх процесів відповідно.

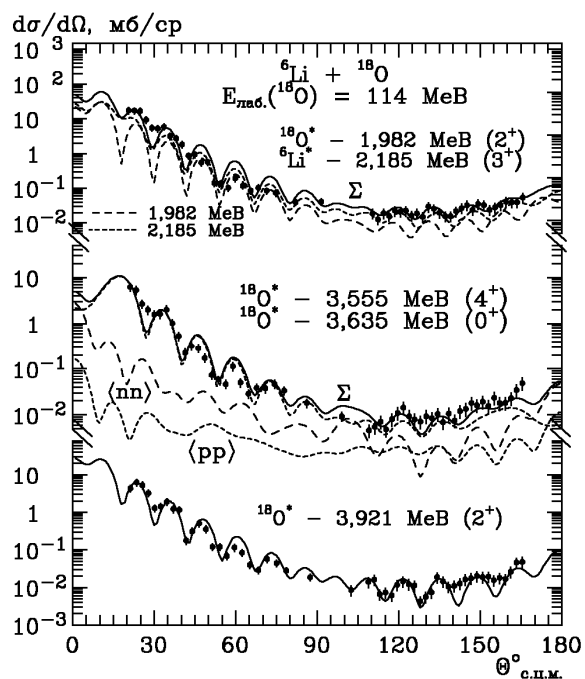


Рис. 2. Диференціальні перерізи непружного розсіяння ядер ${}^6\text{Li} + {}^{18}\text{O}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^{18}\text{O}) = 114 \text{ MeB}$. Криві – МЗКР-розрахунки для колективних збуджень ядер та реакцій передач нуклонів (криві $\langle \text{nn} \rangle$ та $\langle \text{pp} \rangle$).

Експериментальні дані проаналізовано за оптичною моделлю (ОМ) та методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР). Визначено параметри потенціалу взаємодії ядер ${}^6\text{Li} + {}^{18}\text{O}$, параметри деформації ядер ${}^6\text{Li}$ і ${}^{18}\text{O}$ та механізми розсіяння цих ядер. Установлено, що в пружному розсіянні іонів ${}^{18}\text{O}$ на малі та середні кути домінує потенціальне розсіяння, а на великі кути – потенціальне розсіяння та реорієнтація ${}^6\text{Li}$ (криві <geog> на рис. 1). Реакції передач нуклонів та d- і 2n-кластерів (криві <pn>, <pp>, <2n2n> і <dd> на рис. 1) не відіграють суттєвої ролі.

Досліджуються ізотопічні відмінності в розсіянні ядер ${}^{6,7}\text{Li} + {}^{18}\text{O}$ і ${}^6\text{Li} + {}^{16,18}\text{O}$ та в параметрах потенціалів взаємодії цих ядер. Установлено, що потенціали взаємодії цих ядер, відрізняються в основному своїми уявними частинами.

ЕНЕРГЕТИЧНА ЗАЛЕЖНІСТЬ РОЗСІЯННЯ ЯДЕР ${}^6\text{Li} + {}^{16}\text{O}$ ТА ІЗОТОПІЧНІ ВІДМІННОСТІ ПОТЕНЦІАЛІВ ВЗАЄМОДІЇ ЯДЕР ${}^{6,7}\text{Li} + {}^{16}\text{O}$

А. Т. Рудчик¹, Р. М. Зелінський¹, В. А. Плюйко², О. А. Понкратенко¹,
А. П. Ільїн¹, Вал. М. Пірнак¹, А. А. Рудчик¹, В. В. Улещенко¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ

Відомі з літератури експериментальні дані пружного розсіяння ядер ${}^6\text{Li} + {}^{16}\text{O}$ при енергіях $E_{\text{с.ц.м.}} = 3,27 - 36,8$ МеВ проаналізовано за оптичною моделлю (ОМ) та методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР) з включенням у схему зв'язку каналів пружного й непружного розсіяння ядер, реорієнтації спіна ядра ${}^6\text{Li}$ та найпростіших реакцій передач.

Визначено внески процесів потенціального розсіяння, реорієнтації спіна ядра ${}^6\text{Li}$ та найпростіших реакцій передач при різних енергіях (рис. 1). Установлено, що в розсіянні іонів на малі та середні кути домінує потенціальне розсіяння, а кутові розподіли на великих кутах обумовлені також нуклонними обмінами.

Визначено параметри потенціалу Вудса - Саксона для взаємодії ядер ${}^6\text{Li} + {}^{16}\text{O}$ при різних енергіях та енергетичну залежність їх з врахуванням дисперсійної залежності між дійсною та уявною частинами потенціалу (рис. 2).

Виявлено й досліджено ізотопічні відмінності потенціалів взаємодії ядер ${}^6\text{Li} + {}^{16}\text{O}$ та ${}^7\text{Li} + {}^{16}\text{O}$.

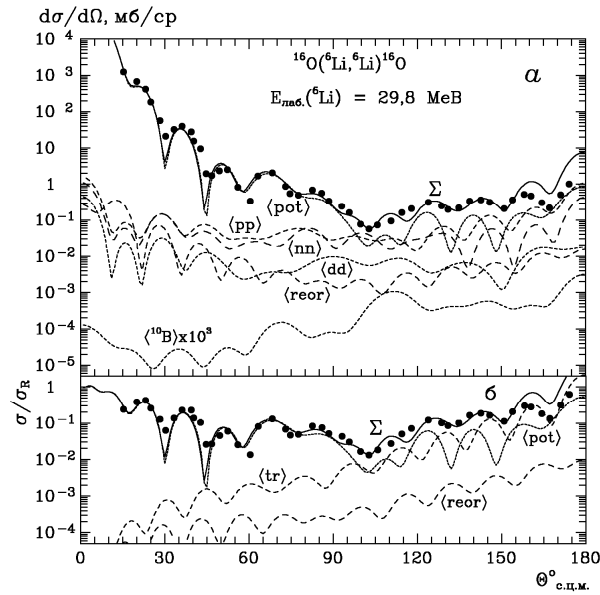


Рис. 1. Диференціальні перерізи пружного розсіяння ядер $^{16}\text{O} + ^6\text{Li}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}(^6\text{Li}) = 29,8 \text{ MeV}$ [3]. Криві – МЗКР-розрахунки для потенціального розсіяння (крива $\langle \text{pot} \rangle$), реорієнтації ядра ^6Li (крива $\langle \text{reor} \rangle$), передачі ^{10}B -кластера (крива $\langle ^{10}\text{B} \rangle$), обміну нейтронами, протонами й дейтронами (криві $\langle \text{nn} \rangle$, $\langle \text{pp} \rangle$ і $\langle \text{dd} \rangle$ відповідно). Криві $\langle \text{tr} \rangle$ і Σ – когерентні суми реакцій передач та всіх процесів відповідно.

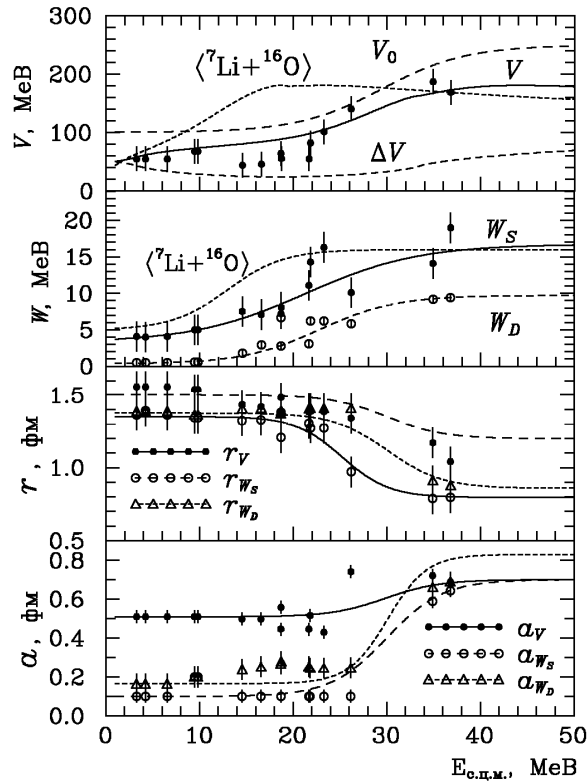


Рис. 2. Енергетична залежність параметрів потенціалу взаємодії ядер $^6\text{Li} + ^{16}\text{O}$ порівняно з відповідними залежностями параметрів V і W_S потенціалу взаємодії ядер $^7\text{Li} + ^{16}\text{O}$ (криві $\langle ^7\text{Li} + ^{16}\text{O} \rangle$).

СПЕКТРОСКОПІЯ НАЙЛЕГШИХ ЯДЕР ТА PARTICLE-DECAU МЕТОД

О. М. Поворозник, О. К. Горпинич

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Переважаюча більшість збуджених рівнів найлегших ядер так і власне основних станів цих ядер нестабільні і розпадаються шляхом випромінювання кластерів та нуклонів. Точне визначення енергії збудження, часу життя та способу розпаду цих незв'язаних рівнів є дуже важливим для вивчення природи ядерних сил. Найбільш поширеними способами вивчення цього феномену є вимірювання та аналіз інклюзивних спектрів квази - двочастинкових ядерних реакцій та R-аналіз пружного розсіяння розпадних компонентів, яким властиві певні недоліки і обмеження до практичного використання.

Даний оглядовий доклад присвячено особливостям альтернативного так званого методу «particle-decau» спектроскопії, який ґрунтується на кореляційному вивченні ядерних реакцій з виходом трьох та чотирьох тіл і дозволяє одночасно не тільки визначати енергії збудження, часи життя, способи розпаду незв'язаних рівнів в широкому енергетичному діапазоні спектрів збудження найлегших ядер, але і встановити співвідношення різних мод розпаду цих рівнів.

Крім того приводяться базовані на цьому підході експериментальні дослідження тричастинкових ${}^2\text{H}(\alpha, p\alpha)n$, ${}^3\text{He}(\alpha, p\alpha)d$ та чотиричастинкової ${}^3\text{H}(\alpha, p\alpha)np$ та ${}^{12}\text{C}(\alpha, \alpha\alpha)\alpha\alpha$ реакцій, виконані при енергії пучка альфа-частинок 27,2 MeV, а також численних тричастинкових каналів ядерних реакцій (${}^3\text{H}(\alpha, d\alpha)n$, ${}^3\text{H}(\alpha, tt)$, ${}^3\text{H}(\alpha, \tau t)n$, ${}^3\text{H}(\alpha, dd)t$, ${}^3\text{H}(\alpha, td)d$ та ${}^3\text{He}(\alpha, td)pp$), спричинених взаємодією пучка альфа-частинок з енергією 67,2 MeV, які дозволили вивчити енергетичні характеристики схем збудження найлегших атомних ядер ${}^4\text{H}$, ${}^4\text{He}$, ${}^5\text{He}$, ${}^5\text{Li}$, ${}^6\text{He}$, ${}^6\text{Li}$ та ${}^8\text{Be}$, встановити моди їх розпаду а також визначити співвідношення цих мод, наприклад, для 2 - 4 збуджених станів ядра ${}^4\text{He}$.

Слід зауважити метод «particle-decau» спектроскопії є потужним інструментом для вивчення численних «білих плям», що наявні в спектрах збудження найлегших ядер і дозволить уточнити їх будову.

ОСТАТОЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ З ПОШУКУ ПОДВІЙНОГО БЕТА-РОЗПАДУ ІЗОТОПІВ РУТЕНІЮ

П. Беллі¹, Р. Бернабей¹, Г. П. Ковтун², Н. Г. Ковтун², Ф. А. Даневич³,
С. д'Анжело¹, А. Інчікитті⁴, Ф. Каппела⁴, М. Лаубенштейн⁴,
О. Г. Поліщук³, Д. Проспері⁵, Д. А. Солопихін², В. І. Третяк³,
Р. Черуллі⁴, А. П. Щербань²

¹ Римський університет "Тор Вергата"

та відділення Національного інституту ядерної фізики, Рим, Італія

² ННЦ "Харківський фізико-технічний інститут" НАН України, Харків

³ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

⁴ Національна лабораторія Гран Сассо, Асерджі, Італія

⁵ Римський університет "Ла Сапієнца"

та відділення Національного інституту ядерної фізики, Рим, Італія

Пошук безнейтринного 2β -розпаду є одним із актуальних напрямків фізики ядра і частинок завдяки можливості визначити природу нейтрино (частинка Дірака чи Майорани?), оцінити масу та схему масових станів нейтрино, перевірити закон збереження лептонного заряду та існування гіпотетичних правих токів в слабкій взаємодії. У той час як безнейтринний подвійний бета-розпад із випромінюванням β^- частинок розглядається як найбільш підходящий для досліджень властивостей нейтрино, процеси безнейтринного подвійного електронного поглинання (2ε), електронного поглинання з випромінюванням позитрона ($\varepsilon\beta^+$) та подвійний позитронний розпад ($2\beta^+$) можуть дати важливу інформацію про внесок правих токів. Ізотоп ^{96}Ru є перспективним кандидатом для дослідження цих процесів завдяки його високій природній розповсюженості (5,54 %) та досить великій енергії 2β -розпаду (2718 кеВ). Попередні вимірювання методами низькофонові гамма-спектрометрії зразків рутенію показали, що чутливість експерименту обмежена радіоактивною забрудненістю рутенію калієм з концентрацією $\sim 10^{-4}$ г/г та елементами рядів урану і торію. З метою зниження радіоактивного фону рутеній був очищений у ННЦ "Харківський фізико-технічний інститут" НАН України, завдяки чому рівень забрудненості калієм зменшився на порядок. Були здійснені повторні вимірювання очищеного рутенію за допомогою наднизькофонового гамма-спектрометра з 4-ма напівпровідниковими германієвими детекторами об'ємом ~ 225 см³ з високою енергетичною роздільною здатністю 2 кеВ. Накопичені експериментальні дані були проаналізовані на предмет виявлення процесів 2β -розпаду ізотопів ^{96}Ru та ^{104}Ru . Отримані нові обмеження на періоди напіврозпаду ^{96}Ru відносно різних мод 2ε , $\varepsilon\beta^+$ та $2\beta^+$ розпаду в межах 10^{18} - 10^{20} років, що на 2 - 3 порядки вище, ніж у попередніх роботах. Вперше отримано обмеження на період напіврозпаду для подвійного бета-розпаду ^{104}Ru на перший збуджений 2^+ рівень ^{104}Pd .

ЕНЕРГЕТИЧНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПРУЖНОГО РОЗСІЯННЯ $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$

О. А. Понкратенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Пружне розсіяння іонів ^{16}O на ядрах ^{12}C досліджувалося для широкої області енергій налітаючого іона від 1 до 100 МеВ/нуклон у багатьох роботах [1] - [3]. Проте, незважаючи на велику кількість досліджень потенціалу за оптичною моделлю (ОМ), для опису кутових розподілів пружного розсіяння $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ до кожної з енергій, не було знайдено енергетичної залежності ОМ-потенціалу, яка б достатньо задовільно описувала розсіяння для цієї системи ядер в широкому діапазоні енергій налітаючого іона. Основними проблемами у вирішенні цієї задачі є: неоднозначність визначення параметрів ОМ потенціалу для кожної з енергій, неоднозначність вибору форми енергетичної залежності параметрів ОМ потенціалу.

Для того, щоб знайти таку залежність параметрів ОМ потенціалу спочатку для кожної з 42 енергій налітаючого іона були знайдені набори радіальних залежностей ОМ потенціалу $U(r) = V(r) + iW(r)$, що задовільно описують кутові розподіли пружного розсіяння. Показано, що $V(r)$ і $W(r)$ кожного набору потенціалів мають близькі значення для достатньо вузької радіальної області з центрами $R_V^c(E)$ і $R_W^c(E)$, що дозволяє зробити висновок, що саме ця область $V(r)$ і $W(r)$ визначає поведінку матриці розсіяння. Енергетична залежність $U(r, E) = V(r, E) + iW(r, E)$ задавалася експоненціальною параметризацією глибини, радіусу та дифузності $V(r, E)$ і $W(r, E)$. Параметри енергетичної залежності $U(r, E)$ визначалися мінімізацією функції χ^2 для кутових розподілів пружного розсіяння $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ для кожної з 42 енергій налітаючого іона. Були також знайдені параметри енергетичної залежності $W(r, E)$ для такої моделі потенціалу, в якій $V(r, E) = N_r V_F(r, E) + \Delta V(r, E)$, де $V_F(r, E)$ – потенціал подвійної згортки (слабка енергетична залежність якого визначається обмінною частиною нуклон-нуклоної взаємодії та її залежністю від густини), N_r – параметр нормування, $\Delta V(r, E)$ – енергетично залежна частина потенціалу, отримана з $W(r, E)$ за допомогою дисперсійного співвідношення.

Приведено порівняння експериментальних кутових розподілів для всіх енергій налітаючого іона з розрахованими за ОМ параметрами залежними від енергії та з параметрами, отриманими при мінімізації функції χ^2 для кутових розподілів кожної енергії окремо.

1. M.P. Nicoli et al. // Phys.Rev. – 2000.- Vol. C61. P.034609.
2. A.A. Ogloblin et al. // Phys.Rev. – 2000.- Vol. C62. P.044601.
3. C. Gao et al. // Phys.Lett. – 1997.- Vol. B408. P.7.

ДИНАМІКА ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ У МЕТАЛАХ СПОСТЕРЕЖУВАНА МІКРОПІКСЕЛЬНИМ ДЕТЕКТОРОМ TimePix

**М. В. Пугач^{1,2}, О. С. Ковальчук¹, В. М. Пугач¹, Д. І. Сторожик¹,
А. В. Чаус¹, В. В. Бурдін³, С. О. Фірстов³, Ю. Подрезов³, Б. Мінаков³,
М. Кемпбел⁴, К. Ллопарт⁴, Л. Тлустос⁴, С. Поспішил⁵**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ

³ Інститут проблем матеріалознавства НАН України, Київ

⁴ ЦЕРН, Женева, Швейцарія

⁵ Інститут експериментальної та прикладної фізики, Прага, Чехія

Колаборація MEDIPIX (CERN) розробила мікропиксельний детектор TimePix, який знайшов численні застосування [1]. Зокрема, в режимі металевого мікро-детектора він був з успіхом випробуваний як елемент електронної фокальної площини мас-спектрометра [2] а також для виміру та зображення в реальному часі розподілу доз від кількох пучків на установці фракціонованої радіаційної терапії на синхротроні ESRF (Grenoble).

У даній роботі представлені результати дослідження можливості застосування детектора TimePix для вимірювання та відображення в реальному часі динаміки фазових перетворень в металах та їх сполуках при нагріванні та охолодженні. Дослідження проводились на установці швидкісного рентгеноструктурного аналізу [3] Інституту проблем матеріалознавства НАН України.

При експозиціях від кількох десятків до кількох сотень мілісекунд з точністю порядку 20 мікрон спостерігали еволюцію положення дифракційних максимумів розсіяних рентгенівських квантів (енергія ~ 10 кеВ) по мірі нагрівання чи охолодження досліджуваних зразків. Наводяться результати для визначених в такий спосіб параметрів альфа-, гамма-фаз в температурному діапазоні від 20 до 1200 °С при переході від ферриту до аустеніту в металевому зразкові.

1. <http://medipix.web.cern.ch/MEDIPIX/>

2. V. Pugatch, et al., Nucl. Instr. and Meth. A 650 (2011) 194 - 197.

3. В.В. Бурдін, Н.В. Мінаков, Р.И. Попчук, В.Ю. Пучкова, Г.Е. Хоменко. Заводская лаборатория. 2006, № 3, т. 72, с. 41 - 43.

НЕ-МАРКІВСЬКА ДИФУЗІЯ ЧЕРЕЗ ПОТЕНЦІАЛЬНИЙ БАР'ЄР У ПРИСУТНОСТІ ПЕРІОДИЧНОЇ ЧАСОВОЇ МОДУЛЯЦІЇ

В. М. Коломієць, С. В. Радіонов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У даній роботі ми досліджуємо процес дифузії через одно-бар'єрний потенціал у присутності синусоїдальної часової модуляції. Дифузія через

бар'єр генерується кольоровим шумом статистичні властивості якого пов'язані із дисипативними властивостями досліджуваної нелінійної системи. Обчисливши середній час руху системи від положення мінімуму потенціала до вершини бар'єру для різних частот модуляції, ми знайшли, що синусоїдальне збурення прискорює дифузію через бар'єр. Максимальне (резонансне) прискорення досягається при певній резонансній частоті збурення, яка обернено пропорційна до середнього часу руху від положення мінімуму потенціала до вершини бар'єру у відсутності модуляції.

МЕХАНІЗМИ ПІДБАР'ЄРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ДЕЙТРОНІВ З ЯДРАМИ $^{58,62}\text{Ni}$, ^{124}Sn ТА ^{208}Pb

Ю. М. Павленко, О. І. Рундель, К. О. Теренецький,
В. П. Вербицький, І. П. Дряпаченко, В. В. Осташко, О. К. Горпинич,
Л. І. Слюсаренко, Ю. Я. Карлишев, А. В. Степанюк, Е. М. Можжухін

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

З метою вивчення особливостей підбар'єрної взаємодії дейтронів з ядрами різної маси досліджено пружне розсіяння та реакції (d, p) на ядрах $^{58,62}\text{Ni}$, ^{124}Sn та ^{208}Pb . Експериментальні дані отримано на електростатичному прискорювачі ЕГП-10К ІЯД НАН України при енергіях дейтронів в діапазоні $E_d = 3,5 - 7,3$ MeV.

При енергіях, що є вдвічі нижчими кулонівського бар'єру, наприклад при $E_d = 4,0$ MeV для взаємодії $d + ^{124}\text{Sn}$, помітного відхилення перерізів пружного розсіяння від резерфордівських не виявлено. При вищих енергіях виміряні диференціальні перерізи пружного розсіяння дейтронів на всіх вище вказаних ядрах суттєво відрізняються від значень перерізів резерфордівського розсіяння та розрахованих теоретично з урахуванням процесів розщеплення та поляризації дейтронів в кулонівському полі ядра мішені.

Внесок кулонівського розщеплення дейтронів у спектральні розподіли протонів оцінювався з використанням наведеного в [1] алгоритму. З цією метою виконано розрахунки диференціальних та інтегральних за кутами емісії нейтронів перерізів реакцій $A(d, p)nA$. Аналіз розрахунків і вимірних інклюзивних спектрів протонів та їх інтегральних за енергією виходів показав, що виявлені відмінності експериментальних і теоретичних перерізів пружного розсіяння дейтронів на ядрах $^{58,62}\text{Ni}$, ^{124}Sn та ^{208}Pb зумовлені, в основному, не реакцією розщеплення $A(d, p)nA$, а неврахуванням в розрахунках процесом передачі нейтрона ядру мішені, тобто реакцією $A(d, p)A + 1$.

1. К.О. Теренецький, В.П. Вербицький // Ядерна фізика та атомна енергетика. - 2006. - № 1 (17). - С. 45 - 50.

ВПЛИВ КРИВИЗНИ ТА ДИФУЗНОСТІ НА ПОВЕРХНЕВИЙ НАТЯГ ЯДРА

В. М. Коломієць, С. В. Лук'янов, А. І. Санжур

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Запропоновано аналіз поправки на кривизну до величини поверхневого натягу малої краплини із скінченим дифузним шаром. В роботі ідеологія розширеного наближення Томаса - Фермі з використанням ефективної взаємодії Скірма поєднується з прямим варіаційним методом. У нашому розгляді густини нейтронів та протонів генеруються профільними функціями з дифузним шаром, які знаходяться з вимоги стаціонарності енергії ядра відносно варіацій параметрів профільних функцій. Відповідно до концепції Гібса - Толмена визначаються два радіуси R_s і R_e . Перший, так званий радіус натягу R_s , відповідає мінімуму поверхневого натягу та задовольняє рівнянню Лапласа для капілярного тиску. Інший, R_e , це еквімолярний радіус, що відповідає еквімолярній поверхні розділу та визначає фізичний розмір краплини з різкою поверхнею, тобто визначає поверхню до якої застосовується поверхневий натяг. Різниця $R_e - R_s$ в граничному випадку нескінченної системи $A \rightarrow \infty$ становить значення довжини Толмена ξ . Згідно з означенням Толмена, поверхневий натяг $\sigma(R_e)$ прямує до граничного значення σ_∞ плоскої поверхні розділу як

$$\sigma(R_e) = \sigma_\infty (1 - 2\xi / R_e + O(R_e^{-2})).$$

Для незарядженої краплини було проведено розрахунок залежності поверхневого натягу від подвоєної кривизни $2/R_e$ до значень кількості нуклонів $A \sim 10^6$. Шляхом екстраполяції до нульової кривизни, визначено довжину Толмена ξ та граничне значення поверхневого натягу σ_∞ для декількох параметризацій взаємодії Скірма.

WEB-ІНТЕРФЕЙС ДЛЯ ПРОГРАМИ UMADAC

О. М. Семенюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

В ІЯД НАН України створено програму UMADAC для розрахунку періоду альфа-розпаду в рамках об'єднаної моделі альфа-розпаду та альфа-захвату (Денисов В.Ю., Худенко О.О.). Автори програми надали можливість вільного доступу до неї через мережу Інтернет. Для реалізації такого доступу було розроблено простий та зручний інтерфейс з використанням засобів розмітки тексту HTML та скриптової мови загального призначення PHP.

Інтерфейс має фрейм для вводу необхідних для розрахунку даних:

Number of nucleons in parent nucleus A (89-351)

Number of protons in parent nucleus Z (50-130)

Energy of alpha-decay transition Q (0.2-15)MeV

Orbital moment of alpha-transition L (0-10)

Quadrupole deformation of daughter nucleus beta_2 (-0.6 ... +0.6)

Hexadecapole deformation of daughter nucleus beta_4 (-0.5 ... +0.5).

Після натискання кнопки Confirm користувач отримує результати обчислення у форматі:

Number of nucleons in parent nucleus A: '101'

Number of protons in parent nucleus Z: '60'

Energy of alpha-decay transition Q: '11'

Orbital moment of alpha-transition L: '8'

Quadrupole deformation of daughter nucleus beta_2: '+0.3'

Hexadecapole deformation of daughter nucleus beta_4: '-0.4'

The result obtained in the framework of the UMADAC model (T1/2 in sec)

T1/2 = 0.17268E-15

log T1/2 = -15.763

The result obtained in the framework of the empirical relations with parameters for the total range of nuclei(T1/2 in sec)

T1/2 = 0.55431E-16

log T1/2 = -16.256

The result obtained in the framework of the empirical relations with parameters for the light range of nuclei (T1/2 in sec)

T1/2 = 0.16665E-15

log T1/2 = -15.778.

Програма UMADAC розташована на сайті www.kinr.kiev.ua у розділі “Корисні електронні ресурси”.

СПЕКТР ЕЛЕКТРОНІВ НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОБЛАСТІ, ЩО ВИНΙΚАЄ ПРИ ОПРОМІНЕННІ Au α -ЧАСТИНКАМИ ^{238}Pu

В. Т. Купряшкін, Л. П. Сидоренко, О. І. Феоктістов, Є. П. Ровенських

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Методом часових (αe)-збігів досліджений низькоенергетичний спектр електронів, що виникає внаслідок бомбардування атомів мішені Au α -частинками ^{238}Pu . Іонізація атомів при бомбардуванні їх зарядженими частинками розглядається як струс електронів в неперервний спектр при раптовому збуренні їх налітаючою частинкою.

Вимірювання енергетичного спектру електронів проводились у двох геометріях: на пропускання та відбиття. У роботі були виміряні часові спектри ($e\alpha$)-збігів в геометрії на пропускання і на відбиття в інтервалі від 0 до 400 V при різних значеннях затримуючого потенціалу U наступним чином:

від 0 до 50 V, через кожні 5 V, від 50 до 100 V, через кожні 10 V, від 100 до 200 V, через кожні 20 V, а також від 200 до 400 V, через кожні 50 V, всього 25 точок. Час виміру кожної точки становив 2 год, при цьому детектором МСР₁ кожного разу реєструвалось приблизно $7.2 \cdot 10^5$ α -частинок.

Опис розподілу електронів іонізації по енергії раніше було отримано нами для мішеней з Al та Cu. Тепер цей опис отриманий нами і для мішені Au, що має значно більше електронів на підоболонках атома ніж у Al та Cu і де також спостерігається гарне узгодження між експериментальним розподілом електронів по енергії в низькоенергетичній області з теоретичним, яке базується на представленні процесу іонізації як ефекту струсу.

АНАЛІЗ СПЕКТРОМЕТРИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ НА ОСНОВІ ЇХНЬОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ У ВИГЛЯДІ ЛІНІЙНОЇ КОМБІНАЦІЇ КОМПОНЕНТ

О. М. Соколов

Институт ядерних досліджень НАН України, Київ

АНАЛИЗ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ В ВИДЕ ЛИНЕЙНОЙ КОМБИНАЦИИ КОМПОНЕНТ

А. М. Соколов

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

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

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

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

Однако обычно при измерении и компонент и спектра присутствует фон. Поэтому вместо спектра измерение дает $Sp_j + Fon2_j$, а вместо компонент имеем спектры вида $sp_j^{(i)} + Fon1_j$. Чтобы $Fon1$ и $Fon2$ учесть, их измеряют отдельно ($Fon1$ в тех же условиях что и компоненты, а $Fon2$ в одних

условиях с первым спектром в серии измерений). Кроме этого, если меряется серия спектров, то условия этих измерений могут меняться, что отражается в изменении калибровки по энергии для каналов спектрометра. При этом спектр сдвигается и растягивается или сжимается по отношению к спектрам излучения компонент, измеренным при другой калибровке. Для сцинтилляционных детекторов такой эффект связан с зависимостью их характеристик от температуры.

Для корректности уравнения (1) необходимо привести результаты измерения спектра и отдельных компонент к одной системе каналов с одинаковой калибровкой по энергии. Для этого обычно выполняют калибровку по энергии для спектра и для отдельных компонент. Процедура может требовать измерений с использованием калибровочных источников.

Разработанный метод и программа не требуют знания калибровок по энергии, а только предполагают, что калибровки у компонент и $Fon1$ одинаковые, калибровка у $Fon2$ и первого в серии спектров совпадают, а у последующих спектров может отличаться. Предполагается также, что калибровки по энергии для спектров и для компонент, имеющие вид $E = Fs(k)$ и $E = Fc(k)$, связаны соотношением: $Fc(k) = Fs(a \cdot k + b)$. Программа не использует явный вид функций $Fs(k)$ и $Fc(k)$ и сама находит коэффициенты a и b . Задача в форме (1) преобразуется в задачу на минимум

$$\min_{a,b} \left(\min_{c_i} \left\| \sum_{i=0}^N c_i \cdot sp_j^{(i)} - Sp_{a \cdot j + b}^* \right\|^2 \right), \quad (2)$$

которая решается в два этапа (линейный для c_i и нелинейный для a и b). При этом спектр специальной процедурой «пересыпки» переводится на шкалу каналов компонент. Определение интересующей нас активности отдельных составляющих в образце производится по найденным коэффициентам c_i , по данным об активности эталонных источников и с учетом времени измерения отдельных компонент и спектра.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ КРЕМНІЄВИХ БАР'ЄРНИХ ДЕТЕКТОРІВ МЕТОДАМИ ЯДЕРНОГО МІКРОАНАЛІЗУ

**В. І. Сорока¹, С. О. Лебедь², М. Г. Толмачев²,
О. Г. Кухаренко², О. О. Веселов²**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Дослідницька лабораторія «Спектр», Фірма «Т.М.М.», Київ

Ядерними аналітичними методами резерфордівського зворотного розсіяння та індукованого частинками характеристичного рентгенівського випромінювання досліджено поверхневі шари пробної партії кремнієвих поверхнево-бар'єрних детекторів, які виготовляються в ІЯД НАН України.

Вимірювання виконано на прецизійній мікроаналітичній установці «Скануючий ядерний зонд», щойно уведений в експлуатацію в лабораторії «Спектр». Товщини шарів та їх однорідність значно впливають на спектрометричні параметри детекторів, перш за все на енергетичну роздільну здатність. Експеримент показав, що товщина шару золота, напиленого на поверхню детекторів, була рівною ~ 17 нм (для одного зразка) і ~ 20 нм (для другого зразка). Неоднорідність цих шарів по товщині не перевищує 1,6 нм і не виходить за межі похибки експерименту. Під золотом, на поверхні кремнію, виявлено значну кількість фтору. Імовірно, що це залишок після технологічної операції травлення поверхні зразків кремнію в суміші кислот, куди входить і плавикова (HF) кислота. Указано шлях можливої трансформації цього залишку. Виявлено також, що кількість фтору для серії вимірів сильно корелює з величиною струму альфа-частинок на мішені під час набору спектра. Очевидно, що локальний нагрів мішені залежить від величини струму. Звідси впливає різна швидкість локальної дифузії атомів фтору з місця опромінення. Одержані результати можуть бути використані для корегування технології виробництва детекторів.

ПОШУК ПОДВІЙНОГО БЕТА РОЗПАДУ ^{106}Cd ЗА ДОПОМОГОЮ ЗБАГАЧЕНОГО КРИСТАЛІЧНОГО СЦИНТИЛЯТОРА $^{106}\text{CdWO}_4$

П. Беллі¹, Р. Бернабей^{1,2}, Р. С. Бойко³, В. Б. Бруданін⁴,
Я. В. Васильєв⁹, Е. Н. Галашов⁹, Ф. А. Даневич³, С. д'Анджело^{1,2},
А. Інчікітті⁵, Ф. Капелла^{5,6}, В. Карачіоло^{7,8}, В. В. Кобичев³,
М. Лаубенштейн⁷, В. М. Мокіна³, Д. В. Пода^{7,3}, Р. Б. Подвіянюк³,
О. Г. Поліщук³, Д. Проспері^{5,6,†}, Ю. Г. Стенін⁹, Дж. Сухонен¹⁰,
В. І. Третяк³, Д. М. Черняк³, Р. Черуллі⁷, В. Н. Шлегель⁹

¹ *НІЯФ, відділення у Римі "Тор Вергата", Рим, Італія*

² *Фізичний ф-т, Університет Риму "Тор Вергата", Рим, Італія*

³ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

⁴ *Об'єднаний інститут ядерних досліджень, Дубна, Росія*

⁵ *НІЯФ, секція Риму, Рим, Італія*

⁶ *Фізичний ф-т, Університет Риму "Ла Сапієнца", Рим, Італія*

⁷ *НІЯФ, Національна лабораторія Гран Сассо, Ассерджі, Італія*

⁸ *Фізичний ф-т, Університет Аквіли, Аквіла, Італія*

⁹ *Інститут неорганічної хімії ім. Ніколаєва, Новосибірськ, Росія*

¹⁰ *Фізичний ф-т, Університет Іваскіла, Іваскіла, Фінляндія*

[†] *Покійний*

Кадмій ^{106}Cd є одним із найбільш перспективних ізотопів для пошуку процесів $2\beta^+$ розпаду завдяки великій енергії розпаду ($Q_{2\beta} = 2770$ кеВ) і відносно великій концентрації у природній суміші ізотопів кадмію ($\delta = 1.25\%$). Для експериментальних досліджень був розроблений високоякі-

сний кристалічний скінтілятор вольфрамату кадмію (радіоактивно чистий та з гарними оптичними властивостями) з масою 215 г, збагачений ^{106}Cd до 66 % ($^{106}\text{CdWO}_4$). На першому етапі експерименту по пошуку 2β процесів в ^{106}Cd за допомогою $^{106}\text{CdWO}_4$ кристалічного скінтілятора була використана установка DAMA R&D в Національній лабораторії Гран Сассо (Італія). Після вимірювань впродовж 6549 годин, були встановлені нові обмеження на різні моди та канали $2(\beta)$ процесів в ^{106}Cd на рівні 1019 (1021 р. Обмеження для резонансних $0(2)$ процесів становлять $T_{1/2}(0(2K)) > 2$ (1020 р. та $T_{1/2}(0(LK)) > 6$ (1020 р. Можливе резонансне прискорення $0(2)$ поглинання оцінено в рамках наближення QRPA. Чутливість експерименту до $2(\beta)$ процесів із випромінюванням позитронів може бути підвищена при розміщенні низькофонового скінтіляційного детектора з кристалом $^{106}\text{CdWO}_4$ всередині наднизькофонової установки з чотирма HP Ge детекторами (об'ємом 225 см³ кожний) із використанням режимів збігів та антизбігів.

ПОШУКИ ПРОЦЕСІВ БЕЗНЕЙТРИННОГО РЕЗОНАНСНОГО ПОДВІЙНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ЗАХОПЛЕННЯ

П. Беллі¹, Р. Бернабей^{1,2}, Р. С. Бойко³, В. Б. Бруданін⁴,
 Я. В. Васильєв⁹, Е. Н. Галашов⁹, Ф. А. Даневич³, С. д'Анджело^{1,2},
 М. Л. ді Вакрі⁷, А. ді Марко¹, А. Інчікітті^{5,6}, Ф. Капелла^{5,6},
 В. Карачіоло^{7,8}, В. В. Кобичев³, Г. П. Ковтун¹⁰, Н. Г. Ковтун¹⁰,
 М. Лаубенштейн⁷, В. М. Мокіна³, С. С. Нагорний³, С. Нісі⁷,
 Д. В. Пода^{7,3}, Р. Б. Подвіянюк³, О. Г. Поліщук³, Д. Проспері^{5,6,†},
 Д. А. Солопихін¹⁰, Ю. Г. Стенін^{9,†}, Дж. Сухонен¹¹, А. В. Толмачов¹²,
В. І. Третяк³, Д. М. Черняк³, Р. Черуллі⁷, В. Н. Шлегель⁹,
 А. П. Щербань¹⁰, Р. П. Явецький¹²

¹ НІЯФ, відділення в Римі Тор Вергата, Рим, Італія

² Фізичний ф-т, Університет Риму "Тор Вергата", Рим, Італія

³ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

⁴ Об'єднаний інститут ядерних досліджень, Дубна, Росія

⁵ НІЯФ, відділення в Римі, Рим, Італія

⁶ Фізичний ф-т, Університет Риму "Ла Сапієнца", Рим, Італія

⁷ НІЯФ, Національна лабораторія Гран Сассо, Ассерджі, Італія

⁸ Фізичний ф-т, Університет Аквіли, Аквіла, Італія

⁹ Інститут неорганічної хімії ім. Ніколаєва, Новосибірськ, Росія

¹⁰ ННЦ "Харківський фізико-технічний інститут", Харків

¹¹ Фізичний ф-т, Університет Іваскіли, Іваскіла, Фінляндія

¹² Інститут монокристалів, Харків

† Покійний

Пошуки безнейтринного резонансного подвійного електронного захоплення ($0\nu 2\epsilon$) розглядаються зараз як можлива альтернатива експериментам

по пошуку $0\nu 2\beta^-$ розпаду (по чутливості до маси нейтрино Майорани). В Національній лабораторії Гран Сассо (Італія) була проведена серія експериментів по вивченню $0\nu 2\varepsilon$ процесів в ядрах ^{96}Ru , ^{106}Cd , ^{136}Ce , ^{156}Dy , ^{180}W , ^{190}Pt за допомогою наднизькофонової HP Ge γ спектрометрії, а також з низькофоновими сцинтиляційними детекторами з кристалами ZnWO_4 і $^{106}\text{CdWO}_4$ (збагаченим ізотопом кадмію 106). Були встановлені нові обмеження на періоди напіврозпаду $T_{1/2}$ для цих процесів, багато з яких були отримані вперше або є більш жорсткими, ніж відомі раніше. Зокрема, обмеження $T_{1/2}$ для ^{96}Ru знаходяться на рівні 10^{19} р., а для ^{106}Cd – на рівні 10^{20} р.

ІОНІЗАЦІЯ РІЗНИХ АТОМНИХ ОБОЛОНОК ПРИ АНІГІЛЯЦІЇ ПОЗИТРОНА, ВИПУЩЕНОГО В ПРОЦЕСІ β^+ -РОЗПАДУ

С. М. Федоткін

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

ИОНИЗАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОБОЛОЧЕК АТОМА ПРИ АННИГИЛЯЦИИ ПОЗИТРОНА, ИСПУЩЕННОГО В ПРОЦЕССЕ β^+ -РАСПАДА

С. Н. Федоткин

Інститут ядерных исследований НАН Украины, Киев

Процесс β^+ -распада может сопровождаться возбуждением дочернего ядра или атомной оболочки при аннигиляции испущенного позитрона с одним из электронов дочернего атома. Возбуждение дочернего ядра ^{45}Sc при аннигиляции позитрона, испущенного при β^+ -распаде ядра ^{45}Ti , с электроном дочернего атома исследовался экспериментально [1]. В работе [2] был исследован другой безрадиационный процесс, когда аннигиляция позитрона происходит с К-электроном, а выделенная при этом энергия передается другому К-электрону. В настоящей работе рассматривается аналогичный процесс, в котором в результате аннигиляции позитрона и К-электрона дочернего атома энергия передается электрону с орбитальным моментом $l = 0$ из L, M или N слоя (соответствующие квантовые числа n равны $n = 2, 3, 4$), в результате чего он покидает атом. Получено следующее выражение для вероятности $W_{\beta^+K,n}$ аннигиляции испущенного при β^+ -распаде позитрона с К-электроном дочернего атома и выбивании из атомной оболочки с квантовым числом n s-электрона [3]:

$$W_{\beta^+K,n} = \frac{4\alpha^2 (Z m \alpha)^6}{\pi^3 n^3} |M_{FI}^\beta|^2 I_{\beta^+K,n},$$

где α - постоянная тонкой структуры, Z - заряд ядра, m – масса электрона, M_{FI}^{β} - ядерный матричный элемент β^+ - распада, а $I_{\beta^+K,n}$ - интеграл по всем допустимым энергиям нейтрино и вылетевшего электрона, определенный в работе [3]. Определены отношения R_n вероятности аннигиляции испущенного при β^+ - распаде позитрона с К-электроном дочернего атома и выбивании s-электрона из атомной оболочки с квантовым числом $n = 2, 3, 4$ $W_{\beta^+K,n}$ к аналогичной вероятности с выбиванием другого электрона с К-оболочки $W_{\beta^+K,1}$. В случае β^+ - распада ^{45}Ti отношения вероятностей R_n для $n = 2, 3, 4$ соответственно равны 0.17, 0.057, 0.025. Таким образом, процесс аннигиляции испущенного при β^+ -распаде позитрона с К-электроном дочернего атома и выбивание из атомной оболочки второго К-электрона является значительно более вероятным по сравнению с процессами, в которых атомный электрон выбивается из более удаленных слоев L, M, N. Причем, чем с более удаленного слоя n выбивается электрон, тем меньше вероятность этого процесса, а уменьшение вероятности в значительной мере определяется фактором n^{-3} .

1. Г.П. Борозенец, И.Н. Вишнеvский, В.А. Желтоножский, Ядер. физ. **43**, 14 (1983).
2. С.Н. Федоткин, Ядер.фізика та енергетика, **11**, 233 (2010).
3. С.Н. Федоткин, Ядер.фізика та енергетика, **12**, 335 (2011).

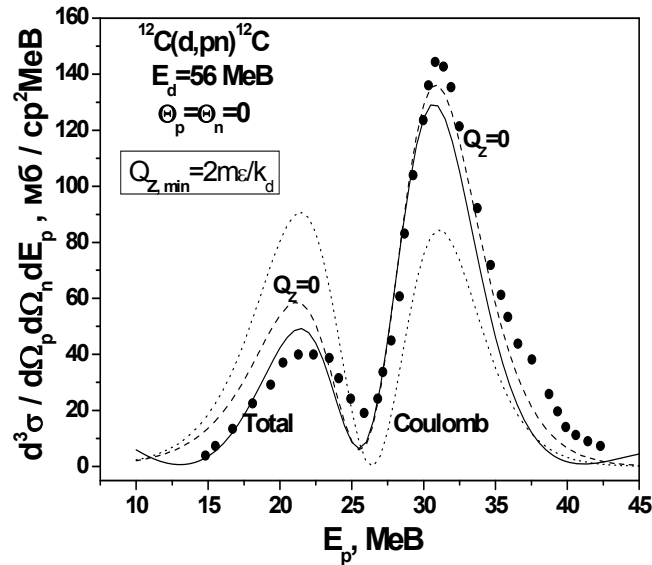
РЕАКЦІЯ $^{12}\text{C}(d, pn)^{12}\text{C}$ ПРИ 56 MeV У ДИФРАКЦІЙНОМУ НАБЛИЖЕННІ

В. В. Давидовський, А. Д. Фурса

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Дослідження реакції розщеплення дейтрона атомними ядрами дає інформацію, як про механізм протікання реакції, так і про природу взаємодії складних частинок з ядрами. Теоретичні дослідження реакції (d, pn) розвивалися двома шляхами. Методом деформованих хвиль і в дифракційній моделі. При цьому врахування кулонівської взаємодії виявилось істотним. Дифракційна теорія взаємодії складних частинок з ядрами передбачає, що кожен нуклон, що входить до складу дейтрона, розсіюючись на силовому центрі, призводить до зсуву фаз, пов'язаному тільки з передачею поперечного імпульсу. Таке припущення справедливе при пружному розсіянні дейтронів на малі кути. У разі непружного процесу розщеплення нуклону дейтрона передається і поздовжній імпульс Q_z . Зазначений факт призводить до некогерентності процесу розщеплення і не може описуватися функцією профілю, що відповідає пружному розсіюванню. Так, розрахунки

кутових кореляцій у реакції ${}^3\text{He}(p,2p)d$ при енергії протонів 156 MeV показали важливість врахування зазначених ефектів. Тому цікаво розглянути процес розщеплення дейтронів в дифракційній наближенні з урахуванням поздовжньої і поперечної складових переданого імпульсу, що і було головною метою роботи. Найвні експериментальні дані з розщеплення дейтронів ядрами, коли продукти розвалу дейтрона вилітають під нульовим кутом до імпульсу дейтрона, дають можливість провести детальне порівняння теорії з експериментом. Чисельні розрахунки диференційного перерізу розщеплення дейтронів, виконані для ядра вуглецю при $E_d = 56$ MeV.



На рисунку представлені результати розрахунків енергетичного спектру протонів з реакції ${}^{12}\text{C}(d, pn){}^{12}\text{C}_{g.s.}$ в порівнянні з експериментальними даними. Точкова крива – чисто кулонівський розвал, штрихова і суцільна криві – стандартна дифракційна модель, в якій нехтується Q_z і наші розрахунки по узагальненій теорії.

Ефект врахування Q_z помітний, хоча і незначний. В області спектра, коли E_p і E_n близькі один до одного, штрихова і суцільна криві збігаються тобто ефект зникає, що легко пояснити особливостями кінематики даного експерименту. На крилах спектра енергії протона і нейтрона сильно відрізняються і ефект проявляється сильніше. При більш високих енергіях роль ефектів, пов'язаних з передачею Q_z , особливо в несиметричній геометрії, буде зростати. Таким чином стандартна і узагальнена дифракційна модель в змозі кількісно описати експеримент навіть краще за стандартні методи деформованих хвиль.

**РОЗВАЛ ДЕЙТРОНА АТОМНИМИ ЯДРАМИ З ВИХОДОМ
ПРОДУКТІВ РЕАКЦІЇ ПІД МАЛИМИ КУТАМИ.
«PRIOR»-DWBA-ПІДХІД ТА ЕФЕКТИ ДРУГОГО ПОРЯДКУ**

К. О. Теренецький, О. В. Бабак, В. П. Вербицький, О. Д. Григоренко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Створено алгоритми загального підходу до розрахунку перерізів розвалу слабкозв'язаних частинок у полі ядер. На прикладі дейтрона, як слабкозв'язаної частинки було розраховано диференціальний переріз реакції розвалу у «prior»-підході методу деформованих хвиль з врахуванням ядерних потенціалів.

Проведені розрахунки перерізів розвалу дейтрона на ядрі C^{12} за енергії 56 МеВ як з врахуванням ядерної взаємодії, так і з врахуванням лише кулонівської взаємодії. Показано, що отримані результати не достатньо описують експериментальні дані.

У рамках методу деформованих хвиль розроблено теоретичний підхід, який дозволяє врахувати ефекти другого порядку в амплітуді розвалу дейтрона атомними ядрами, що за даних кинематичних умов реакції (вихід продуктів розвалу під малими кутами) може вносити суттєвий внесок до перерізів.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПАДУ ЗБУДЖЕНИХ ЧАРІВНИХ МЕЗОНІВ

А. О. Вербицький (від колаборації ZEUS)

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Основні стани чарівних мезонів D і D^{*+} на цей час достатньо повно вивчені. Великий поперечний переріз народження чарівних кварків дає можливість пошуку збуджених чарівних мезонів, зокрема і на прискорювачі HERA.

У попередніх дослідженнях збуджених чарівних мезонів вивчалися властивості орбітально збуджених станів $D_1^0(2420)$ з $J^P = 1^+$ і $D_1^0(2460)$ з $J^P = 2^+$ при розпаді $D_1^0(2420) \rightarrow D^{*+}\pi^-$ і $D_1^0(2460) \rightarrow D^{*+}\pi^-$. Було отримано значення ширини стану $\Gamma(D_1^0(2420)) = 53,2 \pm 7,2$ МеВ, що значно перевищує відоме усереднене значення $\Gamma(D_1^0(2420)) = 20,4 \pm 1,7$ МеВ [1] та нещодавно отримане в експерименті BABAR $\Gamma(D_1^0(2420)) = 31,4 \pm 0,5$ МеВ [2]. Крім того, результати вимірювання спіральності $D_1^0(2420)$ свідчать про наявність домішки S-хвилі в розпаді $D_1^0(2420) \rightarrow D^{*+}\pi^-$, в той час як теоретично передбачається наявність лише D-хвилі розпаду в цьому каналі.

У даній роботі уточнено результати попереднього аналізу, використо-

вуючи удосконалені методи та незалежну вибірку даних з більш високою інтегральною світимістю. Виконано аналіз даних, отриманих з використанням модернізованого детектора ZEUS, до складу якого входив мікروهшинний детектор (МВД). За допомогою МВД вдалося набагато точніше реконструювати розпад зачарованих мезонів, зокрема, D^+ - мезон, який має найбільший серед чарівних адронів час життя.

Аналіз проводився з використанням даних, отриманих на HERA з 2003 по 2007 рік при зіткненні електронів або позитронів з енергією 27,5 GeV з протонами, прискореними до енергії 920 GeV. Дані відповідають інтегральній світимості 373 пб^{-1} . Для максимізації статистики враховувалися події з фотонародження і глибоко непружного розсіяння. Внесок подій з фотонародження складав 70 - 80 % від загального числа кандидатів. Виміряні маси збуджених станів мезонів добре узгоджуються з усередненими значеннями. Уточнене значення ширини стану $\Gamma(D_1^0(2420)) = 43,4 \pm 6,2 \text{ MeV}$ є дещо нижчим отриманого раніше, але перевищує дані [1, 2].

1. C. Amsler et al. (Particle Data Group), Phys. Lett. B, **667**, 1 (2008).
2. P. del Amo Sanchez et al. (BABAR Collaboration), Phys. Rev. D, **82**, 111101 (2010).

ОПИС ПРУЖНОГО (e, D)-РОЗСІЯННЯ В НАБЛИЖЕННІ ОДНОФОТОННОГО + ДВОФОТОННОГО ОБМІНУ

А. П. Кобушкін¹, Я. Д. Кривенко-Емєтов²

¹ *Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова, Київ*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

ОПИСАНИЕ УПРУГОГО (e, D)-РАССЕЯНИЯ В ПРИБЛИЖЕНИИ ОДНОФОТОННОГО + ДВУХФОТОННОГО ОБМЕНА

А. П. Кобушкин¹, Я. Д. Кривенко-Эметов²

¹ *Інститут теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, Киев*

² *Інститут ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина*

В работе рассмотрено упругое рассеяние электрона на дейтроне с учётом двухфотонных поправок.

Впервые проведен полный расчет процесса двухфотонного обмена в упругом электрон-дейтронном рассеянии с учетом волновой функции дейтрона для реалистического нуклон-нуклонного потенциала.

Показано, что из шести независимых обобщённых форм-факторов, которые определяют амплитуду однофотонного + двухфотонного взаимодействия, только три вносят вклад в сечение во втором порядке теории возмущений.

Впервые структурные функции и поляризационные наблюдаемые в

упругом рассеянии продольно поляризованных электронов на поляризованных дейтронах рассмотрены в приближении однофотонного + двухфотонного обмена. Показано, что вклад двухфотонного обмена в обобщенную структурную функцию A имеет порядок нескольких процентов, а в обобщенную магнитную структурную функцию B порядка 10 - 20 %. Было обнаружено, что компоненты T_{20} и T_{21} тензорной анализирующей способности в основном определяются однофотонным обменом, в то время как T_{22} определяется интерференцией однофотонного и двухфотонного обменов. Также рассмотрены поляризационные наблюдаемые T_{11} , C_{21} и C_{22} , которые пропорциональны мнимой части амплитуды реакции и исчезают в рамках однофотонного обмена.

Показано, что амплитуда двухфотонного обмена сильно связана со структурой дейтрона на малых расстояниях. Эта область очень плохо исследована. Учёта двухфотонных поправок с использованием различных волновых функций дейтрона может быть своеобразным экспериментальным тестом для исследования данной области.

1. A.P. Kobushkin, Ya.D. Krivenko-Emetov, S. Dubnička, A.Z. Dubničkova, Phys. Rev. C **84**, 054007 (2011).
2. A.P. Kobushkin, Ya.D. Krivenko-Emetov and S. Dubnicka, Phys. Rev. C **81**, 054001 (2010).

РЕАКЦІЯ $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^7\text{Li})^{18}\text{O}$ ТА ПОТЕНЦІАЛ ВЗАЄМОДІЇ ЯДЕР $^7\text{Li} + ^{18}\text{O}$

**С. Ю. Межевич¹, А. Т. Рудчик¹, К. Русек², Є. І. Коций³, С. Клічевскі⁴,
Б. Чех⁴, В. М. Кир'янчук¹, А. В. Мохнач¹, А. А. Рудчик¹,
С. Б. Сакута⁶, Р. Сюдак⁴, А. Щурек⁴, Я. Хоїньскі⁵, Л. Гловацка⁷**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Національний інститут ядерних досліджень, Варшава, Польща

³ Харківський національний університет, Харків

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

⁵ Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

⁶ Російський дослідницький центр «Інститут ім. Курчатова», Москва, Росія

⁷ Інститут прикладної фізики Військово-технічного університету,

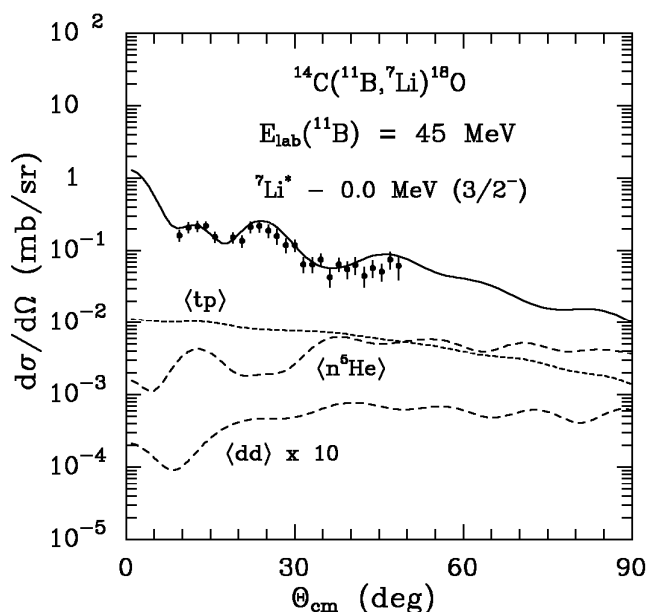
Варшава, Польща

Уперше отримано експериментальні дані диференціальних перерізів реакцій $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^7\text{Li})^{18}\text{O}$ при енергії $E_{\text{лаб}}(^{11}\text{B}) = 45$ МеВ для переходів ядер ^7Li та ^{18}O в основні та збуджені стани. Експеримент проведено на Варшавському циклотроні С-200Р.

Експериментальні дані проаналізовано за методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР). У МЗКР-розрахунках для вхідного та вихідного каналів реа-

кції використовувались оптичні потенціали типу Вудса-Саксона з об'ємним поглинанням. Для вхідного каналу реакції використовувався потенціал взаємодії ядер $^{14}\text{C} + ^{11}\text{B}$, параметри якого було визначено за експериментальними даними пружного розсіяння цих ядер [1]. Необхідні для МЗКР-розрахунків спектроскопічні амплітуди нуклонів і кластерів розраховано в рамках оболонкової моделі методом Смірнова – Чувільського. Параметри оптичного потенціалу взаємодії ядер $^7\text{Li} + ^{18}\text{O}$ для вихідного каналу реакції визначено за експериментальними даними реакції.

Установлено, що в даній реакції домінує передача альфа-кластера (суцільна крива на рис.1), а двоступінчасті передачі кластерів $t + p$ і $p + t$ (крива $\langle tp \rangle$), $n + ^5\text{He}$ і $^3\text{He} + n$ (крива $\langle n^5\text{He} \rangle$) та $d+d$ (крива $\langle dd \rangle$) не відіграють помітної ролі.



Диференціальні перерізи реакції $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^7\text{Li})^{18}\text{O}$ при енергії $E_{\text{lab}}(^{11}\text{B}) = 45 \text{ MeV}$ для основних станів ядер ^7Li та ^{18}O . Криві – МЗКР-розрахунки.

1. S.Yu. Mezhevych, A.T. Rudchik et al. Nucl. Phys. A 753, 13 (2005).

ДИФРАКЦІЙНА ВЗАЄМОДІЯ ДЕЙТРОНІВ З ЯДРАМИ ^{12}C І ^{16}O

В. П. Михайлюк, О. Д. Григоренко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

В останні роки великий інтерес викликає дослідження взаємодії легких слабкозв'язаних частинок і легких іонів з енергією близько 100 МеВ/нуклон з атомними ядрами.

При вивченні взаємодії таких частинок з ядрами можна скористатися

дифракційною моделлю, в якій вважається, що амплітуди взаємодії структурних компонентів налітаючого ядра з ядром-мішенню відомі. Такий підхід зазвичай використовується для вивчення характеристик розсіювання частинок, які складаються з двох кластерів різними атомними ядрами.

У даній роботі в якості налітаючого ядра розглядались високоенергетичні дейтрони, які являються найпростішою легкою слабкозв'язаною частинкою, що складається з двох кластерів. Окрім того, вибір дейтрону в якості об'єкту дослідження обумовлюється ще й тим, що в результаті взаємодії дейтронів з ядрами виникає більш широкий спектр кінцевих станів у порівнянні з безструктурними налітаючими частинками, що дозволяє отримати важливу інформацію щодо внутрішньої структури і характеристик взаємодії слабкозв'язаних частинок з ядрами.

У роботі в рамках дифракційної моделі і α -кластерної моделі з дисперсією отримано аналітичні вирази для амплітуди пружного розсіювання дейтронів ядрами ^{12}C і ^{16}O . На основі наведених виразів розраховано диференціальні перерізи та аналізуючі здатності $d\text{-}^{12}\text{C}$ та $d\text{-}^{16}\text{O}$ розсіювання при енергії 700 MeV [1, 2]. При розрахунках враховувалась α -кластерна структура ядра-мишені, а також спінова структура налітаючого ядра.

Показано, що представлений підхід дозволяє описати наявні експериментальні дані без використання параметрів, що підганяються, а також спрогнозувати поведінку поляризаційних характеристик розсіювання, які ще не вимірювались.

1. Михайлюк В.П., Федорченко Д.В., Григоренко О.Д. Дифракционное взаимодействие дейтронов с энергией 700 МэВ с ядрами ^{12}C // Ядерна фізика та енергетика. - 2011. - № 2(12). - С. 145 - 148.
2. Михайлюк В.П., Федорченко Д.В., Григоренко О.Д. Упругое рассеяние дейтронов ядрами ^{16}O в α -кластерной модели с дисперсией // Ядерна фізика та енергетика. - 2011. - № 3(12). - С. 221 - 224.

АНТИСИМЕТРИЗАЦІЯ ТА ПОТЕНЦІАЛ ЯДЕРНО-ЯДЕРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

В. О. Нестеров

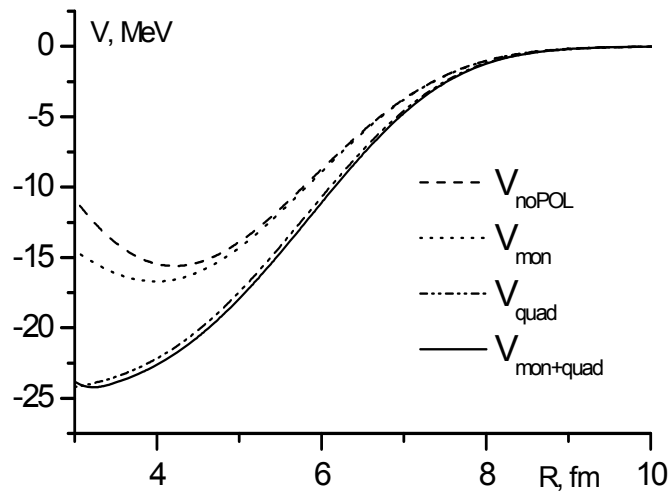
Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У роботі порівнювались особливості ядерно-ядерних потенціалів взаємодії, отриманих в рамках різних підходів. Ядерно-ядерний потенціал обчислювався у наближенні функціоналу густини енергії [1], у моделі подвійної згортки [2, 3] та двоцентровій оболонковій моделі [4].

Двоцентрова оболонкова модель базується на підході густини енергії. Густина розподілу нуклонів та густина енергії при цьому розраховуються в рамках оболонкової моделі. Великою перевагою у даному випадку є те, що двоцентрова оболонкова модель дає змогу явного урахування антисимет-

ризації нуклонів.

Нами детально досліджувався вплив урахування принципу Паулі та антисиметризації на форму ядерно-ядерного потенціалу, також розглядалося явище поляризації атомних ядер в процесі їх взаємодії. Обчислення проводилися для систем $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ та $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$. При обрахунку потенціалу враховувалися як монопольна, так і квадрупольна поляризації атомних ядер, що означає, що ядра в процесі взаємодії можуть змінювати свої розміри та форму. При обчисленнях використовувалися сили Скірма та залежні від густини сили МЗУ (DDMЗУ) та МЗУ–Raid.



Потенціал ядерно-ядерної взаємодії для системи $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$, одержаний у рамках двоцентрової оболонкової моделі. Тут V_{mon} – потенціал з урахуванням монопольної поляризації; V_{quad} – потенціал з урахуванням квадрупольної поляризації; $V_{\text{mon+quad}}$ – потенціал з урахуванням як монопольної, так і квадрупольної поляризації; V_{noPOL} – потенціал без урахування поляризації.

Порівняння потенціалів, отриманих в різних наближеннях для двоцентрової оболонкової моделі (див. рисунок), дає змогу зробити висновки, що реалістичний потенціал ядерно-ядерної взаємодії має враховувати як явища антисиметризації, так і явища поляризації нуклонів у ядрах. Порівняння потенціалів, одержаних в рамках різних підходів, вказує на необхідність враховувати також внутрішню кінетичну енергію нуклонів. Виявлено суттєвий вплив усіх цих явищ на форму потенціалу взаємодії, так само як і залежність потенціалу взаємодії від нуклонної густини.

1. M. Brack and R. K. Bhaduri, *Semiclassical Physics* (Addison-Wesley, 1997).
2. Dao T. Khoa, W. von Oertzen and H. G. Bohlen // *Phys. Rev. C.* - Vol. **49.** - P. 1652 (1994)
3. Dao T. Khoa and W. von Oertzen // *Phys. Lett. B.* - Vol. **304.** - P. 8 (1993)
4. D.L. Brink, F. Stancu // *Nucl. Phys.* - Vol. A **243.** - P. 175 (1975).

НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИЙ СЦИНТИЛЯЦІЙНИЙ БОЛОМЕТР З КРИСТАЛОМ МОЛІБДАТУ ЦИНКУ ДЛЯ ПОШУКУ БЕЗНЕЙТРИННОГО ПОДВІЙНОГО БЕТА-РОЗПАДУ ^{100}Mo

Я. В. Васильєв¹, Є. М. Галашов¹, Ф. А. Даневич², В. Я. Дегода³,
А. Джуліані⁴, І. М. Дмитрук³, В. В. Кобичев², В. М. Мокіна²,
Р. Пікколі⁵, С. Русконі⁶, О. П. Становий³, В. І. Третяк²,
І. А. Тупіцина⁷, Д. М. Черняк^{2,4}, В. М. Шлегель¹

¹ Інститут неорганічної хімії ім. А. В. Ніколаєва, Новосибірськ, Росія

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

³ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

⁴ Центр спектрометрії ядер та мас-спектрометрії, Орсе, Франція

⁵ Відділення Національного інституту ядерної фізики у Мілані, Мілан, Італія

⁶ Відділення фізики та математики університету Інсубрія, Комо, Італія

⁷ Інститут сцинтиляційних матеріалів, Харків

Дослідження безнейтринного (0ν) подвійного бета-розпаду (2β) атомних ядер дозволяє визначити природу нейтрино (частинка Дірака або Майорани), величину маси і схему масових станів нейтрино, перевірити закон збереження лептонного заряду, та ряд інших ефектів за межами стандартної моделі елементарних частинок. Низькотемпературні сцинтиляційні болометри, які одночасно вимірюють сцинтиляційний та тепловий сигнали при поглинанні ядерного іонізуючого випромінювання, є перспективними детекторами для пошуку $0\nu 2\beta$ -розпаду завдяки їх високій енергетичній роздільній здатності та можливості відрізнити β - та α -частинки. Одним із перспективних сцинтиляційних матеріалів для пошуку $0\nu 2\beta$ -розпаду ядра ^{100}Mo є кристал молібдату цинку (ZnMoO_4), перевагою якого є відсутність у його складі радіоактивних елементів та порівняно високий вміст молібдену (43%). Кристали ZnMoO_4 достатньо великих розмірів вперше були вирощені лише у 2008 році. В даній роботі принципового поліпшення якості матеріалу було досягнуто завдяки додатковому очищенню молібдену та застосуванню методу Чохральського з низьким градієнтом температури. Значне поліпшення якості кристалу підтверджені у вимірюваннях спектру пропускання. Вперше з високою точністю був досліджений коефіцієнт заломлення ZnMoO_4 з урахуванням анізотропії кристалу, вивчені люмінесцентні властивості при збудженні рентгєнівським випромінюванням в діапазоні температур від кімнатної до рідкого гелію. Максимум люмінесценції спостерігався в діапазоні температур 110 - 140 К. При температурі 8 К спектр випромінювання кристалу ZnMoO_4 має максимум при довжині хвиль 625 нм. Наявність інтенсивної термостимульованої люмінесценції при температурі 75 К та флюоресценції при 8 К свідчать про присутність великої кількості дефектів структури кристалу, а отже, про можливість покращення якості матеріалу. Сцинтиляційний та тепловий сигнали були од-

ночасно зареєстровані при температурі близько 30 мК. Низький рівень радіоактивного забруднення кристалу $ZnMoO_4$ було оцінено на основі криогенних вимірювань, коли одночасно реєструвались світлові та теплові сигнали, що дозволило чітко розділити α - та β -частинки. Чутливість великомасштабного експерименту з пошуку подвійного бета-розпаду ^{100}Mo за допомогою кристалів $ZnMoO_4$ як криогенних сцинтиляційних болометрів оцінено на рівні $T_{1/2} \sim 10^{27}$ років, що відповідає ефективній масі нейтрино майоранівської природи $\langle m\nu \rangle \approx 0.013 - 0.036$ еВ.

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

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

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

Дослідження радіаційних розпадів можуть вказати на нові явища, за рамками «стандартної моделі», що здатні впливати на динаміку $b \rightarrow s \gamma$ переходу. Свідчення НФ можуть проявлятися через переходи в петлях пінгвінних діаграм, де можливі взаємодії за участю нових важких віртуальних частинок. Ретельні дослідження цих розпадів здатні значно обмежити кількість теоретичних припущень щодо тих чи інших сценаріїв НФ, включаючи суперсиметричні моделі.

Станом на кінець 2011 р. у детекторі LHCb було зареєстровано більш ніж $1,1 \text{ fb}^{-1}$ інтегральної світимості при енергії 7 TeV в с.ц.м. Проведено аналіз експериментальних даних для радіаційних розпадів $B^0 \rightarrow K^{*0} \gamma$ та $B_s^0 \rightarrow \phi \gamma$ для інтегральної світимості 340 pb^{-1} при енергії $E_{\text{сцм}} = 7$ TeV, накопиченої при протон-протонних зіткненнях у березні-червні 2011 року. Отримано значення відношення ймовірностей розпаду $B^0 \rightarrow K^{*0} \gamma$ та $B_s^0 \rightarrow \phi \gamma$ та значення ймовірності розпаду для $B_s^0 \rightarrow \phi \gamma$, $B(B_s^0 \rightarrow \phi \gamma) = (2,8 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$, що узгоджується з попередніми експериментальними вимірюваннями в межах 1,6 стандартного відхилення.

**ЭФФЕКТЫ ПРОНИКНЕНИЯ
В E1 И E2-ЗАГАЛЬМОВАННЫХ ПЕРЕХОДАХ ^{120}Sn**

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

Институт ядерных исследований НАН Украины, Київ

**ЭФФЕКТЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ
В E1 И E2-ЗАТОРМОЖЕННЫХ ПЕРЕХОДАХ ^{120}Sn**

**І. Н. Вишневский, С. С. Драпей,
В. А. Желтоножский, А. Н. Саврасов**

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Методами γ - и K_x -спектроскопии с высокой точностью измерены коэффициенты внутренней конверсии на K -оболочке E1-перехода с энергией 89 кэВ и E2-перехода с энергией 197 кэВ в ядрах ^{120}Sb . Обнаружено влияние эффектов проникновения в E1 и E2-переходах. Определены параметры проникновения для E1 и E2-переходов.

Проводится обсуждение полученных данных.

**ВИМІРЮВАННЯ ІЗОМЕРНИХ ВІДНОШЕНЬ
ПРИ ФОТОДІЛЕННІ ^{233}U І ^{241}Am**

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

Институт ядерных исследований НАН Украины, Київ

**ИЗМЕРЕНИЕ ИЗОМЕРНЫХ ОТНОШЕНИЙ
ПРИ ФОТОДЕЛЕНИИ ^{233}U И ^{241}Am**

І. Н. Вишневский, В. А. Желтоножский, А. Н. Саврасов

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Целью данной работы было исследование изомерных отношений для осколков деления, из которых извлекаются величины средних угловых моментов на нечетных ядрах: ^{233}U и ^{241}Am .

Измерения проводились по активационной методике. Для измерений использовались мишени из урана и америция, обогащенных ^{241}Am и ^{233}U . Облучение мишени с ^{233}U проводилось γ -квантами тормозного спектра электронов микротрона М-30 с энергией 17 и 9.8 МэВ, а мишени с ^{241}Am – тормозными γ -квантами от электронов с энергией 10 МэВ.

Получены новые данные о средних угловых моментах осколков деления ^{233}U и ^{241}Am . Проводится обсуждение полученных результатов.

ВИПРОБУВАННЯ ПРОТОТИПНИХ МІКРОСТРІПОВИХ КРЕМНІЄВИХ ДЕТЕКТОРІВ ДЛЯ ТРЕКОВОЇ СИСТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТУ СВМ НА ПУЧКУ ПРОТОНІВ 2.4 GeV/c

**Й. Адамчевський-Муш¹, Т. Балог^{1,2}, Ю. Васильєв³, Ю. Ешке¹,
Б. Кольб¹, С. Лінев¹, Г. Малигіна^{3,4}, В. Мюллер¹, В. Нібуар¹,
Ю. Сорокін^{3,4}, Й. Хойзер¹**

¹ *GSI Центр досліджень з важкими іонами тов. Гельмгольца,
Дармштадт, Німеччина*

² *Університет Коменіуса, Братислава, Словаччина*

³ *Університет ім. Вольфганга Гете, Франкфурт-на-Майні, Німеччина*

⁴ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

В експерименті СВМ (Compressed Barionic Matter) планується дослідження фазової діаграми ядерної матерії за високих баріонних густин та посередніх температур. Матерія в такому стані має бути отримана в ядерно-ядерних зіткненнях пучка важких іонів різної маси з енергією до 35 GeV/нуклон із фіксованою мішенню (також із важких елементів). Продукти взаємодії будуть реєструватись системою детекторів для реконструкції вершин та треків, ідентифікації частинок та калориметрії.

Трекова система експерименту СВМ буде побудована на базі двосторонніх кремнієвих мікростріпових детекторів, і має дозволяти реконструювати до 1000 заряджених частинок на центральну подію, визначати імпульс з роздільною здатністю 1 %, і витримувати радіаційні навантаження до 10^{14} см⁻² частинок у нейтронному еквіваленті.

На базі прототипних детекторів з 256 стріпами на кожній стороні було побудовано три трекові станції та випробувано їх на пучку протонів 2.4 GeV/c. Для зчитування сигналів використовувалась самотригера електроніка на базі мікрочіпа n-XUTER.

Було визначено амплітудний відгук детекторів та розподіл за розміром кластера в залежності від кута падіння частинки, оцінено просторову роздільну здатність та визначено ефективність реєстрації. Вимірювання також проведені для детекторів, попередньо опромінених нейтронами до різних доз.

Робота виконується за підтримки EU-FP7 HadronPhysics3, NHCforFAIR, HGS-HIRe for FAIR та H-QM Research School.

МОЖЛИВІ ФАЗОВІ ТРАЄКТОРІЇ В ЯВИЩІ МУЛЬТИФРАГМЕНТАЦІЇ

Л. А. Булавін, В. М. Сисоєв, К. В. Черевко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Виходячи з подібності нуклон-нуклонної та Ван-дер-Ваальсівської взаємодії в роботі використано відомі для звичайних рідин термодинамічні співвідношення для аналізу можливих фазових траєкторій явища мульти-

фрагментації, спричиненого зіткненням протонів з ядрами мішенями. Проаналізовано поведінку таких систем в фазовій площині P-V. Проведено аналіз характерних часів різних каналів реакції. У роботі досліджуються дві основні групи можливих фазових траєкторій, а саме – однофазні та двофазні траєкторії. Досліджується вплив обмеженості системи на можливість реалізації зазначених механізмів. Основна увага в роботі приділяється якісному порівнянню поведінки системи на різних траєкторіях з експериментальними даними по мультифрагментації ядер. Проведений в роботі аналіз свідчить, що не всі можливі фазові траєкторії можуть бути реалізовані в ядерних системах та дозволяє вибрати декілька можливих каналів реакції, що найбільш відповідають експериментальним даним. Результати дослідження свідчать, що:

1) Спінодальний розпад не може слугувати механізмом явища мультифрагментації через розмір системи.

2) Найбільш адекватним каналом явища мультифрагментації є механічне руйнування оболонки в однофазному процесі, що може супроводжуватись кипінням в метастабільній області.

3) Одним з можливих механізмів, що відповідає за явище мультифрагментації, може бути кипіння в метастабільній області внутрішньої частини системи.

ПОЛЯРИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ДИПОЛЬНИЙ МОМЕНТ У СИЛЬНО ДЕФОРМОВАНИХ ДЗЕРКАЛЬНО-АСИМЕТРИЧНИХ ЯДРАХ

В. Ю. Денисов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Дзеркально-асиметричні деформації ядра викликають перерозподіл протонів відносно нейтронів. В результаті цього перерозподілу густини протонів та нейтронів поляризуються та положення центра мас протонів зсувається відносно положення центра мас ядра, тому дзеркально-асиметричні ядра мають поляризований електричний дипольний момент. Цей момент суттєво підвищує імовірність дипольних електричних переходів у дзеркально-асиметричних ядрах.

У рамках моделі рідкої краплі вперше отримано формулу [1] для поляризованого електричного дипольного моменту в сильно-деформованих дзеркально-асиметричних ядрах, яка має члени першого та другого порядку теорії збурень. Члени другого порядку особливо важливі при великих значеннях параметрів деформації. За допомогою цієї формули описано поляризований електричний дипольний момент в ізотопах торію та в гіпердеформованому стані ^{152}Dy [1].

1. V. Yu. Denisov, Eur. Phys. J **A47**, 80 (2011).

ВИКОРИСТАННЯ ЦИКЛОТРОНА У-120 У ТЕХНОЛОГІЯХ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТРЕКОВИХ МЕМБРАН З НИЗЬКОЮ ДІЕЛЕКТРИЧНОЮ ПРОНИКНІСТЮ

А. Є. Борзаковський¹, О. В. Жабровець¹, В. І. Куц¹, А. Г. Зелінський¹,
В. І. Сахно¹, К. Г. Гусакова², О. М. Файнлейб², О. П. Григор'єва²,
О. М. Старостенко², Е. Еспуш³, Д. Гранде⁴

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, Київ

³ Ліонський університет, Ліон, Франція

⁴ Лабораторія дослідження полімерів,

UMR 7581 CNRS – Університет, Париж XII, Франція

Наведено результати досліджень можливостей залучення класичного циклотрона У-120 до технологій отримання нових типів полімерних трекових мембран (ТМ), які набули широкого використання в процесах фільтрації, розділення та очищення технологічних середовищ і сумішей в промисловості, медицині, біотехнологіях та ін. Сучасні промислові полімерні ТМ одержують шляхом опромінення полімерних плівок високоенергетичними іонами (^{54}Xe , ^{36}Kr , тощо) з наступним хімічним травленням матеріалу до отримання в області треків цих іонів наскрізних пор.

Обговорюється запропонований авторами більш перспективний та технологічний метод виробництва ТМ з нових хімічно стабільних полімерів, – сітчастих поліціануратів (ПЦ), які характеризуються високими адгезійними властивостями до багатьох металів та скловолокна, низькою діелектричною проникністю та ін. Метою досліджень була розробка радіаційних технологій отримання ТМ прискореними на циклотроні У-120 альфа-частинками з метою одержання пористих плівкових зразків модифікованих ПЦ з регулярною чітко визначеною нанопористою структурою.

Розроблено методику опромінення синтезованих плівок великих розмірів.

На циклотроні У-120 ІЯД НАН України альфа-частинками з енергією 27,2 МеВ були опромінені зразки полімеру, що синтезований з диціанового етеру бісфенола Е, ДЦБЕ, (або бісфенола А, ДЦБА) *in situ* з поліокситетраметиленгліколем, ПТМГ. Товщина зразків – до 60 мкм, розміри $150 \times 150 \text{ мм}^2$. Щільність альфа-частинок, що проходили скрізь зразки була $(3 \div 5) \cdot 10^{10} \text{ част./см}^2$.

Дослідження показали, що отримані пористі зразки поліціануратних мембран, виготовлені з використанням легких іонів зберігають високі теплофізичні та термічні властивості в широкому температурному діапазоні.

ПОДВІЙНИЙ БЕТА-РОЗПАД: СТАН ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПЕРСПЕКТИВИ

Ф. А. Даневич

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Експериментальні дослідження подвійного бета-розпаду атомних ядер розглядаються як перспективний підхід до визначення маси та схеми масових станів нейтрино, з'ясування його природи (частинка Дірака чи Майорани), перевірки закону збереження лептонного заряду та деяких інших ефектів за рамками стандартної моделі елементарних частинок. Основними задачами сучасних та проектних експериментів є перевірка повідомлення про спостереження безнейтринного подвійного бета-розпаду ядра германію 76, підготовка експериментів з кількома ядрами з чутливістю до періоду напіврозпаду на рівні $T_{1/2} \sim 10^{26} - 10^{27}$ років (при якій можлива перевірка припущення про обернену схему масових станів нейтрино), точні вимірювання періодів напіврозпаду ядер відносно дозволеної в рамках стандартної моделі двонейтринної моди розпаду, розробка експериментальних методик для дослідження процесів 2β -розпаду зі зменшенням заряду ядра. Для вирішення цих задач експериментатори розробляють детектори з якнайменшим рівнем радіоактивного фону, високою енергетичною роздільною здатністю та здатністю розрізняти шукані сигнали від фону різної природи, збагачені досліджуваними ізотопами, розміщують експериментальне обладнання глибоко під землею для зменшення впливу космічних променів. В Інституті ядерних досліджень НАН України з високою точністю виміряний двонейтринний подвійний бета-перехід ядра ^{100}Mo на збуджений стан дочірнього ^{100}Ru , ведуться пошуки безнейтринного подвійного бета-розпаду ядра ^{116}Cd та подвійних β -процесів зі зменшенням заряду ядра, розробляються детектори для експериментів, спрямованих на пошук безнейтринного подвійного бета-розпаду в ядрах ^{82}Se та ^{100}Mo з чутливістю до маси нейтрино ($\langle m_\nu \rangle \sim 0.02 - 0.05$ eV), що відповідає оберненій схемі масових станів нейтрино.

Тези доповідей з атомної енергетики

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОПУСКІВ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ТВЗ ВВЕР НА КОНСЕРВАТИВНІСТЬ АНАЛІЗУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОДІВ ТРИВИМІРНОЇ КІНЕТИКИ

В. В. Гальченко¹, Н. М. Рабченко¹, А. А. Мішин²

¹ Публічне акціонерне товариство “Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут “Енергопроект”, Київ

² Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, Київ

При виконанні робіт з аналізу аварій на енергоблоках АЕС, використовується підхід, який ґрунтується на формуванні консервативних початкових та граничних умовах.

В якості консервативних початкових умов обирають граничні значення (відхилення) параметрів стану систем і обладнання реакторної установки, які визначені проектом РУ або експлуатаційними умовами. При цьому обирають ті значення параметрів, які приводять до найгірших, з точки зору задовільнення критеріям прийнятності, наслідків вихідної події, що розглядається.

На сьогодні достатньо обґрунтованим є формування консервативних початкових умов для комп'ютерних кодів, які вирішують теплофізичні задачі. Але якщо вести мову про встановлення консервативних параметрів для кодів, що використовують тривимірну кінетику активної зони, то тут виникають певні складнощі, оскільки нейтронно-фізичні параметри розраховуються кодом самостійно, в залежності від вхідних даних, які було задано.

Можливість консервативного завдання початкових умов лежить в площині підготовки макроскопічних мало групових перерізів взаємодії.

В роботі розглянуто підхід обґрунтованого збільшення, або зменшення розмножуючих і/або поглинаючих властивостей палива і стрижнів СУЗ з врахування допусків і посадок на виготовлення ТВЗ.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ОПТИМІЗАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВОЗОННИХ ПІДКРИТИЧНИХ СИСТЕМ

В. О. Бабенко¹, В. І. Гулік², В. М. Павлович²

¹ Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України, Київ

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Подальше існування та зростання ядерної енергетики в Україні і світі неможливе без розвитку як фундаментальних, так і прикладних досліджень у галузі ядерної науки і техніки. А для таких досліджень необхідне впрова-

дження та використання нових дослідницьких ядерних реакторів з високими вихідними потоками нейтронів. Підкритичні системи, керовані зовнішнім джерелом нейтронів, активно досліджуються та розвиваються останні двадцять років у багатьох лабораторіях та науково-дослідних центрах світу. Такі системи складаються з підкритичного реактора та зовнішнього джерела нейтронів, що забезпечує стабільну роботу цієї системи. Це означає, що вона працює в підкритичному режимі і сама по собі без додаткових систем безпеки вже знаходиться в ядерно безпечному режимі, що не здатен перейти в надкритичний стан і призвести до аварії з розгоном реактора. Підкритичні системи здатні працювати на різних видах палива, у тому числі на торієвому паливі, запаси якого на землі значно перевищують поклади урану. Але найголовніша перевага підкритичних систем у тому, що вони здатні наблизити нас до принципового вирішення проблеми радіоактивних відходів. Такі системи найбільш оптимальні для процесу «трансмутації» радіоактивних відходів або, іншими словами, переводу довгоживучих радіоактивних відходів у короткоживучі або стабільні ізотопи шляхом опромінення їх нейтронним потоком у підкритичному реакторі.

У світі на даний момент досліджується велика кількість різних проектів підкритичних систем, що відрізняються за конструкцією, типом палива, нейтронним спектром, теплоносієм, зовнішнім джерелом нейтронів тощо. Але більшість проектів розвивають однозонні підкритичні реактори, залишаючи без уваги можливість розробки двозонних підкритичних систем. Наприклад, прийнято рішення побудови у Харкові однозонного підкритичного реактора малої потужності. Двозонні системи мають перевагу в використанні принципу каскадності, що дозволяє значно збільшити потік нейтронів зовнішнього джерела порівняно з однозонними системами. Крім того, використання двозонної системи дозволяє мати в одному реакторі зони зі швидким та тепловим нейтронними спектрами, що дозволить трансмутати всієї палітри радіоактивних відходів в одній установці, а також різноманітних експериментів, що потребують різного типу спектрів.

В представленій роботі було показано, що порівняльні розрахунки одно- та двозонних систем чітко показують перевагу двозонних систем, як за нейтронно-фізичними характеристиками так і у вартості системи. Також видно, що система більш ефективна у випадку, коли зовнішня зона більша, ніж внутрішня.

Результати моделювання показали, що для простих сферичних двозонних підкритичних систем оптимально, щоб зовнішня зона була в два рази більшою за внутрішню.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОЗИМЕТРІЇ ЗРАЗКІВ-СВІДКІВ І КОРПУСІВ РЕАКТОРІВ ВВЕР

В. В. Ількович, В. Л. Демьохін, В. М. Буканов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДОЗИМЕТРИИ ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ И КОРПУСОВ РЕАКТОРОВ ВВЭР

В. В. Илькович, В. Л. Демехин, В. Н. Буканов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Контроль состояния металла корпуса реактора (КР) на основе результатов испытаний образцов-свидетелей (ОС), разработка и реализация дополнительной программы ОС для сопровождения эксплуатации КР на сверхпроектный период – это круг тех задач, решение которых требуют результатов дозиметрии ОС и КР ВВЭР. Конструкционные особенности реакторов типа ВВЭР таковы, что они практически полностью исключают возможность использования только экспериментальных методов для решения этих задач.

Современные методики дозиметрии ОС и КР включают математическое моделирование переноса нейтронов к местам размещения образцов в реакторе и его околокорпусном пространстве. Моделирование осуществляется с помощью программного обеспечения (ПО). Обеспечение достоверности результатов дозиметрии требует достоверности результатов моделирования и, следовательно, надежности ПО. Надежность ПО обеспечивается выполнением т. н. процесса верификации и валидации.

В данной работе предложена схема верификации и валидации ПО математического моделирования, разработанная на основе международных стандартов. Показано, что процесс верификации и валидации ПО – это комплекс работ, который выходит за рамки только разработки ПО и охватывает весь процесс математического моделирования в целом. При этом математическое моделирование разбивается на последовательные этапы, дополняется экспериментом, и все эти работы интегрированы с процессом верификации и валидации.

Разработанная схема позволяет правильно определить все необходимые работы для выполнения верификации и валидации, создать удобную и эффективную методику верификации и валидации ПО математического моделирования и, следовательно, создать необходимую основу для обеспечения достоверности результатов дозиметрии ОС и КР.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ ЗРАЗКІВ-СВІДКІВ МЕТАЛУ КОРПУСУ РЕАКТОРА БЛОКА № 1 ЗАЕС

О. Є. Майборода, Л. І. Чирко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ МЕТАЛЛА КОРПУСА РЕАКТОРА БЛОКА № 1 ЗАЭС

Е. Е. Майборода, Л. И. Чирко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

В настоящей работе при определении критических температур хрупкости и коэффициентов радиационного охрупчивания используются данные испытаний для групп из штатных и реконструированных образцов-свидетелей (ОС) основного металла (ОМ) и металла шва (МШ) комплектов 1Л и 2Л.

Данные по флюенсу нейтронов на рабочие части ОС, полученные по методике РНЦ «КИ» для комплекта 1Л были уточнены в рамках международного проекта TAREG. Результаты обработки данных испытаний комплекта 1Л с учетом уточненных значений флюенса для групп из штатных и реконструированных ОС показали, что при возрастании флюенса тенденция к увеличению ΔT_F слабо выражена.

Результаты испытаний ОС комплекта 2Л, выполненных в ИЯИ НАНУ, демонстрируют нехарактерное для корпусных материалов ВВЭР-1000 снижение ΔT_F при увеличении флюенса.

Полученные в результате обработки данных испытаний ОС ОМ и МШ обоих комплектов значения коэффициентов радиационного охрупчивания A_F существенно ниже нормативных значений.

Нетипичная для материалов КР ВВЭР-1000 тенденция снижения сдвига критической температуры хрупкости ΔT_F при возрастании флюенса, выявленная по результатам испытаний ОС МШ Шарпи подтверждена результатами испытаний МШ COD. Полученные в рамках настоящей работы данные испытаний ОС ОМ и МШ на ударный изгиб и вязкость разрушения хорошо согласуются.

По результатам проведенного сопоставления радиационного охрупчивания материалов КР ЗАЭС-1 с радиационным охрупчиванием материалов КР ВВЭР-1000 установлено, что для данного энергоблока результаты испытаний как ОС Шарпи, так и ОС COD показывают низкий уровень охрупчивания. При этом результаты испытаний ОС Шарпи обеих выгрузок и ОС COD второй выгрузки хорошо согласуются друг с другом.

Выполненная консервативная оценка срока безопасной эксплуатации КР

блока ЗАЭС-1 показала, що:

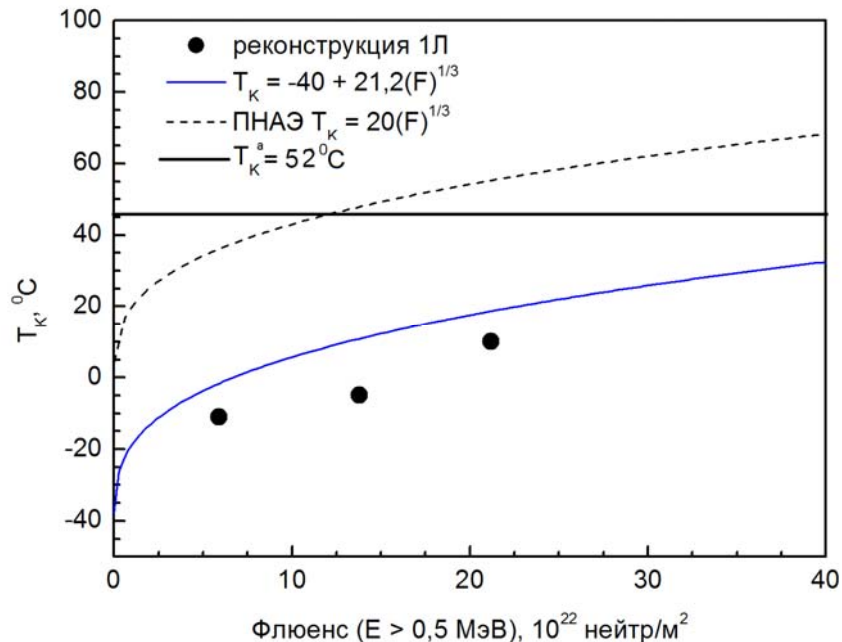
- критическим елементом КР, определяющим срок его эксплуатации, является СШ №4;
- прогноз срока безопасной эксплуатации КР по результатам испытаний ОС 1-й и 2-й выгрузок при использовании реперного значения $T_K^a = 52\text{ }^\circ\text{C}$ (самого консервативного из известных из литературы) составляет 86 лет;
- определение значения T_K^a для данного энергоблока не является первоочередной задачей.

РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ РЕКОНСТРУЙОВАНИХ ЗРАЗКІВ-СВІДКІВ ПЕРШОГО ВИВАНТАЖЕННЯ МЕТАЛУ КОРПУСУ РЕАКТОРА ЕНЕРГОБЛОКА № 6 ОП «ЗАПОРІЗЬКА АЕС» З ОБГРУНТУВАННЯМ ТЕРМІНУ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В. Д. Оцалюк, В. М. Ревка, Ю. В. Чайковский, Л. І. Чирко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Для обґрунтування терміну безпечної експлуатації корпусу реактора (КР) енергоблока № 6 було проведено дослідження та випробування на ударний вигин зразків-свідків першого комплекту з використанням технології реконструкції.



Залежність величини T_K від флюенсу швидких нейтронів для шва № 3 КР блока ЗАЭС-6 (застосування технології реконструкції).

Для того, щоб визначити значення критичної температури крихкості, було сформовано групи однорідно опромінених штатних і реконструйова-

них зразків, які у всіх випадках склалися з більш як 12-ти зразків. Усі значення критичної температури крихкості, одержані за результатами дослідження основного металу і металу зварного шва опроміненого комплексу 1Л зразків-свідків, є представницькими для оцінки ступеня радіаційного окрихчування корпусу реактора.

Коефіцієнт радіаційного окрихчування A_F металу зварного шва № 3 КР блока ЗАЕС-6, визначений з довірчою вірогідністю 95 %, становить 21,2 °С, що перевищує проектне значення для металу зварного шва ($A_F = 20$ °С). Для основного металу нижньої обичайки коефіцієнт радіаційного окрихчування $A_F(95 \%)$, визначений з довірчою вірогідністю 95 %, становить 15,2 °С. Це значення не перевищує максимально допустимого значення $A_F = 23$ °С для основного металу (сталь 15Х2НМФАА).

За допомогою отриманих даних було визначено термін безпечної експлуатації корпусу реактора блока № 6 Запорізької АЕС до накопичення стінкою корпусу на рівні шва № 3 флюенсу швидких нейтронів $21,2 \cdot 10^{22}$ нейтр.м⁻². Динаміка накопичення флюенсу швидких нейтронів стінкою КР на рівні шва № 3, яка визначена співробітниками відділу проблем дозиметрії ядерних реакторів, свідчить, що при збереженні існуючих схем завантаження активної зони вказаний флюенс буде досягнутий не раніше, ніж в кінці 21 паливної кампанії (~ 2017 р.). Рекомендовано здійснити черговий контроль зразків-свідків у кінці 20-й паливної кампанії (~ 2016 р.).

УМОВИ ОПРОМІНЕННЯ ВНУТРІШНЬОКОРПУСНИХ ПРИБОРІВ РЕАКТОРІВ ТИПУ ВВЕР

С. М. Пугач, В. М. Буканов, О. В. Гриценко, В. Л. Дем'янін

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

УСЛОВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ВНУТРИКОРПУСНЫХ УСТРОЙСТВ РЕАКТОРОВ ТИПА ВВЭР

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Одной из работ, выполняемых при обосновании увеличения срока безопасной эксплуатации реакторов типа ВВЭР является оценка технического состояния внутрикорпусных устройств (ВКУ), составной частью которой является определение их условий облучения. Конструкционные особенности реакторов корпусного типа, к которым относятся реакторы ВВЭР, практически исключают возможность экспериментального определения функционалов нейтронного потока, характеризующих условия облучения ВКУ.

Специалистами Отдела проблем дозиметрии ядерных реакторов ИЯИ НАН Украины с целью определения этих функционалов была разработана специальная расчетная методика. Основой этой методики является пакета

программ MСРV собственной разработки, который был адаптирован для определения функционалов нейтронного потока, воздействующего на ВКУ. С целью подтверждения применимости адаптированного пакета программ для определения условий облучения ВКУ реакторов типа ВВЭР была выполнена процедура верификации.

В работе определены условия облучения ВКУ реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 украинских АЭС. Анализ полученных результатов показал, что максимальное значение плотности потока быстрых нейтронов на поверхностях ВКУ рассматриваемых реакторов зависит от характеристик топливной загрузки. В то же время, форма аксиального распределения плотности потока, а, следовательно, и флюенса нейтронов практически не изменяется от кампании к кампании.

Полученные результаты показали, что использование топливных загрузок с выгоревшими выступающими кассетами, как правило, приводит к уменьшению радиационной нагрузки на ВКУ реакторов обоих типов. Кроме того, наличие кассет-экранов на периферии активной зоны реакторов ВВЭР-440 также уменьшает радиационную нагрузку на ВКУ.

РОЗПОДІЛ ЧАСУ ДОСЯГНЕННЯ ЗАДАНОГО РІВНЯ ЧИСЛОМ НЕЙТРОНІВ І ПЕРІОД РЕАКТОРА

В. В. Рязанов

Институт ядерних досліджень НАН України, Київ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ЧИСЛОМ НЕЙТРОНОВ И ПЕРИОД РЕАКТОРА

В. В. Рязанов

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

В теории и эксплуатации важную роль играет период реактора, промежуток времени, за который экспоненциально убывает плотность нейтронного потока. Эту величину описывают детерминированным образом, хотя природа ее случайна в силу стохастичности нейтронных процессов. Рассмотрена случайная величина для временных интервалов эволюции нейтронов - время достижения уровня числом нейтронов в реакторе. Под временем достижения уровня числом нейтронов понимается случайное время до момента достижения случайным процессом полного числа нейтронов в реакторе некоторого заданного уровня. Рассмотрено время достижения уровня, в e раз меньшего, чем начальный. Это соответствует периоду подкритического реактора. Время достижения уровня называют также временем первого прохождения уровня, моментом пересечения уровня, временем выхода, временем жизни и т.д. Получено распределение времени достижения уровня числом нейтронов в реакторе, из которого можно записать

не только среднее время достижения уровня, но и любые моменты этой величины. В чем преимущества предлагаемого подхода по сравнению с определением периода реактора из уравнений точечной кинетики? Первое: это случайная величина, а не детерминированная, и исследоваться она должна, как случайная величина. Получены распределения этой величины и моменты любого порядка, например, дисперсия. Второе: получены зависимости от времени, истории и динамики реакторной системы выражения для времени достижения и других характеристик процесса, отражающие реальные процессы в течение времени существования системы. Третье: анализ этих величин позволяет находить точки неустойчивости системы, опасные изменения реактивности, и избегать таких режимов. Учитываются влияние различного рода воздействий, создаваемых реакторным оборудованием; делается это при помощи несложных расчетов, без опасных экспериментов. Четвертое: для энергетического реактора с обратными связями нельзя говорить об асимптотическом периоде в соответствии с уравнением обратных часов, так как такой период никогда не может быть установившимся, и поэтому не может быть установлена однозначная связь между «периодом» реактора и величиной введенной реактивности. И как следствие – трудно определить степень опасности в изменении эффективного коэффициента размножения $k_{эф}$.

РЕКОНСТРУКЦІЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ УТОЧНЕННЯ СТАНУ МЕТАЛУ КОРПУСУ РЕАКТОРА БЛОКА № 2 ЗАЕС

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

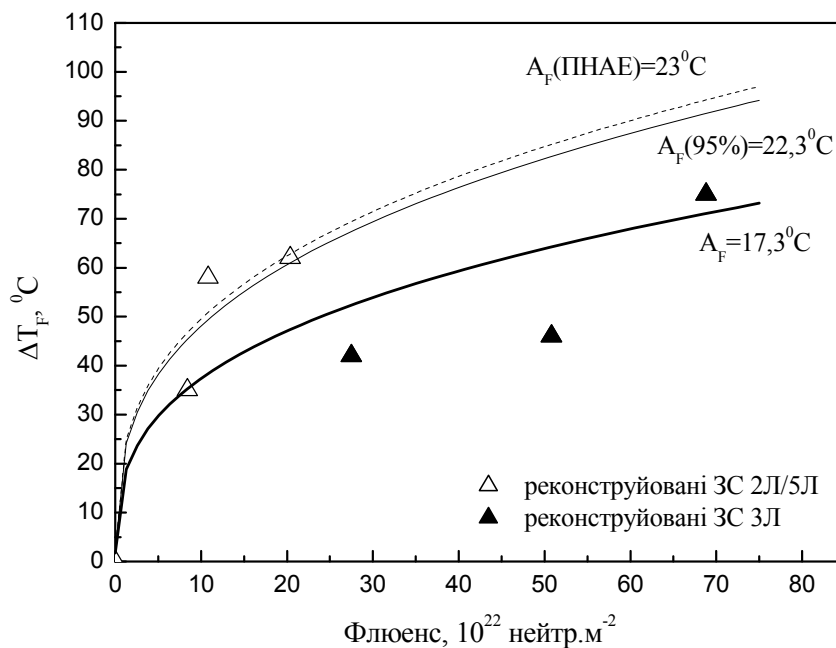
Як відомо, для кожного енергоблока АЕС здійснюється періодичний контроль стану металу корпусу реактора (КР). Оскільки метал КР має властивість окрихчуватися під впливом опромінення, то необхідно постійно знати зміну його механічних властивостей для попередження крихкого руйнування металу.

Для контролю за станом металу КР і відповідно управління ресурсом діючих енергоблоків використовується програма зразків-свідків (ЗС). У рамках даної програми випробовуються неопромінені та опромінені комплекти ЗС, результати яких порівнюються і визначається зміна механічних характеристик металу КР.

У роботі розглянуто результати випробувань ЗС типу Шарпі КР блока № 2 Запорізької АЕС штатного комплекту ЗЛ. Комплект знаходився в реакторі протягом 21 паливної кампанії. В Інституті ядерних досліджень (ІЯД) були проведені випробування на ударний вигин зразків даного комплекту, визначені критичні температури крихкості ($T_{кФ}$) для основного металу (ОМ), металу зварного шва (ЗШ) та зони термічного впливу (ЗТВ), а також зсув температури крихко-в'язкого переходу (ТКВП) (ΔT_F) під впли-

вом нейтронного опромінення. За результатами випробувань попередніх комплектів визначено, що критичним елементом даного корпусу є основний метал.

Об'єднавши дані випробувань комплекту ЗЛ з результатами випробувань попередніх комплектів для ОМ, визначено значення коефіцієнта радіаційного окрихчення $A_F = 20$ °С. Це значення не перевищує нормативне значення ПНАЕ $A_F(\text{ПНАЕ}) = 23$ °С [1].



Оскільки зразки штатного комплекту опромінюються дуже неоднорідно: на одному ярусі контейнерної збірки нерівномірність опромінення може перевищувати 70 %, то цікавим є уточнення ТКВП результатами випробувань реконструйованих ЗС комплекту ЗЛ, які об'єднуються в групи з максимальним відхиленням по флюенсу 10 % від середнього. Дані випробування були проведені в «гарячих камерах» ІЯД. Було сформовано 3 групи опромінених реконструйованих зразків із середніми значеннями флюенсу $27,5$; $50,8$ та $68,8 \cdot 10^{22}$ нейтр.м⁻². У результаті випробувань ТКВП для групи 1 становить -31 °С, для групи 2 $T_{кФ} = -27$ °С, для групи 3 $T_{кФ} = 2$ °С. На рисунку показано, що крива залежності $\Delta T_F(F)$ не перевищує нормативну криву ПНАЕ, а також коефіцієнт радіаційного окрихчення, визначений з 95 % довірчою ймовірністю $A_F(95 \%) = 22,3$ °С, не перевищує нормативне значення $A_F(\text{ПНАЕ}) = 23$ °С.

Таким чином, результати випробувань реконструйованих ЗС підтвердили безпечність експлуатації КР до набору ним флюенсу $68,8 \cdot 10^{22}$ нейтр.м⁻² і дали змогу уточнити коефіцієнт радіаційного окрихчення, визначений на штатних зразках.

1. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Введ. 01.07.87. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

ДОСЛІДЖЕННЯ НА СТІЙКІСТЬ СТАЦІОНАРНОЇ ХВИЛІ ЯДЕРНИХ ПОДІЛІВ

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

¹ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

Однією з інноваційних реакторних систем, які досліджуються у пошуку оптимальних джерел енергії, є швидкий саморегульований реактор, що працює на хвилі ядерних поділів (РХЯП). У роботі [1] показано, що для одновимірного РХЯП з уран-плутонієвим циклом в одnogруповому наближенні при урахуванні β -розпаду ^{241}Pu графік залежності швидкості стаціонарної хвилі від безрозмірної концентрації поглинача має точку повороту, тобто існують верхня і нижня гілки стаціонарних розв'язків. Там же було висловлено припущення, що нижня гілка є нестійкою і швидкість стаціонарної хвилі не може бути меншою деякого граничного значення. Мета цієї роботи – дослідити на стійкість хвилі, що відповідають різним гілкам швидкісної характеристики РХЯП.

Відповідна нестационарна задача розв'язувалась чисельно. Реактор вибирався достатньо довгим, щоб вибір межових умов на його кінцях не був істотним. В якості початкових умов при розрахунку використовувались дані розв'язання задачі на стаціонарну хвилю [1] для верхньої і нижньої гілок в необмеженому по довжині реакторі.

Два типові варіанти еволюції стану нижньої гілки включають процеси двох різних типів: 1) відносно швидкий перехідний процес типу затухаючих коливань потоку нейтронів і реактивності; 2) повільний саморегульований процес, пов'язаний з поступовою зміною розподілів концентрацій ядер і переміщенням хвилі, за якими адіабатично слідує нейтронний потік. В обох випадках система переходить в інший стан: у першому випадку хвиля гасне приблизно за 4 місяці, а у другому потік нейтронів поступово зростає протягом приблизно двох років більше як у десять разів, хвиля розганяється і переходить у стан, який відповідає стаціонарній хвилі верхньої гілки при даному значенні концентрації поглинача. Таким чином, стаціонарні розв'язки нижньої гілки є нестійкими і не реалізуються як стаціонарні хвилі в реакторі. У той же час стаціонарні розв'язки верхньої гілки є стійкими. Розрахунки для початкових станів верхньої гілки підтверджують цей висновок.

1. V.M. Khotyayintsev, V.M. Pavlovych, O.M. Khotyayintseva. Travelling-wave reactor: velocity formation mechanisms. In: PHYSOR 2010.

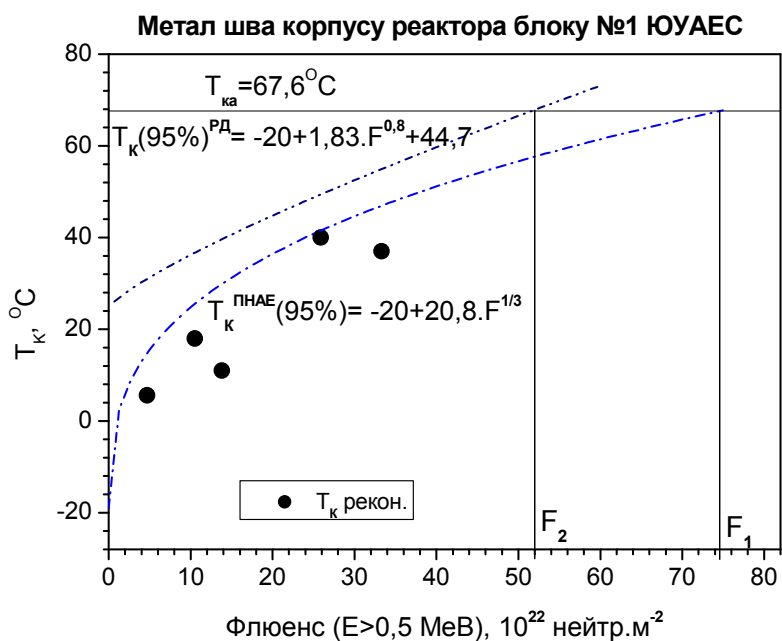
ПОРІВНЯННЯ УКРАЇНСЬКОГО ТА РОСІЙСЬКОГО ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОКРИХЧУВАННЯ МЕТАЛУ КОРПУСІВ РЕАКТОРІВ

Л. І. Чирко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У 2009 р. в Російській Федерації введений в дію новий нормативний документ РД ЕО 1.1.2.09.0789-2009 “Методика визначення в’язкості руйнування за результатами випробувань зразків-свідків для розрахунку міцності і ресурсу корпусів реакторів ВВЕР-1000”. У Додатку Г (обов’язковому) цього документа пропонується процедура прогнозування радіаційного окрихчування матеріалів КР ВВЕР-1000 як функції хімічного складу сталі, часу опромінення і флюенсу швидких нейтронів у випадку неможливості використання методики прямого визначення параметрів радіаційного окрихчування за результатами випробування зразків-свідків матеріалів конкретного КР. Крім того, функціональні залежності, що пропонуються в цьому додатку, також мають бути застосовані до прямого визначення параметрів радіаційного окрихчування за результатами випробувань зразків-свідків.

Для порівняння розрахунків залишкового ресурсу за допомогою залежностей ПНАЕ, що діє на разі в Україні, і РД використані дані для двох корпусів реакторів, а саме: енергоблоків № 1 і № 2 Южно-Української АЕС. Ресурс КР визначається перетином дозових залежностей критичної температури крихкості T_K з його максимально допустимим значенням $T_{ка}$. Для обох корпусів залишковий ресурс за ПНАЕ визначається до флюенсу F_1 , який приблизно на $20 \cdot 10^{22}$ нейтр.м⁻² більший, ніж при застосуванні положень РД (флюенс F_2) (рис. 1 і 2).



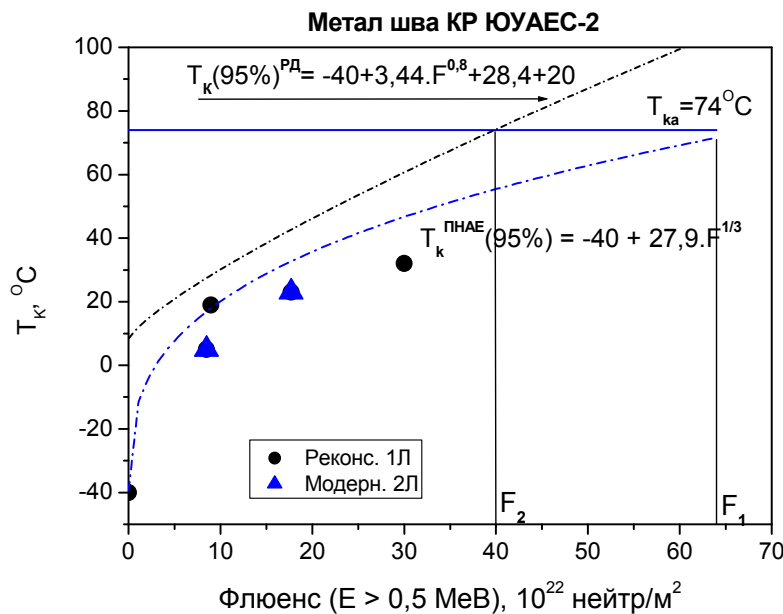


Рис. 2.

Таким чином, результати порівняльних розрахунків за обома методиками продемонстрували надзвичайну консервативність підходу російського документу, який зменшує термін безпечної експлуатації корпусу реактора на ~ 20 років.

Статистика отриманих результатів недостатня для кінцевого висновку. Необхідні подальші подібні дослідження для інших корпусів реакторів, особливо зважаючи на те, що розглянуті положення документа РД ЭО 1.1.2.09.0789-2009 під тиском російської сторони увійшли до документа МАГАТЕ VERLIFE-2011, який буде невдовзі діяти і в Україні.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ВИКОРИСТАННЯ РАДІАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ІЯД НАН УКРАЇНИ В ТЕХНОЛОГІЯХ НОВИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ В ЯДЕРНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Викладено проблеми адаптації радіаційної технічної бази ІЯД НАН України до створення нових композитних матеріалів в ядерній енергетиці на основі мінерально-органічних композитів підвищеної корозійної стійкості та міцності. Обговорюються особливості створеного в ІЯД пілотного зразку спеціалізованої технологічної установки (лінії) для розробки полімер-бетонів нового покоління. Викладено особливості нових технічних розробок, досвід їх експлуатації. Обговорюється комплекс технічних засобів, розроблених для модернізації радіаційної установки. Значну увагу приділено питанням розвитку систем якості для таких технологічних про-

цесів. Наведено розробки нових методів моніторингу процесів опромінювання та радіаційних характеристик установки.

Обговорюються запропоновані для даних радіаційних процесів методи зниження енергоспоживання, оригінальні прийоми контролю дозових показників в товщі опромінених зразків радіаційно-модифікованого бетону. Розглянуто питання реалізації норм радіаційної та загальної безпеки при створенні цих нових матеріалів.

Наводяться основні технологічні результати, отримані на адаптованій установці при обробці великих партій стандартизованих дослідних зразків полімер-бетону за стандартами, прийнятими у відповідній галузі виробництва та досвід здійснення на установці таких досліджень. Було отримано нові оригінальні типи конструкційних матеріалів на основі радіаційно-модифікованого бетону (таблиця). Вони підтвердили, що використовуючи радіацію, як технологічний інструмент можна виготовляти бетони, властивості яких суттєво перевищують усі нині існуючі і не можуть бути досягнуті ніякими іншими технологіями, крім радіаційних. Показано, що реалізована в ІЯД НАНУ структура адаптованої радіаційної установки є ефективною науково-технічною базою створення покращених бетонів на основі нових органо-мінеральних цементуючих систем, які поза конкуренцією при виборі матеріалів для гідротехнічних споруд підвищеної корозійної стійкості в ядерній енергетиці, будівництві морських споруд, в мерзлоті.

Міцність та водопоглинення бетонних зразків радіаційно-модифікованого бетону

Зразки композитного радіаційно-модифікованого бетону	Водопоглинення бетону, %	Міцність при стиску зразків бетону, МПа
1-й варіант композиції	0,28	30
2-й варіант композиції	0,33	31
3-й варіант композиції	0,05	23
Контрольні (звичайний бетон без радіаційної обробки)	1,60	23

Досвід експериментальної експлуатації установки після її адаптації підтвердив можливість одночасного здійснення на ній широкого кола інших наукових досліджень і практичних робіт.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ МЕТАЛУ КОРПУСІВ РЕАКТОРІВ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС УКРАЇНИ

М. Г. Голяк, С. М. Ковбасенко Л. І. Чирко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Програма супроводу працездатності металу корпусів (КР) діючих в Україні ядерних енергоблоків базується на дослідженні зразків-свідків з

основного металу і зварних з'єднань. Корпуси наших реакторів зварені з поковок високоміцної теплостійкої сталі 15Х2НМФА очищеної по спеціальній технології.

Дані по хімічному складу металу, що приведені в даній роботі, були отриманні у відділі радіаційного матеріалознавства за допомогою установки Leco GDS500A, яка працює за методом фотоелектричного спектрального аналізу та відповідає стандарту ГОСТ 1895-97.

Мета цієї роботи полягає у порівнянні фактичних даних з кожної вигризки з конкретного КР та заявлених паспортних даних хімічного складу металу КР енергоблоків, дані приведені у вигляді порівняльної таблиці.

Дуже важливо знати фактичні дані хімічного складу металу, оскільки саме концентрація деяких хімічних елементів (особливо P, Ni, Mn, Si) впливає на фізико-механічні властивості металу, головна з яких радіаційне окрихчування.

У 2009 р. в Російській Федерації введений в дію новий нормативний документ РД ЕО 1.1.2.09.0789-2009 «Методика визначення в'язкості руйнування за результатами випробувань зразків-свідків для розрахунку міцності і ресурсу корпусів реакторів ВВЕР-1000". В Додатку Г цього документа пропонується процедура прогнозування радіаційного окрихчування матеріалів КР ВВЕР-1000 як функції хімічного складу сталі, часу опромінення і флюенсу нейтронів (з енергією більше 0,5Мев).

Коефіцієнт радіаційного окрихчування A_F , що входить до функцій, які визначають зсув критичної температури крихкості, зумовлений нейтронним опроміненням і залежить від флюенсу нейтронів та має вигляд:

$$A_F = \alpha_1 \exp(\alpha_2 \cdot C_{\text{экв}}),$$

$$\text{де } C_{\text{экв}} = \begin{cases} C_{Ni} + C_{Mn} - \alpha_3 C_{Si}, & \text{якщо } C_{Ni} + C_{Mn} - \alpha_3 C_{Si} \geq 0 \\ 0, & \text{якщо } C_{Ni} + C_{Mn} - \alpha_3 C_{Si} < 0 \end{cases}; \alpha_1 = 0,703; \alpha_2 = 0,883;$$

$\alpha_3 = 3,885$; C_{Ni} , C_{Mn} , C_{Si} – вміст нікелю, марганцю та кремнію у вагових відсотках.

Роботи по спектральному аналізу металу ЗС зварних з'єднань та основного металу, що виконуються у відділі радіаційного матеріалознавства, гарантують достовірність даних хімічного складу, які будуть використані для розрахунку коефіцієнта окрихчування.

ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ВИРОЩУВАННЯ УТОМНИХ ТРІЩИН ЗА ДОПОМОГОЮ ДАТЧИКА РОЗКРИТТЯ НА РЕКОНСТРУЙОВАНИХ ЗРАЗКАХ-СВІДКАХ ТИПУ COD

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Для випробування зразків на триточковий вигин необхідно виростити втомну тріщину, що імітує тріщини в металі стінки корпусу реактора. Най-

більш небезпечні так звані «гострі» тріщини. Для їх вирощування використовуються випробувальний комплекс BISS (виробник фірма Bangalore Integrated System Solutions Ltd, Індія).

Вирощування тріщин на установці BISS проводяться з контролем параметрів росту втомної тріщини відповідно до стандарту ASTM E399 [1] і E647 [2] на зразках типу COD.

Розкриття тріщини реєструвалося з використанням датчика розкриття тріщини і цифрового енкодера. Кінцева довжина втомної тріщини перевірялася оптичним методом з використанням катетометра B630 та виміральної відеосистеми Project X.

Отримані дані, свідчать про те, що довжина всіх тріщин задовольняє вимогам стандарту E1921 [3], оскільки вкладається в необхідний діапазон: 0,45 - 0,55 товщини зразка.

Довжини тріщин, отриманих за допомогою енкодера, знаходилися в діапазоні 4,6 - 5,4 міліметра. Ця методика вимірювання не є прямою. Вона не дає можливості врахувати жорсткість та інертність рухомих частин машини. Впровадження методики прямого виміру за допомогою датчика розкриття тріщин дозволило позбавитись похибок, зумовлених механічними властивостями навантажуючого пристрою. Це дозволило отримувати результати у діапазоні 4,9 - 5,1 міліметра.

Також була зменшене навантаження під час вирощування, що збільшує гостроту тріщини. Коефіцієнт інтенсивності навантаження K_{max} теж відповідає вимогам стандарту.

Для дистанційної установки датчика у зразок нами була розроблена та виготовлена фірмою BISS система установки датчика. Вона забезпечує можливість дистанційно встановити датчик розкриття та його позиціонування згідно зразка.

Впровадження цієї методики дозволило з більшою точністю визначати температуру крихко-в'язкого переходу, що дозволяє точніше визначати ресурс корпусу реактора.

1. ASTM E 399 - 90 (Reapproved 1997) Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials. - Published April 1991. - 34 p.
2. ASTM E 647 - 00 Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates. Published April 2001. - 43 p.
3. E 1921-97 Standard Test Method for Determination of Reference Temperature, T_0 , for Ferritic Steels in the Transition Range. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01, 1997.

Тези доповідей з радіаційної фізики та радіаційного матеріалознавства

ВИМІРЮВАННЯ ДОЗ У ПРОТОННІЙ ТЕРАПІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ КРЕМНІЄВОГО PIN ДІОДА ТА ІОНІЗАЦІЙНОЇ КАМЕРИ

І. Є. Анохін, О. С. Зінець

Інститут ядерних досліджень НАН України

У протонних пучках, які використовуються в радіаційній медицині, завжди присутні вторинні нейтрони, які утворюються як при формуванні пучка, так і безпосередньо в тканинах пацієнта внаслідок ядерних (p,n) реакцій.

Метою дослідження є метод окремого вимірювання поглинутих доз протонів та нейтронів в області поза межами протонного пучка в радіаційній терапії. Кремнієвий PIN діод чутливий до радіаційних пошкоджень, спричинених нейтронами та протонами. У комбінації зі стандартною іонізаційною камерою, яка у свою чергу вимірює іонізаційні втрати, можливе роздільне визначення поглинутої дози протонів і нейтронів.

У роботі отримано зв'язок між дозами нейтронів та протонів та відгуками діода та іонізаційної камери в змішаних полях в області поза межами терапевтичного протонного пучка. Наведено результати моделювання за допомогою пакета GEANT4 парціальних вкладів протонів і нейтронів у повну дозу для фантому з люциту і виконано порівняння з експериментальними даними. Показано, що зі збільшенням відстані від краю пучка, відносний вклад нейтронної компоненти починає домінувати.

ВПЛИВ МЕТАЛЕВИХ НАНОЧАСТИНОК НА ЕНЕРГЕТИЧНІ СПЕКТРИ ТА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЕРИФЕРІЙНИХ ФОТОЗБІРНИХ LN2 КОМПЛЕКСІВ ФОТОСИНТЕЗУЮЧИХ БАКТЕРІЙ

І. Ю. Голіней¹, А. В. Верцімаха¹, Л. Валкунас², В. Й. Сугаков¹

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Центр фізичних наук і технологій, Вільнюс, Литва*

Робота присвячена теоретичному дослідженню впливу малої металевої частинки або нанооболонки на оптичні спектри й квантовий вихід передачі енергії до реакційного центру периферійних фотозбірних комплексів LN2 фотосинтезуючих бактерій. Збільшення ймовірності збудження екситонного переходу в комплексах виникає завдяки резонансному перекачуванню сили осцилятора оптичного переходу від поверхневого плазмона до збуджень молекул у складі комплексу.

Розрахунки виконувалися в рамках моделі, в якій LH2 комплекс був представлений як кільце періодично розташованих димерів диполів, а електрони металу описувалися в моделі Друде. Спектр електронних збуджень кільця має екситонний характер. Серед рівнів екситонного спектру як із зовнішнім електромагнітним полем, так і з поверхневими плазмонами металеві частинки, інтенсивно взаємодіють два суперрадіантні. Взаємодія між диполями кільця та електронами металу призводить до змішування екситонних та плазмонних станів. У разі, коли це змішування має резонансний характер, інтенсивність поглинання світла LH2 комплексом збільшується. Резонансу між екситонними й плазмонними збудженнями можна досягнути, використовуючи нанооболонки, частота поверхневих плазмонів у яких залежить від співвідношення радіусів діелектричної внутрішньої області та металевого зовнішнього покриття. Для проведення розрахунків побудована теорія квантування поверхневих плазмових збуджень нанооболонки.

Поряд із збільшенням поглинання присутність металеві частинки вносить додатковий механізм у дисипацію збудження, що є небажаним явищем для фотоефекту. Теоретичні розрахунки, виконані в роботі показали, що при певному виборі параметрів системи загальний квантовий вихід передачі енергії від фотозбірного комплексу до реакційного центра, який враховує як збільшення поглинання так і додатковий механізм затухання, може зрости.

Отримані залежності підсилення поглинання світла, збільшення ймовірності нерадіаційного розпаду екситонних збуджень та коефіцієнту переходу збудження до реакційного центру фото синтезуючої бактерії від параметрів срібної нанооболонки: співвідношення радіусів, діелектричної проникності серцевини, розташування.

НАДДАЛЕКЕ ПОШИРЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ У ЗЕМНІЙ КОРИ

В. М. Павлович, А. І. Кваснюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

СВЕРХДАЛЬНЕЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ЗЕМНОЙ КОРЕ

В. Н. Павлович, А. И. Кваснюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Проблема испускания электромагнитного излучения при деформации и разрушении кристаллов имеет свою давнюю историю, начиная с 30-х годов минувшего столетия. Однако, в последние десятилетия интерес к этой проблеме возобновился, в основном в связи с возможными геофизическими приложениями. В частности, в ряде работ была показана возможность

изучения структуры земной коры (и соответственно наличия полезных ископаемых) при анализе фонового электромагнитного излучения Земли в радиочастотном диапазоне. Был предложен механизм, который объясняет возможность выхода высокочастотного электромагнитного излучения на поверхность. Он заключается в том, что геологическая среда состоит в основном из сложных кристаллических решеток, элементарная ячейка которых содержит более одного атома. При образовании дефектов в сложных диэлектрических кристаллах возбуждаются электромагнитные волны. В свою очередь, прохождение электромагнитных волн через напряженный кристалл вызывает появление и уничтожение дефектов. В ионных кристаллах электромагнитное поле не существует само по себе, но неразрывно связано с механическими колебаниями решетки и образует сложное образование – поляритон. Экспериментально было показано, что при больших длинах волн основная энергия поляритона приходится на электромагнитную составляющую. Этот факт дает возможность в будущем рассматривать только электромагнитную составляющую поляритона – электромагнитную волну. В данной работе было показано, что при введении некоторых приближений из квантовой механики можно вывести связанные кинетические уравнения для интенсивности поля и числа дефектов. Из этих уравнений видно, что наличие избыточного числа дефектов данного типа может понизить коэффициент поглощения среды, а в некоторых случаях привести к усилению электромагнитной волны. В равновесии энергия электромагнитной волны будет поглощаться средой по закону $w \sim \exp(-\frac{\sigma_0 r}{c})$, где r - пройденное расстояние в среде, c - скорость света в среде, σ_0 - проводимость среды. При деформации кристаллов, причем в области нелинейной деформации, когда происходит интенсивное образование дефектов, а также при наличии электромагнитного поля, которое также стимулирует образование дефектов, коэффициент поглощения среды изменяется согласно формуле

$$\Gamma = -\lambda - \frac{\sigma}{2} + \sqrt{(\lambda - \frac{\sigma}{2})^2 + 8\pi I_{R,z} ((M_{01}^* - M_{01})d(0) + M_{10})}$$

где λ – коэффициент затухания поляризации, $I_{R,z}$, M_{01} , M_{10} – матричные элементы, определяющие вероятность рождения дефектов, величина d_0 пропорциональна числу дефектов в единице объема в равновесной среде; σ - проводимость среды без дефектов. Равновесное состояние среды соответствует случаю, когда $d(0) = d_0$. Когда $d(0) > d_0$, видно, что $\Gamma < \sigma$, т.е., коэффициент затухания поля уменьшается. Так как размер дефекта намного меньше длины волны $\lambda = 100$ м, рассеиванием электромагнитной энергии на дефектах мы пренебрегаем.

ВИБИВАННЯ ЕЛЕКТРОНІВ ІОНАМИ В МЕТАЛІЧНИХ СТРІП-ДЕТЕКТОРАХ

О. Я. Дзюблик, В. Ю. Співак

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Останнім часом для спостережень пучків заряджених частинок широко використовуються металічні мікро-стріп детектори. Такі детектори утворені набором тонких металічних фольг, розділених пустими проміжками. Падаючі іони вибивають електрони із цих металічних фольг, й вибиті електрони відтягуються із проміжків прикладеним електричним полем. Позитивний заряд, що виникає на плівках, спричиняє електричний струм, який підсилюється і детектується.

Щоб оцінити ефективність таких детекторів, ми обчислили кількість електронів провідності, яка емітується металічною плівкою, при проходженні крізь плівку іона. Це зроблено по аналогії із нашим аналізом процесу струсу електронів провідності, спричиненого раптовою зміною заряду ядра. Кулонівська взаємодія між падаючим іоном та електронами вибирається у вигляді екранованого потенціалу

$$V_c(r) = (-Ze^2/r)\exp(-r/rs) + (-\Delta Ze^2/r)\exp(-r/r's),$$

де r_s й $r's$ – довжини екранування, пов'язані відповідно із внутрішніми електронами атома та електронами провідності, $Z' = Z - \Delta Z$, де Ze заряд ядра падаючого іона, ΔZe заряд іона як цілого.

Електрони провідності розглядаються як ідеальний газ в прямокутній потенціальній ямі, глибина якої $U_0 = E_F + A$, де E_F – енергія Фермі, A – робота виходу. Розподіл електронів визначається статистикою Фермі. Приймається, що іони падають перпендикулярно до плівки й нехтується їхніми зіткненнями із ядрами мішені, що ведуть до значних відхилень іона від прямолінійної траєкторії.

Переріз розсіяння іонів електронами провідності рахується в борнівському наближенні. Враховується також згасання збудженої електронної хвилі в кристалі та її заломлення на поверхні кристалу. Виведено вираз для кількості електронів, які емітуються з металеві плівки при проходженні крізь неї іона, як функція енергії іону. Проведені чисельні розрахунки кількості вибитих іонами з плівки електронів дають можливість оцінити ефективність метало-стріпових детекторів.

ПРОБЛЕМИ СУМІСНОСТІ НИЗЬКОАКТИВОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ З ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ РІДКОМЕТАЛЕВИМИ СЕРЕДОВИЩАМИ РЕАКТОРІВ СИНТЕЗУ І ДІЛЕННЯ

В. П. Цісар, О. І. Єліссєва

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

Сумісність конструкційних матеріалів з функціональними рідкометалевими середовищами реакторів синтезу і ділення є актуальною проблемою сучасного реакторного матеріалознавства. В даній роботі висвітлено основні закономірності корозійної взаємодії матеріалів зі швидким спадом наведеної активності, а саме сталей ферито-мартенситного і феритного класів системи Fe-Cr-W і сплаву V-4Ti-4Cr з розплавами Pb, Pb-Bi, Pb-Li і Li. Встановлено залежності корозійних характеристик від температурно-часових та статично-динамічних параметрів системи, а також наявності неметалевих домішок у рідкому металі. Корозійні втрати сталей зростають з температурою та швидкістю руху рідкометалевого середовища. Чисті розплави Pb та Pb-Li є більш агресивними корозійними середовищами по відношенню до сталей у порівнянні з Li за однакових умов взаємодії. Домішка азоту (~0.5 wt.%N) в Li значно підвищує корозійні втрати сталей у порівнянні з чистим літєм. Корозійні процеси супроводжуються значними змінами в структурно-фазовому складі приповерхневих шарів сталей, а саме формуванню знеміцненої зони збідненої по хрому і перетворенню мартенситу на ферит. Запропоновано узагальнену схему корозійної взаємодії сталей з рідкометалевими середовищами.

Розглянуто, основні методи підвищення корозійної стійкості сталей і ванадієвих сплавів. Акцент зроблено на *in-situ* методах формування захисних оксидних шарів безпосередньо у рідкому металі за допомогою контрольованого масопереносу в системі “твердий метал - рідкий метал - неметалева домішка”. Встановлені закономірності оксидоутворення на поверхні сталей в залежності від концентрації кисню у розплавах свинцю, а також особливості формування електроізоляційних шарів Er_2O_3 на поверхні сплаву V-4Ti-4Cr у розплаві Li з активною домішкою (Er).

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ РОЗПОДІЛУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІМПЛАНТОВАНИХ У КРИСТАЛ АТОМІВ ЗА МЕЖЕЮ ПРОБІГУ

В. Й. Сугаков

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Іонна імплантація має широке наукове і технічне застосування. Профіль імплантованих іонів добре описується низкою розроблених програм. Проте

на протязі останніх кількох десятиліть при імплантації іонів в кристал спостерігаються нові явища на відстанях від поверхні, що на кілька порядків перевищують довжину пробігу іонів. Так, за межею пробігу іонів спостерігається збільшення мікротвердості, зміна параметра кристалічної ґратки, відбуваються фазові перетворення, тощо. Для цих ефектів за межею пробігу іонів запропонована навіть назва - «ефекти далекодії». Для пояснення ефектів висувалися різноманітні пояснення: припускалось, що важливу роль відіграє радіаційно стимульована дифузія, обумовлена, зокрема, механічними напруженнями, створеними опроміненням, розглядалась роль каскадів, що утворюються при опроміненні, припускалось виникнення солітонів, висувались гіпотези про роль процесів самоорганізації. Всі ці процеси можуть відігравати певну роль в сприянні дифузійного проникнення імплантованих іонів в кристал, проте незважаючи на численні дослідження більшість ефектів не знаходять свого пояснення, незрозумілим залишається явище виникнення структури в розподілі дефектів, пороговий характер явищ, температурна залежність процесів.

У доповіді запропонована модель, яка пояснює і передбачає низку явищ, що відбуваються за межею пробігу іонів. Модель ґрунтується на наступному: 1) число атомів в міжвузлових положеннях (імплантованих і створених опроміненням) перевищує число вакансій створених опроміненням; 2) імплантовані атоми створюють з вакансіями нерухомі комплекси; 3) важливу роль відіграють теплові вакансії. Розв'язок системи диференціальних рівнянь приводить до наступних результатів. А) За межею пробігу іонів виникає область, в якій повна концентрація вакансій (створених радіацією і теплових) є набагато меншою за термодинамічно рівноважну концентрацію. Б) В кінці цієї області виникає пік рекомбінації імплантованих атомів з вакансіями зі створенням піка нерухомих комплексів. Розмір області з дуже малою концентрацією вакансій може істотно перевищувати пробіг іонів і досягати кількох десятків мікрометрів. Малі значення густини вакансій змінює поведінку фізичних процесів і властивостей опроміненого матеріалу за межею пробігу іонів. В доповіді наведений аналіз деяких експериментів з точки зору запропонованої моделі.

ЕЛЕКТРОСТАТИЧНІ ПАСТКИ ДЛЯ НОСІЇВ ЗАРЯДУ ТА ЕКСИТОНІВ У НАПІВПРОВІДНИКАХ ІЗ ПОДВІЙНИМИ КВАНТОВИМИ ЯМАМИ

В. Й. Сугаков¹, В. В. Томилко², А. А. Чернюк¹

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

В останні роки продовжуються інтенсивні дослідження напівпровідникових систем у зв'язку з пошуком бозе-ейнштейнівської конденсації різного

роду квазічастинок та дослідженню колективних ефектів їх взаємодії. Зокрема, досягнуто значних успіхів в експериментальному вивченню систем із подвійними квантовими ямами, в яких час життя екситону є довгим. Оскільки накопичити значні концентрації екситонів при низьких температурах важко реалізувати на практиці, тому для подальшого підвищення густини екситонів різними авторами створюються системи із електростатичними потенціальними пастками, в яких екситони акумулюються [1].

У даній роботі розглядається ідея створення пасток для екситонів у подвійних квантових ямах, розташованих близько до границі одного з електродів. Як відомо, поблизу границі електрода, до якого прикладено потенціал, має місце накопичення заряду. Внаслідок перерозподілу заряду створюється потенціальна яма для екситону, який має дипольний момент. Радіальний профіль потенціальної енергії екситону має мінімум поблизу краю електрода (вдovж периметра вікна або диску, вдovж щілини). Внаслідок цього, слід очікувати найбільшого накопичення екситонів у кільцевій пастці уздовж краю електрода. Глибина ями достатня для локалізації екситонів при низьких температурах. Яма глибшає зі зменшенням радіусу диску та зі скороченням відстані між квантовими ямами та електродом. При цьому, потенціали носіїв заряду (електронів та дірок) є монотонними вдovж радіальної змінної. Отже, пастками захоплюються виключно екситони, і ефекту впливу інших частинок на такі пастки немає, що зручно для дослідження систем із великою концентрацією екситонів.

Пастки, зумовлені наявністю неоднорідністю електрода, виникали при розрахунку вікна в електроді [3] і поблизу щілини в електроді [4]. Зміщення випромінювання в червону сторону спостерігалось в роботі [5] у випадку наявності вікна в електроді.

Вивчення систем із пастками важливе для дослідження взаємодії багатоекситонних систем і може бути корисним для розвитку оптоелектроніки.

1. A.T. Hammack, M. Griswold, L.V. Butov et al., Phys. Rev. Lett. 96, 227402 (2006). Z. Voros, D.W. Snoke, L. Pfeiffer et al., Phys. Rev. Lett. 97, 016803 (2006). G.J. Schinner, E. Schubert, M.P. Stallhofer et al., Phys. Rev. B 83, 165308 (2011).
2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц, Курс теоретической физики, («Наука», 1982), т. 8, ст. 44.
3. В.И. Сугаков, А.А. Чернюк, Письма в ЖЭТФ 85, 699 (2007). V.I. Sugakov, Phys. Rev. B 76, 115303 (2007).
4. V.I. Sugakov, J. Phys.: Condens. Matter 21, 275803 (2009).
5. V.B. Timofeev, A.V. Gorbunov, and A.V. Larionov, J. Phys.: Condens. Matter 19, 295209 (2007).

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ДИНАМІКИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ДИФУЗІЇ АТОМІВ P ТА Ga У МОНОКРИСТАЛАХ ФОСФІДУ ГАЛІЮ

О. В. Конорева, П. Г. Литовченко, М. Б. Пінковська, В. П. Тартачник

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Розглянуто процеси дифузії атомів P та Ga методом молекулярної динаміки. Комп'ютерне моделювання поведінки дефекта під впливом температури полягало у здійсненні ряду послідовних операцій над зразком. На першому етапі поведінки дефекта в ідеальну ґратку GaP, яка містила 8000 атомів, вводився міжвузловий атом Ga_i чи P_i. За час $\tau_1 = 10^{-12}$ с кристал нагрівався до потрібної температури і витримувався при ній протягом $\tau_2 = 10^{-11}$ с. Спостереження за рухом атома тривало при незмінній температурі, відтак зразок охолоджувався до 0 К і розпочинався новий цикл при температурі, вищій від попередньої. Вже при $T = 1$ К P_i здатний переміщуватись по кристалу. Підвищення температури зразка до 900 К приводить до виникнення двох актів заміщення у підґратці фосфору. Ga_i значно інертніший від P_i і починає переміщення по міжвузлях при 100 К. Заміщення у підґратці галію відбувається при 500 К, трикратне - при 1600 К. Всі зіткнення, які супроводжуються заміщеннями, відбуваються у власній підґратці. Процес самодифузії у складній сполуці повинен протікати у межах тієї підґратки, до якої належить атом.

Перехід від міжвузлового механізму дифузії до вакансійного для атома фосфору розпочинається при 900 К; для галію – при температурі 500 К.

Коефіцієнт дифузії D_n обох міжвузлових атомів для кожної з температур можна розрахувати, визначаючи середньоквадратичні зміщення атома:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{X}_i^2 + \bar{Y}_i^2 + \bar{Z}_i^2)}{6N\tau}, \quad (1)$$

де N – кількість міжвузлових атомів, τ - час, необхідний для здійснення атомних скачків. У нашому випадку $N = 1$. Криві Арреніуса ($D = D_0 \cdot e^{-E_A/KT}$), побудовані шляхом узгодження з даними, одержаними методом МД, дають можливість визначити дифузійні параметри Ga_i та P_i – величину перед-експоненційного множника D₀ та енергію активації самодифузії E_A. Вони виявились рівними $D_0^{P_i} = 2,396 \times 10^{-6}$ см²/с; $D_0^{Ga_i} = 1,834 \times 10^{-6}$ см²/с; $E_A^{P_i} = 0,0323$ еВ; $E_A^{Ga_i} = 0,052$ еВ.

Використаний метод розрахунку дав змогу отримати енергії утворення як вакансії фосфору, так і вакансії галію $E_V^P = 2,44$ еВ, $E_V^{Ga} = 2,93$; еВ. Відповідно, енергії утворення міжвузлових атомів Ga_i та P_i: $E_{P_i} = 2,41$ еВ; $E_{Ga_i} = 1,41$ еВ.

РАДІАЦІЙНІ ЕФЕКТИ В КРЕМНІЇ, ОПРОМІНЕНОМУ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ЛЕГКИМИ ІОНАМИ

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Накопичені на даний час експериментальні дані в радіаційній фізиці твердого тіла вказують на можливість самоорганізації в ансамблях радіаційних дефектів і дефектів структури при проведенні іонної імплантації. Розподіл радіаційних дефектів і імплантованих іонів по глибині являє в першу чергу технічний інтерес, бо є важливим для радіаційної модифікації матеріалів. З другого боку, це має фундаментальне значення для розуміння природи взаємодії опромінення з речовиною, яка в наявних нині теоретичних моделях описується дещо спрощено.

Наші оптичні і структурні дослідження кремнію, опроміненого високоенергетичними легкими іонами (протонами, альфа-частинками) виявили такі ефекти, як «ефект великих доз», «ефект далекодії» і ефект самоорганізації з утворенням надгратки з радіаційних дефектів.

В роботі досліджено структуру монокристалів кремнію, опроміненого альфа-частинками ($\Phi \sim 10^{17} \text{ см}^{-2}$) з енергією 27, 2 МеВ після ізохронного (0.5 год) відпалу при $400 \div 900 \text{ }^\circ\text{C}$. Приведено дані рентгенівської топографії і вибіркового травлення. Виявлено смуги напружень ґратки кремнію у пробіжній для альфа-частинок області кристалу. Чіткість смуг залежить від інтенсивності опромінення. Зі зростанням температури відпалу до температури $900 \text{ }^\circ\text{C}$ виявляються дефекти, пов'язані із розпадом пересиченого твердого розчину кисню в кремнію. Щільність таких дефектів залежить від інтенсивності опромінення даної області кристалу. При збільшенні часу витримки при $900 \text{ }^\circ\text{C}$ до 3 годин виявлено дефекти в смугах росту кремнію, які при відпалі неопроміненого кристалу виявляються при температурі $\sim 1000 \text{ }^\circ\text{C}$.

Тези доповідей з фізики плазми

ПЕРИФЕРІЙНІ ВЧ МОДИ В СИЛЬНО НЕОДНОРІДНІЙ ГЕЛІКОННІЙ ПЛАЗМІ ТА ЇХНІ ПОНДЕРОМОТОРНІ ВЛАСТИВОСТІ

**М. А. Бєлошенко¹, К. П. Шамрай¹,
Ш. Шінохара², Т. Мотомура³, Т. Танікава⁴**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

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

³ *Університет Кюсю, Фукуока, Японія*

⁴ *Токайський університет, Канагава, Японія*

Досліджено властивості хвиль в геліконному діапазоні частот в обмеженій сильно неоднорідній плазмі. Показано, що існує дві множини істотно різних власних мод. Перша включає майже чисто геліконні моди, поздовжні хвильові числа яких більші за певне критичне значення, що визначається відсутністю в об'ємі плазми поверхні конверсії геліконних хвиль у квазіпотенціальні. Область локалізації цих мод знаходиться поблизу центра плазми і відокремлена від периферії поверхнею відсічки геліконів. Друга, значно численніша множина включає моди, які утворені зв'язаними геліконними і квазіпотенціальними хвилями. Ці моди існують у діапазоні хвильових чисел менших за критичне, коли в об'ємі присутня поверхня конверсії, і локалізовані ближче до периферії плазми, в області між поверхнями конверсії та відсічки геліконів. Показано, що внаслідок присутності квазіпотенціальної складової зв'язаним модам притаманні сильні електричні поля, які посилюються поляризацією неоднорідної плазми. В цих полях за рахунок пондеромоторних ефектів можуть генеруватись інтенсивні стаціонарні електронні струми.

ХВИЛЬОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ ПОЛЯ В ГЕЛІКОННІЙ ПЛАЗМІ

В. Ф. Вірко, В. М. Слободян, Ю. В. Вірко, К. П. Шамрай

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Геліконний розряд є ефективним джерелом низькотемпературної плазми. Він підтримується електромагнітними плазмовими хвилями – геліконами, енергія яких зосереджена в магнітному полі. Разом з тим електрони, які створюють іонізацію, одержують енергію від електричного поля. Інформацію про електричні поля в геліконному розряді звичайно отримують з вимірювань ВЧ магнітних полів та їх інтерпретації на основі закону Фарадея. Експериментальне вивчення електричних полів для даного типу розрядів раніше не проводилось. У роботі запропоновано та реалізовано метод

прямого вимірювання хвильових електричних полів у плазмі геліконного розряду.

Експерименти проводились в розряді, що збуджувався на частоті 13,56 МГц азимутально-симетричною модою $m = 0$ геліконних хвиль в аргоні при тиску 5 мТор у зовнішньому магнітному полі близько 60 Гс. Типова концентрація плазми становила $(0,3 - 1,3) \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ в залежності від конфігурації магнітного поля. Складові електричних полів вимірювались ізольованими дипольними антенами відповідної орієнтації. Синфазний сигнал, який виникає в обох гілках диполя внаслідок коливань потенціалу плазми, усувався диференціальним трансформатором. Амплітуда ВЧ коливань потенціалу плазми вимірювалась ізольованим ємнісним зондом.

При ВЧ потужності 800 Вт виміряна амплітуда радіального E_r та вихрового азимутального E_θ полів становила 5–8 В/см. Амплітуда ВЧ електричного поля $E_z(z)$, паралельного до зовнішнього магнітного поля, становила близько 2 В/см. Встановлено, що просторовий розподіл ВЧ потенціалу формується в результаті інтерференції між хвильовим потенціалом та глобальними коливаннями потенціалу плазми з фіксованою фазою.

Таким чином, в представленій роботі розроблено методіку і проведено безпосередні вимірювання ВЧ електричних полів в геліконному розряді.

ХОЛЛІВСЬКА МГД ТЕОРІЯ СПЕКТРІВ ГВИНТОВИХ КОЛИВАНЬ ЦИЛІНДРИЧНОГО ПІНЧА

А. А. Гурін

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Показано, що в холлівській МГД теорії спектр-спектральна проблема для гвинтових коливань циліндричного пінча з довільними рівноважними розподілами магнітного поля й швидкостей обертання, $(0, B_\theta, B_\varphi)$ та $(0, V_\theta, V_\varphi)$, набуває вигляду диференційної крайової задачі 4-го порядку, на відміну від рівняння другого порядку в ординарній МГД теорії [1]. Вплив ефекту Холла, який завжди присутній в плазмі, створеній й підтримуваній струмом, визначається параметром Брагінського $\Pi = (\omega_{ci}/\omega_A)^2$, де ω_{ci} та ω_A – характерні іонна циклотронна та альфвенівська частоти. Показано, що при довільних значеннях $\Pi > 0$ електронні холлівські складові суттєво позначаються на структурі спектрів гвинтових коливань. Так, відомі з ординарної МГД теорії континууми сингулярних альфенівських й магнітозвукових коливань [2] в холлівській теорії взагалі відсутні. В ідеальній (бездисипативній) теорії сингулярність властива для стаціонарних зовнішніх (нерезонансних, $\mathbf{k}(\mathbf{r})\mathbf{V}(\mathbf{r}) \neq 0$ в перерізі пінча) мод з частотою $\omega = 0$, якій може відповідати вузькій континуум $\omega = \mathbf{k}(\mathbf{r})\mathbf{V}(\mathbf{r})$ при врахуванні обертання плазми. Внутрішні моди ($\mathbf{k}(\mathbf{r})\mathbf{V}(\mathbf{r}) = 0$ в перерізі пінча) сингулярні на резонансних поверхнях незалежно від значення частоти коливань. Ця сингулярність регулюється при врахуванні електронної в'язкості в рівнянні радіальної

рівноваги плазми для довільних ω . У даній роботі роль ефекту Холла досліджується на прикладі пінчів з сильним струмом й малим запасом стійкості ($q \ll 1$) – сучасних пінчів з оберненим полем (RFP). Для них характерні значення $\Pi \approx 40-50$, і, відповідно, холлівські складові, які мають вигляд $\omega/\Pi^{1/2}$, виявляються такого ж порядку, як і тороїдальні, а для характерних для RFP кінків з числами $m = 1$, $n \approx 10$, тороїдальність взагалі непомітна. Одержано методом “стрільби” спектри нестійких кінків для різних параметрів β і Π та різних моделей рівноваги RFP без обертання, а також структуру сингулярних резонансних мод з використанням певної моделі електронної в’язкості. Показано, що, навіть нехтуючи обертанням, холлівська теорія визначає, на відміну від ординарної МГД теорії, ненульове значення маргінальних коливачів. Таким чином, холлівська теорія дає можливість підходу до визначення структури й частот глобальних мод, альтернативного до тіррінг-теорії.

1. Hain K., Lust R. Z. // Naturforsch. – 1958. – Vol. 13a. – P. 936.
2. Goedbloed J.P. // Phys. Fluids. – 1975. – Vol. 18. – P. 1258.

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТЕЙ БЕЗІТКНЕННОГО НАГРІВАННЯ ЕЛЕКТРОНІВ У ПЛАЗМІ ДЖЕРЕЛ ІНДУКЦІЙНОГО ТА ГЕЛІКОННОГО ТИПІВ

А. І. Кобза¹, К. П. Шамрай²

¹ *Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

Безіткнений (стохастичний) нагрів електронів має місце в плазмі індукційних джерел, які працюють як у відсутності (звичайні джерела), так і в присутності (геліконні джерела) зовнішнього магнітного поля. В звичайних джерелах нагрів відбувається в неоднорідному скінуючому поперечному полі поблизу збуджуючої антени. В геліконних джерелах цей процес спричиняється полем геліконних хвиль, поздовжня компонента якого зростає поблизу провідних поверхонь, нормальних до силових ліній магнітного поля. Метою роботи було порівняння ефективностей стохастичного нагріву для джерел обох типів і аналіз плазмових нестійкостей, що мають виникати внаслідок нерівноважності функцій розподілу нагрітих електронів.

Розглядалась модель напівобмеженої плазми, в якій електрони з об’єму плазми налітають на приграничний шар неоднорідного поля, поперечного чи поздовжнього, взаємодіють з цим полем і відбиваються назад в плазму. Для обох випадків обчислено функції розподілу відбитих електронів і показано, що вони є суттєво нерівноважними, але характер нерівноважності істотно різний. Для поперечного поля розподіл монотонний, подібний до максвелівського, але має анізотропію температури, що призводитиме до

збудження нестійкості Вейбеля. При взаємодії з поздовжнім полем відбиті електрони мають швидку популяцію типу пучка, внаслідок чого має виникати пучкова нестійкість. Для обох випадків обчислено інкременти та хвильові числа нестійких коливань. Розраховано та порівняно вклади процесів стохастичного нагріву в поглинання ВЧ потужності та іонізацію газу в розрядах.

УДОСКОНАЛЕНІ РІВНЯННЯ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ КОЛИВАНЬ ТОРОЇДАЛЬНОЇ ПЛАЗМИ ТА ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ ЇХНЬОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Я. І. Колесниченко, Б. С. Лепявко, Ю. В. Яковенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Останніми роками у термоядерних дослідженнях посилився інтерес до нестійкостей з частотами порядку частоти геодезичної акустичної моди, ω_{GAM} . Для опису таких низькочастотних коливань зазвичай використовують рівняння ідеальної магнітної гідродинаміки (МГД). Проте у багатьох випадках частота ω_{GAM} є порядку діаманітних дрейфових частот електронів та іонів плазми, ω_{*e} та ω_{*i} . У цих випадках рівняння МГД є непридатними для використання. Тому у роботі [1] було застосовано кінетичну теорію. Втім, аналіз було проведено за допомогою балонного формалізму [2], через що отримані рівняння не описують низькочастотних мод. Крім того, автори роботи [1] виключили з розгляду коливання звукового типу. У роботі [3], використовуючи дворідинну гідродинаміку, виведено рівняння, вільні від вказаних обмежень та показано існування дрейфово-звукових та нового типу дрейфово-альфвенівських власних мод (ДЗМ та ДАМ мод). Проте ці рівняння є справедливими лише у плазмі з однорідною температурою та за умови $\omega_{\text{GAM}} > \omega_{*i,e}$. У роботі [4] її автори узагальнили рівняння роботи [3], відкинувши названі обмеження.

Ця робота є продовженням роботи [4]. У ній збурені величини представлені у вигляді суми Фур'є гармонік та отримано систему рівнянь для цих гармонік, зачеплених між собою гармоніками кривини силових ліній магнітного поля. У такій формі рівняння є зручними для практичного застосування, оскільки в експериментах спостерігаються збурення, в яких домінує обмежена кількість гармонік. Використовуючи отримані рівняння для ДЗМ- та ДАМ-мод, проведено аналіз рівнянь для ДЗМ- та ДАМ-континуумів. Зокрема, показано, що градієнт температури іонів може призвести до нестійкості з частотою $\omega \ll \omega_{*}$ ДЗМ-континуума, що відповідає ДЗМ нестійкості плазми – різновиду дрейфово-температурної нестійкості [відомої як Ion Temperature Gradient instability (ITG mode, або η -mode)].

Отримані рівняння були застосовані для дослідження континуумів, що відповідають збудженим нестійкостям у стелараторі HSX [5]. Результати моделювання корелюють з експериментальними даними, теоретичні роз-

рахунки передбачають можливість існування мод, що були спостережені експериментально.

1. L. Chen, F. Zonca, R. Santoro, Plasma Phys. Control. Fusion, 40, 1823 (1998).
2. J.W. Connor, R.J. Hastie, J.B. Taylor, Phys. Rev. Lett., 40, 396 (1978).
3. Ya. I. Kolesnichenko, V. V. Lutsenko, A. Weller, H. Thomsen, Yu. V. Yakovenko, J. Geiger, and A. Werner, Europhys. Lett. 85, 25004 (2009).
4. Я.І. Колесниченко, Б.С. Лепявко, Ю.В. Яковенко, Щорічник-2010 ІЯД, 98 (2011).
5. C.V. Deng et al., Phys. Rev. Lett., 103, 025003 (2009).

ФОКУСУВАННЯ ПУЧКІВ НЕГАТИВНО ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК ПЛАЗМОВОЮ ЛІНЗОЮ

І. Літовко¹, А. Гончаров², С. Дунец², А. Добровольський²

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Інститут фізики НАН України, Київ*

У роботі побудована теоретична та чисельна модель утворення динамічної хмари просторового заряду в плазмовій лінзі. Чисельний експеримент показав можливість створення стійкої хмари позитивного просторового заряду на вісі системи. Отримані в розрахунках значення електричного поля сягають 400 В/см, що дозволяє говорити про можливість керування за допомогою такої лінзи пучками негативних частинок.

Чисельний експеримент стосовно проходження пучків негативно заряджених частинок (електронів та іонів) скрізь плазмову лінзу з об'ємним зарядом показав, що для фокусування електронних пучків необхідно суттєво зменшити існуюче магнітне поле, так щоб магнітний фокус лежав даліше ніж електростатичний. Для іонних пучків це не суттєво, оскільки їх маса значно більше ніж електронів.

Чисельний експеримент також показав значну залежність від струмів пучків. Для малих струмів пучка (менш 500 мА для електронних пучків та менш 100 мА для пучків негативних іонів водню) плазмова лінза демонструє добрі фокусуєчі властивості, тоді як з підвищенням токів пучки починають розходитися. При цьому електронні пучки тягнуть за собою частину іонів з хмари, понижаючи потенціал хмари, а із збільшенням току і зовсім руйнуючи хмару. Позитивні іони, які продовжують надходити в систему, не в змозі відновити хмару і фокусуєчі властивості лінзи втрачаються.

Чисельний експеримент, проведений для пучків негативних іонів, показав, що фокусуєчі властивості втрачаються, коли густина іонів хмари зривнюється та становиться менша від густини в пучку негативних іонів. Для відновлення фокусуєчих властивостей необхідно підвищити густину струму та енергію позитивних іонів, які формують хмарину.

Результати чисельних розрахунків якісно збігаються з одержаними експериментальними даними.

ТРАНСПОРТ ШВИДКИХ ІОНІВ ПІД ЧАС КОЛАПСУ ПИЛЧАСТИХ КОЛИВАНЬ У ПЛАЗМІ, ЩО НАГРІВАЄТЬСЯ ПУЧКОМ НЕЙТРАЛЬНИХ АТОМІВ

**В. В. Луценко¹, Я. І. Колесниченко¹, Ю. В. Яковенко¹,
С. М. Мускатело², В. В. Гейдбрінк², М. А. Ван Зіланд³**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Відділення фізики та астрономії,*

Університет Каліфорнії-Ірвайн, Ірвайн, США

³ *Дженерал Атомікс, Сан Дієго, Каліфорнія, США*

У токамаках, на фазі колапсу нестійкості пилчастих коливань, виникає транспорт швидких іонів. Токамак DIII-D оснащено обладнанням для діагностики швидких іонів в центрі плазми, яке може зондувати різні частини фазового простору. У більшості випадків спостерігається, що енергійні пролітні іони перерозподіляються сильніше, ніж захоплені іони. Пролітні іони всіх енергій перерозподіляються, в той час, як лише захоплені іони з досить низькою енергією (≤ 40 кеВ) зазнають перерозподілу. Згадані транспортні процеси моделюються, використовуючи числовий код OFSEF [1]. Моделювання відтворює той факт, що енергійні пролітні іони найбільш перерозподіляються. Аналітичний розгляд дрейфу частинок свідчить, що різницю в транспорті пролітних та захоплених енергійних іонів можна пояснити різною величиною тороїдального дрейфу для різних сортів частинок.

Доповідь буде зроблено на основі роботи [2]. Будуть висвітлені такі питання:

- Теоретична база (пилчасті коливання, критична енергія та резонансні частинки, код OFSEF) [3], [4]
- Експериментальні спостереження на токамаці DIII-D
- Моделювання експериментів на DIII-D.

1. Ya.I. Kolesnichenko, V.V. Lutsenko, R.B. White, Yu.V. Yakovenko, and S.J. Zweben, Fusion Energy 1998, 17th Conf. Proc., Yokohama, 1998 (IAEA, Vienna, 1999), Report IAEA-CN-69/THP2/25.
2. C.M. Muscatello, W.W. Heidbrink, Ya.I. Kolesnichenko, V.V. Lutsenko, M.A. Van Zeeland, and Yu.V. Yakovenko, Plasma Phys. Control. Fusion **54** (2012) 025006.
3. Ya.I. Kolesnichenko, Yu.V. Yakovenko, Nucl. Fusion **36** (1996) 159.
4. Ya.I. Kolesnichenko, V.V. Lutsenko, R.B. White, and Yu.V. Yakovenko, Nucl. Fusion **40** (2000) 1325.

«ЧІРПІНГ» ЧАСТОТИ ПІД ЧАС СПАЛАХІВ МГД АКТИВНОСТІ ПЛАЗМИ

В. С. Марченко, С. Н. Резник

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Показано, що «чірпінг», тобто різке зменшення частоти під час спалахів МГД активності індукованої швидкими іонами, може спричинятися реактивним моментом сили, що накладається на плазму при спалаху нестійкості, гальмує обертання плазми в області локалізації моди i , таким чином, зменшує її частоту в лабораторній системі. Оцінки показують, що пікова величина цього моменту сили може перевищити момент сили нейтрального пучка в сучасних токамаках. Проста квазілінійна модель з розширенням резонансу, адаптована відповідно до дрейфових нестійкостей, здатна відтворювати ключові особливості спалахів.

РАДІАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ В ТУРБУЛЕНТНІЙ ПЛАЗМІ ПРИ ПАРАМЕТРИЧНОМУ ЗБУДЖЕННІ ІОННО-ЦИКЛОТРОННИХ І ДРЕЙФОВИХ КОЛИВАНЬ

В. М. Павленко, В. Г. Панченко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

На основі кінетичної теорії флуктуацій вивчено трансформацію ленгмюрівської хвилі у поперечну електромагнітну хвилю, завдяки розсіянню на флуктуаціях густини в замагніченій неоднорідній параметрично нестійкій плазмі [1]. Розглянуто випадок, коли нижньогібридна хвиля накачки розпадається на дочірню і дрейфову хвилі.

Обчислено коефіцієнт трансформації в запороговій області параметричної нестійкості. В якості механізму насичення даної нестійкості розглядається розсіяння заряджених частинок на турбулентних флуктуаціях електронної густини [2]. Чисельні оцінки знайденого коефіцієнта трансформації для типових параметрів гарячої плазми показують, що отримана величина значно перевищує відповідне значення для випадку спокійної плазми (у відсутності поля накачки).

Проведено також порівняльний аналіз процесів розсіяння і трансформації. Показано, що для типових параметрів гарячої плазми коефіцієнт трансформації перевищує коефіцієнт розсіяння на два порядки.

Отримані результати є важливими для дослідження випромінювання електромагнітної енергії із плазми.

1. V.N. Pavlenko, V.G. Panchenko, Phys. Scripta, **84**, 025502 (2011).
2. H. Wilhelmsson, V.N. Pavlenko, V.G. Panchenko, Phys. Scripta, **43**, 323 (1991).

ВПЛИВ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ПЛАЗМИ ІМПУЛЬСНИХ РОЗРЯДІВ У РІДИНАХ НА ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ

П. В. Порицький, П. Д. Старчик

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У реальних умовах в плазму імпульсних розрядів у воді (ІРВ) неодмінно потрапляють домішки матеріалу електродів та провідників, які застосовуються для ініціювання розрядів із-за високих ізоляційних властивостей води. Атоми металів можуть суттєво впливати на властивості плазми таких розрядів і викликати зміни у розподілі струму та енерговиділення у розрядних каналах.

Експериментально надходження домішок матеріалів електродів досліджено шляхом спостереження за динамікою змін розподілів спектрів випромінювання вздовж і поперек розрядних каналів. Повна непрозорість плазмових каналів ІРВ на початкових стадіях розрядів не дозволила детально прослідкувати за процесом надходження металу у плазму в цей час, але спостереження при цьому реабсорбованих ліній Cu у випромінюванні ІРВ дозволяє зробити однозначний висновок про інтенсивне надходження матеріалу мідних електродів у канал і наявність його не тільки у внутрішніх, а і у зовнішніх областях каналів. Звертає на себе увагу те, що через певний час матеріал електродів розповсюджується до найбільше віддаленої від електродів центральної частини каналів навіть при максимально досліджених розмірах розрядних проміжків. Спостереження за розвитком розрядів у більш пізні періоди, коли плазма стає прозорою, дозволяє з'ясувати механізм прискореного надходження матеріалу електродів у плазму. В випадку розглянутих в цій роботі розрядів (коливальний розряд накопичувальної ємності на водяний проміжок при напрузі $2 \div 40 \text{ kV}$ і струмах $10 \div 200 \text{ kA}$) спостерігались факельного типу викиди випареної з електродів речовини вздовж осі розрядних каналів.

Викладені вище результати характерні при використанні для ініціювання розрядів «тонких» провідників діаметром до 20 мкм . Тільки в цьому випадку до надходження у зону спостереження пари матеріалу електродів найбільш яскравими лініями у спектрі плазми є лінії водню. При збільшенні діаметра провідників до 70 мкм у спектрі випромінювання в області лінії H_β домінуючими стають лінії матеріалу провідника.

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ГЕЛІКОННОЇ ПЛАЗМИ ТЕРМОЗОНДОМ З НЧ МОДУЛЯЦІЄЮ СТРУМУ ЕМІСІЇ

Л. І. Романюк, В. М. Слободян, В. Ф. Вірко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Визначенням методом вимірювання потенціалу простору в плазмі є емісійний розжарений зонд, способи застосування якого постійно вдосконалю-

ються. Основу метода становить властивість припинення струму електронної емісії з розжареної робочої поверхні зонда до плазми при зрівнюванні (та перевищенні) поданої на зонд напруги з потенціалом плазми в даному місці. Таким чином, саме у фіксуванні факту припинення струму емісії та якомога точнішому встановленні відповідної величини напруги на зонді й полягає процедура визначення потенціалу простору.

Запропонований метод передбачає використання для живлення розжарення зонда змінної напруги з частотою достатньо низькою, щоб забезпечити відчутну модуляцію електронної емісії з робочої поверхні зонда подвоєною частотою. Така модуляція являє собою своєрідну позначку на породженій емісією складовій загального зондового струму. Виділивши змінну частину цієї складової за допомогою вузькосмугового селективного приладу, можна зафіксувати як факт, так і момент зникнення цього сигналу, а також відповідне значення прикладеної до зонда напруги.

Запропонована методика застосована в плазмі геліконного джерела з планарною антеною. Радіально рухомий зонд вводився до патрубку у нижньому перерізі системи. Його робоча частина являла собою петлю з вольфрамового дроту діаметром 34 мкм та загальною довжиною до 1 см. Зонд через роздільний трансформатор живився від НЧ генератора напругою з частотою 18 Гц. Постійна напруга зміщення, що регулюється, подавалася на зонд через симетризуючий подільник. Напруга, пропорційна зондовому струму, подавалася до селективного мікровольтметра, настроєного на частоту 36 Гц, який виділяв, вимірював та підсилював корисний сигнал. Підсилений сигнал випрямлявся та подавався на Y вхід двокоординатного самописця, на X вхід якого подавалася напруга зміщення зонда.

Типові умови експерименту: тиск – 3 мТор Ar, ВЧ потужність – 1 кВт, магнітне поле до 250 Гс, густина плазми – до 10^{12} см⁻³, температура електронів – (2 - 4) еВ. За допомогою розробленої методики виміряні радіальні розподіли потенціалу простору в плазмі джерела для декількох розрядних режимів, зокрема, в умовах присутності в плазмі інтенсивних НЧ коливань. Встановлено, що за всіх досліджених режимів для радіального розподілу потенціалу характерний максимум на осі. Радіальне електричне поле складає (1 ÷ 2) В/см і спрямоване від осі до периферії. Потенціал простору значно перевищує потенціал плаваючого зонда, радіальний профіль якого, навпроти, має глибокий мінімум на осі. Останнє свідчить про наявність у плазмі джерела високоенергетичної електронної компоненти.

Переваги представленого в роботі методу визначення потенціалу плазми становлять його простота, можливість визначення потенціалу простору за один цикл вимірювань, однозначність результату. Вирішальною перевагою є можливість функціонування зонда за найнижчих температур розжарення, які здатні забезпечити бодай скільки-небудь відчутний рівень емісії. Це значно подовжує термін використання зонда, особливо в густій плазмі. Факторами, які обмежують точність методу, є величина падіння напруги розжарювання на зонді та рівень НЧ шумів у плазмі.

ЗБУДЖЕННЯ “ГЕОМЕТРИЧНИХ” ВЕРХНЬОГІБРИДНИХ КОЛИВАНЬ НА СТАДІЇ ФОРМУВАННЯ ПОТЕНЦІАЛЬНИХ ВЧ ГРАНИЧНИХ ШАРІВ У ЗАМАГНІЧЕНІЙ ПЛАЗМІ

**Т. С. Руденко¹, К. П. Шамрай¹, Т. Матсуока²,
І. Фунакі², Ш. Шінохара³**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Агентство аерокосмічних досліджень Японії, Канагава, Японія*

³ *Токійський університет сільського господарства і технологій, Токіо, Японія*

Проблема ефективності вводу потенціального ВЧ поля в плазму постає в багатьох фундаментальних і прикладних дослідженнях в силу того, що таке поле може істотним чином екрануватись неквазінейтральними шарами, які виникають на границі плазми з утримуючими її поверхнями внаслідок істотної різниці рухомостей електронів та іонів. Властивості шарів розглядалися в багатьох роботах, але в них розгляд обмежувався стаціонарною картиною, а вплив перехідних процесів, які відбуваються при утворенні шарів, не брався до уваги.

У роботі теоретично досліджено початкову стадію формування неквазінейтральних граничних шарів в обмеженій замагніченій плазмі, яка збуджується потенціальним ВЧ полем. Розгляд проведено на основі простої 1-вимірної “матричної” моделі. Показано, що окрім коливань на частоті збудження також виникають коливання на частоті так званого “геометричного” верхньогібридного резонансу, притаманного обмеженим плазмовим системам. У присутності дисипації (зіткнень) ці коливання загасають з часом, тобто є перехідними. Вони спричиняють істотну зміну структури шарів, зокрема, призводять до утворення чисто іонних прошарків біля поверхонь ВЧ електродів. У той же час збудження цих коливань слабо впливає на величину поля, що проникає в об’єм плазми. Встановлено, що результати розрахунків на основі матричної моделі добре узгоджуються з даними обчислень з використанням РІС коду.

ГЕОМЕТРИЧНІ ЕФЕКТИ ПРИ РОЗВИТКУ ІНТЕНСИВНОЇ НИЗЬКОЧАСТОТНОЇ НЕСТІЙКОСТІ В ПЛАЗМІ ГЕЛІКОННОГО ДЖЕРЕЛА З ПЛАНАРНОЮ АНТЕНОЮ

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Геліконні джерела з планарною антеною ефективно генерують густу низькотемпературну плазму і є перспективними для технологій обробки матеріалів, вирощування наноструктур, розробки космічних рушіїв та інших практичних застосувань. В залежності від призначення, вони функціонують за різних розрядних умов, мають різні геометричні розміри та форму

елементів конструкції джерела. Низькочастотні (НЧ) нестійкості дрейфового типу, які властиві для таких джерел за певних умов, суттєвим чином впливають на характеристики геліконної плазми, зокрема, на функціонування відповідних технологічних пристроїв.

Інтенсивна низькочастотна нестійкість раніше була виявлена та досліджена для базового варіанта конструкції експериментального пристрою (довжина розрядної камери 31,5 см, збуджувальна антена одновиткова \varnothing 17,5 см) В даній роботі вивчається вплив розмірів збуджувальної антени та довжини розрядної камери джерела на розвиток та характеристики цієї нестійкості. В поточних експериментах довжина розрядної камери зменшувалася до 29 см та 25,5 см. Поряд з базовим варіантом антени використовувалися двовиткова антена з діаметром 11,5 см та чотиривиткова з діаметром 6.5 см. Робочий газ – Ar; тиск від 1 до 5 мТор.

Встановлено, що за базової довжини розрядної камери та застосуванні антен меншого розміру в межах магнітних полів до 250 Гс подібна НЧ нестійкість не розвивається, не дивлячись на те, що при $B > (150 \div 200)$ Гс реалізується такий самий режим з провалом радіального профілю густини плазми на осі, як і з антеною базової конфігурації.

При зменшенні довжини розрядної камери до 29 см із застосуванням антени базової конфігурації діаметром 17,5 см зберігаються основні характеристики інтенсивних НЧ коливань та рівень критичних магнітних полів для їх збудження.

При зменшенні довжини розрядної камери до 25,5 см картина хвильової активності радикально змінюється. В разі застосування антени базової конфігурації діаметром 17 см майже одразу після переходу до режиму з порожнистим профілем густини плазми ($B > 120$ Гс) збуджуються дещо менш інтенсивні коливання з частотою $15 \div 20$ кГц. При підвищенні магнітного поля збуджуються інтенсивні коливання з частотою вдвічі меншою, $5 \div 10$ кГц, які можна ототожнити з досліджуваними раніше. При цьому коливання з більш високою частотою продовжують існувати. З подальшим підвищенням магнітного поля відбувається зміна співвідношення між частотами цих коливань від 1:2 до 1:3. При цьому частота інтенсивних коливань знижується до 7 кГц, частота більш високочастотних коливань підвищується до 21 кГц.

Нарешті, при застосуванні в пристрої з камерою довжиною 25,5 см антени з діаметром 11,5 см при перевищенні магнітним полем значення $B \approx 240$ Гс в плазмі збуджуються інтенсивні коливання з частотою 7 кГц, які можна ототожнити з досліджуваними раніше. Тобто, із скороченням довжини розрядної системи розкачка інтенсивної НЧ нестійкості стає можливою при застосуванні антен меншого діаметра.

Отримані результати можуть бути використані при конструюванні та обранні режимів роботи джерел плазми досліджуваного типу з метою уникнення розвитку значних збурень плазми при її технологічному застосуванні.

ПЛАЗМОВЕ РЕФОРМУВАННЯ ВУГЛЕВОДНІВ У ПЛАЗМОВО-РІДИННІЙ СИСТЕМІ ЗІ ЗВОРОТНО-ВИХРОВИМ ПОТОКОМ ТИПУ ТОРНАДО З РІДКИМ ЕЛЕКТРОДОМ ІЗ ДОДАВАННЯМ CO₂

Ол. В. Соломенко, О. А. Недибалиук, В. Я. Черняк

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ

Технології з використанням сингазу на сьогоднішній день є дуже актуальними. Синтез-газ (сингаз) це суміш H₂ та CO. Сингаз є важливою сировиною для синтезу різних матеріалів і синтетичних палив, таких, як: аміак, метанол, оцтова кислота, метиловий форміат, диметиловий ефір, синтетичний бензин, дизельне паливо, наноструктури і т.д. Також відомо, що при додаванні сингазу до палива поліпшується ефективність його горіння: менший час підпалу, швидке поширення хвилі горіння, стабілізація горіння, більш повне згорання суміші і зменшується кількість небезпечних викидів (NO_x).

На сьогоднішній день найбільш перспективним є отримання сингазу з відновлюваних вуглеводневих джерел. Особливий інтерес при реформуванні рідких вуглеводнів представляють плазмоворідинні системи, які не вимагають додаткової газифікації. До таких систем відноситься розряд зі зворотно вихровим потоком типу торнадо з рідким електродом (ТОРНАДО-РЕ) [1]. Відомо, що для синтезу або каталізу різних продуктів потрібно різне співвідношення H₂/CO в сингазі (сінгазне співвідношення). Саме тому важливим завданням, крім створення самого сингазу є вміння контролювати співвідношенням H₂ до CO у вихідній суміші. Стандартним підходом для зміни і керування сінгазним співвідношенням при реформуванні є додавання CO₂ у реформуєчу систему [2].

У даній роботі досліджувалось плазмове реформування дистилляту, етанолу та їх сумішей різної концентрації в плазмово-рідинній системі зі зворотно вихровим потоком типу торнадо з рідким електродом (досліджувана полярність – “твердий” катод) із додаванням різної кількості вуглекислого газу до робочого газу при реформуванні. Досліджені емісійні спектри плазми між розрядного проміжку, вольт амперні характеристики та результати газової хроматографії вихідного газу при реформуванні вуглеводнів у вказаній системі. Визначені температури заселення електронних T_e^{*} колівальних T_v^{*} та обертальних T_r^{*} рівнів компонент плазми. Виміряна температура електронів T_e [3,4]. Визначено вплив наявності CO₂ у реформуєчій системі на продукти вихідного газу.

1. Nedybaliuk, O.A. Plasma-liquid system with reverse vortex flow of “tornado” type (Tornado-LE) / O.A. Nedybaliuk, V.Ya. Chernyak, S.V. Olszewski //Problems of atomic science and technology, № 6. Series: Plasma Physics (16), p. 135-137. (2010).

2. Xumei, Tao CH₄-CO₂ reforming by plasma – challenges and opportunities / Xumei Tao, Meigui Bai, Xiang Li, Huali Long, Shuyong Shang, Yongxiang Yin, Xiaoyan Dai // *Progress in Energy and Combustion Science*. (2010).
3. Prysiazhnevych I.V., Chernyak V.Ya., Olszewski S.V., Yukhymenko V.V. // *Chem. Listy* 102, s1403–s1407 (2008)
4. Laux, C.O. Optical diagnostics of atmospheric pressure air plasma SPEC-AIR / C.O. Laux, T.G. Spence, C.H. Kruger, and R.N.Zare // *Plasma Source Sci. Technol.* – 2003. - Vol. 12, No. 2. - P. 125-138.

ЗАСТОСУВАННЯ УЗАГАЛЬНЕНИХ ФУНКЦІЙ ДО ВИЗНАЧЕННЯ СИМЕТРІЇ І ТОЧНИХ РОЗВ'ЯЗКІВ РІВНЯНЬ КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ПЛАЗМИ

В. Б. Таранов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Кінетичні моделі теорії плазми базуються на інтегро-диференціальних системах рівнянь Власова - Максвелла, для яких загальні методи визначення симетрії відсутні. Однак у граничному випадку холодної плазми функції розподілу частинок плазми містять у собі дельта функції, а густина і середня швидкість частинок визначається скінченною системою рівнянь у частинних похідних. Симетрії можуть бути знайдені навіть у просторово тривимірному випадку за допомогою стандартних програм пакету Maple 15.

З фізичної точки зору холодна плазма є наближенням для випадків, коли фазова швидкість хвиль значно перевищує теплову. З точки зору математики відповідні розв'язки є підмножиною точних розв'язків, більш симетричною порівняно із загальним випадком. Зазвичай це дозволяє, знаючи симетрії холодної плазми, відтворити перетворення симетрії загальної кінетичної моделі.

Виявилось, що у просторово тривимірному випадку групи симетрії кінетичних моделей нерелятивістської плазми складаються з евклідової групи, трансляції часу і перетворень подібності [1]. Точними розв'язками, пов'язаними з такими симетріями, є спіральні хвилі і сферично симетричні структури з можливим обертанням навколо певної осі – вони залежать від меншої кількості незалежних змінних і можуть бути одержані аналітично або принаймні наближеними чисельними методами [2].

Застосування розв'язків у вигляді скінченних сум дельта функціональних доданків виявилось продуктивним також у кінетичній теорії досить густого солі тонного газу. Власні значення оберненої задачі розсіяння, які відповідають окремим солітонам і були сталими у розрідженому газі, у більш густому розширюються у часі і просторі. Для функції розподілу солітонів у вигляді такої суми побудована система рівнянь [3], розв'язання якої є менш складним порівняно з повною інтегро-диференціальною системою.

1. Taranov V.B., 7th Int. Conf. ‘Electronics and Applied Phys.’, Kyiv, October 19-22, 2011, P. 188-189.
2. Таранов В.Б., Укр. конф. з фізики плазми та керованого термоядерного синтезу, Київ, 25-26 жовтня 2011 р., С. 54.
3. El G.A., Pavlov M.V., Taranov V.B., arXiv:1105.4859v1 [nlin.SI], 24 May 2011. http://xxx.lanl.gov/PS_cache/arxiv/pdf/1105/1105.4859v1.pdf

СИНЕРГІЗМ АЛЬФВЕНОВИХ НЕСТІЙКОСТЕЙ ЧЕРЕЗ КОМПТОНОВЕ РОЗСІЯННЯ НА ШВИДКИХ ІОНАХ

Ю. В. Яковенко¹, Я. І. Колесниченко¹, М. Г. Тищенко¹, Р. Б. Вайт²

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Принстонська лабораторія фізики плазми, Принстон, США*

Комптонове розсіяння відіграє важливу роль у формуванні спектрів альфвенових хвиль в астрофізичних плазмових системах. У токамаках комптонове розсіяння ГАЕ-мод на електронах може підсилювати загасання цих мод [1]. У цій роботі демонструється, що наслідки комптонового розсіяння таких мод на швидких іонах є протилежними: розсіяння може підсилювати збудження мод швидкими іонами та викликати їх вибухову нестійкість.

Комптонове розсіяння відбувається завдяки резонансній взаємодії між частинками та биттями пари хвиль. Залежно від вигляду цього резонансу, така взаємодія веде або до трансформації одної хвилі в іншу, або до одночасного випромінювання / поглинання обох хвиль. Отриманий у роботі вираз для комптонівського внеску в інкременти пари альфвенових мод показує, що нелінійна взаємодія має тенденцію підсилювати нестійкість, якщо ці моди є лінійно нестійкими. Аналіз модельної системи рівнянь, яка описує еволюцію амплітуд мод, показує, що комптонове розсіяння веде до їх синергічного розвитку. А саме, щойно амплітуда одної з них перевищує певний поріг, друга мода починає зростати надекспоненційно. Коли ж амплітуди обох мод стають порівнянними, відбувається їх вибухова нестійкість (тобто, зростання амплітуд до нескінченності за скінченний час). При цьому вибух має тенденцію залучати додаткові нестійкі моди в процесі розвитку.

Так звані “альфвенівські лавини” [2], які спостерігаються в сферичному торі NSTX – це сильні спалахи альфвенових нестійкостей, які включають моди з різними хвильовими номерами і призводять до сильних спадів нейтронної емісії та навіть втрат швидких іонів. Попередні оцінки показують, що комптонове розсіяння здатне пояснити розвиток лавини за час ~ 100 мкс при реалістичних амплітудах мод.

Робота частково підтримувалася проектом № 4588 Українського науково-технологічного центру (УНТЦ).

1. T.S. Nahm and L. Chen, Phys. Rev. Lett. 74 (1995) 266.
2. E.D. Fredrickson et al., Nucl. Fusion 46 (2006) S926.

АКТИВОВАНИЙ ПЛАЗМОЮ СИНТЕЗ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ З НЕПЕРЕРВНИМ ЇХНІМ ВИНОСОМ З ОБЛАСТІ УТВОРЕННЯ

Ю. П. Веремій, В. Я. Черняк, К. В. Юхименко, О. А. Недибалюк

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

З огляду на вимоги промислових систем синтезу вуглецевих наноматеріалів (ВНМ), актуальною є задача забезпечення неперервного процесу генерації наноматеріалів. Раніше, в експериментах групи, було неспростовно доведено, що температура підкладки для утворення ВНМ має визначальний вплив на об'єм та морфологію кінцевого продукту. Але досі синтез ВНМ проводився на металевих поверхнях або частинках з каталітичними властивостями, що значно ускладнює процес очистки вихідного продукту. А отже потрібно забезпечити постійний синтез та винесення утвореного матеріалу з реакційного об'єму на хімічно пасивних частинках з контрольованою температурою поверхні.

Для експериментальних досліджень генерації вуглецевих наночастинок з неперервним виносом матеріалу була використана плазмово-рідинна система з розрядом в зворотно вихровому потоці типу “торнадо”.

В якості модельного вуглеводню використовувався 96% етиловий спирт. Для формування зворотно вихрового потоку використовувався інертний газ аргон.

Виявлено можливість неперервного транспорту вуглецевих наноматеріалів із зони їх синтезу хімічно пасивними твердофазними мікропиловими частинками.

ЗБУДЖЕННЯ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ АЗИМУТАЛЬНИХ ПОВЕРХНЕВИХ ХВИЛЬ КІЛЬЦЕВИМИ ПУЧКАМИ ЕЛЕКТРОНІВ У ПЛАЗМОВИХ ХВИЛЕВОДАХ

І. О. Гірка, Я. І. Моргаль

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

На теперішній час розробляється та досліджується велика кількість різних за призначенням та принципом дії плазмових генераторів з високим коефіцієнтом корисної дії, а також пристроїв для генерації надвисокочастотного (НВЧ) випромінювання, детально аналізуються їхні характеристики. Вони відіграють важливу роль у дослідженнях з керованого термоядерного синтезу, у прискорювачах заряджених частинок та плазмовій електроніці.

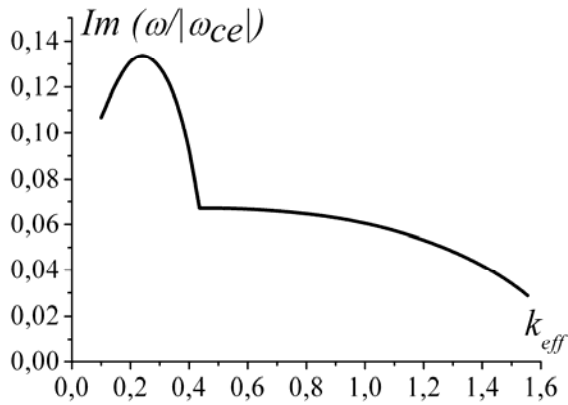


Рис. 1. Інкременти АПХ з азимутальним хвильовим числом $m=-3$, нормовані на $|\omega_{ce}|$, як функція ефективного хвильового числа $k_{eff}=|m|c/(a\omega_{pe})$. Густина пучка в 800 разів менша за густину плазми, $\omega_{pe}=8|\omega_{ce}|$

Електромагнітні азимутальні поверхневі хвилі (АПХ) незвичайної поляризації можуть поширюватись [1] у циліндричних хвилеводах із металевими стінками, які частково заповнені холодною густою ($\omega_{pe}>|\omega_{ce}|$) плазмою, поперек сталого аксіального магнітного поля у двох частотних діапазонах, зокрема, низькочастотному (НЧ) – поблизу електронної циклотронної частоти ω_{ce} . Тут ω_{pe} – ленгмюрівська частота. Нами детально досліджено [2] збудження НЧ АПХ кільцевим релятивістським пучком електронів, які обертаються навколо стовпа плазми в невеликому зазорі. Пучок електронів описано моделлю потоку осциляторів [3]. Чисельно проаналізовані залежності інкременту пучкової нестійкості від параметрів хвилеводу: густини плазми і пучка, величини зовнішнього сталого аксіального магнітного поля, радіуса плазмового циліндра a і ширини вакуумного зазору, величини і знака азимутального хвильового числа m . Збудження поверхневих хвиль відбувається ефективніше порівняно з об'ємними, бо в цьому випадку не слід витрачати енергію на створення структури поля в усьому об'ємі. Використання кільцевих пучків є ефективнішим порівняно з поздовжніми, для яких ккд обмежений довжиною пристрою. У кільцевих пучках частинки, обертаючись по ларморових орбітах у зазорі, що відділяє стінку камери від плазмового стовпа, передають свою енергію електромагнітній хвилі доти, доки внаслідок гальмування не досягають поверхні плазми.

Показано, що по мірі збільшення густини пучка відбувається перехід від режиму збудження внаслідок резонансної взаємодії хвилі з окремими циклотронними гармоніками до режиму перекриття резонансів. Концентрацію пучка, за якої відбувається перехід від одного режиму збудження до іншого, визначено як критичну. Проаналізовано залежність критичної концентрації пучка від параметрів системи [4].

1. Гирка В.А., Гирка И.А., Кондратенко А.Н., Ткаченко В.И., Радиотехника и электроника, 33, 1031 (1988)
2. Girka V.O., Girka I.O., Morgal Ya.I., Pavlenko I. V., Physica Scripta, 84, 025505 (2011)
3. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Основы электродинамики плазмы, М.: Высшая школа, 424 с. (1988)
4. Гірка І.О., Моргаль Я.І., Науковий вісник Ужгородського університету, Серія Фізика, випуск 30.

ВЛАСТИВОСТІ ПЛАЗМОВО-РІДИННОЇ СИСТЕМИ ЗІ ЗВОРОТНО-ВИХРОВИМ ПОТОКОМ ГАЗУ ТИПУ “ТОРНАДО”

О. А. Недибалюк, В. Я. Черняк

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

На сьогоднішній день в плазмохімії існують три основні проблеми пов'язані із селективністю плазмово-хімічних перетворень речовин, енергоефективністю плазмово-хімічних технологій та витратами матеріалу металевих електродів.

Проблема селективності полягає в тому, що під час плазмово-хімічних перетворень речовин протікає велика кількість хімічних реакцій, але необхідно, щоб протікали саме ті реакції, які відповідають за утворення очікуваного продукту. Дана проблема частково вирішується за допомогою використання нерівноважної плазми. За рівнем нерівноважності, під яким в цій роботі розуміють відношення температури електронів до температури важкої компоненти низькотемпературної плазми, яку поділяють на два типи: плазма з температурою газової компоненти порядку кімнатної температури (діелектричний бар'єрний розряд, мікророзряди) та так звану “теплу” плазму.

Проблема енергоефективності плазмохімічних технологій пов'язана з тим, що для генерації плазми необхідна найдорожча енергія – електрична. Тому, необхідно вбудовувати плазмові системи в традиційні хімічні технології. Плазму потрібно ефективно інjektувати в реакційну камеру. При цьому, необхідно, за допомогою плазми керувати хімічними процесами, використовуючи її лише як каталізатор.

Проблема витрат матеріалів електродів полягає в тому, що відбувається забруднення як плазми так і навколишнього середовища, а також у зменшенні ресурсу роботи плазмових систем.

Тому було розроблено та досліджено плазмово-рідинну систему зі зворотно-вихровим потоком газу типу “торнадо” з рідким електродом (“ТОРНАДО-РЕ”). Виміряно вольт-амперні характеристики даного розряду і виявлено діапазони струмів та потоків газу, при яких матеріал металевго електроду в “ТОРНАДО-РЕ” не вноситься в розрядний проміжок.

Показано, що плазма розряду в зворотно-вихровому потоці типу “торнадо” з рідким електродом відноситься до нерівноважної “теплої” плазми.

Виявлено, що вихід газу з рідини, утвореного при електролізі, значно полегшується на контактї рідина – плазма, що свідчить про суттєвий вплив плазми на поверхневий натяг рідини.

Вперше показано, що для реагуючих нейтральних компонент (O, H) температура заселення збуджених електронних рівнів суттєво відрізняється при значній різниці концентрацій цих компонент. Менша електронна температура тієї компоненти, концентрація якої є меншою.

ЕФЕКТИВНЕ ФОКУСУВАННЯ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЬ В ІМПУЛЬСНИХ ПЛАЗМОВО-РІДИННИХ СИСТЕМАХ

**С. М. Сидорук¹, В. Я. Черняк¹, О. А. Федорович²,
С. В. Ольшевський¹, В. В. Юхименко¹, І. Л. Бабіч¹**

¹ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

Використання в плазмово-рідинних системах імпульсної генерації плазми для технологічних потреб призводить до появи супутніх факторів: потужного ультрафіолетового випромінювання та акустичних ударних хвиль. Використання цих явищ для плазмохімічних застосувань вважається перспективним. Найбільша ефективність використання звукових хвиль в імпульсних плазмово-рідинних системах передбачає фокусування в конкретну область, проте існуючі системи, з реалізацією такого підходу, використовують периферійну багатоджерельну систему електричних розрядів з подальшим адитивним фокусуванням за допомогою сферичних або параболічних відбивачів, що тягне за собою, на думку авторів, суттєві недоліки.

Створена імпульсна плазмово-рідинна система ідеальної циліндричної геометрії з аксіальним одиничним розрядом вважається позбавленою вище згаданих недоліків.

Досліджено можливість ефективного фокусування збіжної акустичної хвилі, що утворена аксіальним одиничним розрядом, після її відбиття від ідеальної твердої поверхні плазмохімічного реактору циліндричної геометрії.

ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МІКРОРОЗРЯДІВ У ПОВІТРІ

**Ок. В. Соломенко, В. Я. Черняк, В. В. Лендел,
І. В. Присяжневич, В. А. Зражевський**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Сьогодні велику увагу приділяють вивченню плазми мікророзрядів. Мікроплазма ефективно використовується як інтенсивне джерело ультрафіолету та вакуумного ультрафіолету, для активації поверхонь, нанесення плівок, у різноманітних плазмових технологіях для вирішення задач екології, біології та медицини.

У даній роботі приведені результати дослідження мікророзрядів з одним та двома порожнистими електродами. Досліджені емісійні спектри плазми та вольт-амперні характеристики мікророзрядів при різних тисках.

Показано, що в діапазоні тисків повітря 7,5 - 75 тор диференційний опір даних розрядів має позитивну, перехідну та негативну області. Основною компонентою емісійного спектру дослідженої плазми є 2^+ -система N_2 (C^3P_u - V^3P_g). За допомогою програми SPECAIR [1] була доповнена відома методика (метод калібрувальних кривих) по визначенню температури заселення обертальних станів [2] молекули N_2 для низьких температур.

1. SPECAIR. is available on the website: <http://www.specair-radiation.net>; C. O. Laux, T. G. Spence, C. H. Kruger, and R. N. Zare, Optical diagnostics of atmospheric pressure air plasma, Plasma Sources Sci. Technol., vol. 12, no. 2, pp. 125 - 138, 2003.
2. Методика визначення температур заселення коливальних та обертальних рівнів молекул в плазмі газових розрядів атмосферного тиску; І. В. Присяжневич, В. Я. Черняк, С. В. Ольшевський, Ок. В. Соломенко, Український фізичний журнал, Т. 55, №10, С. 1096 - 1104, 2010.

ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕДІНКИ РОЗРЯДУ В АЕРОЗОЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

**В. В. Юхименко¹, В. Я. Черняк¹, С. М. Сидорук¹,
С. М. Буханець¹, О. А. Федорович²**

¹ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

Одним із сучасних напрямів науки є дослідження блискавки, а саме - кулястої, яка є рідкісним і не до кінця поясненим явищем. Куляста блискавка – явище, яке супроводжує електричний розряд у вологому повітрі. Для фізика-експериментатора куляста блискавка – це, перш за все, гідратована плазма.

Гідратована плазма утворюється тоді, коли в водяну пару чи в вологе повітря потрапляє популяція позитивних і негативних іонів. При зближенні гідратованих іонів різного знаку утворюються кластери з великим дипольним моментом. Через кластеризацію плазми процес рекомбінації іонів різко уповільнюється – акумульована енергія поступово перетворюється в світлове випромінювання.

Багато експериментаторів неодноразово робили спроби створення довго існуючого кульового плазмоїда в лабораторних умовах. Однак ніяких реальних способів підживлення енергією ізольованих згустків плазми для підтримання їх в стаціонарному стані протягом декількох хвилин (а саме стільки часу живе куляста блискавка в природних умовах) знайти так і не вдалося.

Метою нашої роботи було дослідження параметрів розряду в повітряно-крапельному середовищі. Тому, що таке середовище є сприятливим для утворення плазмоїдів. Попередні наші дослідження показали утворення, в такому середовищі, плазмового утворення з досить великим часом життя. Внаслідок проведених досліджень встановлено, що при протіканні імпульсного розряду в повітряно-крапельному середовищі розвивається об'ємний процес, який супроводжується випромінюванням з іншим спектральним складом, ніж випромінювання розряду. Характерний час тривалості зазначеного процесу значно перевищує характерний час тривалості розряду. Умови протікання процесу потребують обов'язкової наявності розпиленої рідини в області його існування.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ РОЗПАДУ ГУСТОЇ ПЛАЗМИ ІМПУЛЬСНИХ РОЗРЯДІВ У ВОДІ І ПОРІВНЯННЯ З РОЗРАХОВАНИМИ ПО ІСНУЮЧИХ ТЕОРЕТИЧНИХ МОДЕЛЯХ

О. А. Федорович, Л. М. Войтенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСПАДА ПЛОТНОЙ ПЛАЗМЫ ИМПУЛЬСНЫХ РАЗРЯДОВ В ВОДЕ И СОПОСТАВЛЕНИЕ С РАССЧИТАННЫМИ ПО СУЩЕСТВУЮЩИМ ТЕОРЕТИЧЕСКИМ МОДЕЛЯМ

О. А. Федорович, Л. М. Войтенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

В последние годы возрос интерес к процессам рекомбинации неидеальной плазмы. Экспериментально можно получить только коэффициенты распада плазмы, потому что при импульсных разрядах в воде (ИРВ) в плазменном канале возникают давления $10^2 - 10^4$ бар и температуры $5 - 45 \cdot 10^3$ К. При этом происходит интенсивная ионизация и ее необходимо учитывать при расчетах коэффициентов рекомбинации.

Согласно принципу детального равновесия коэффициент распада определяется по формуле $\frac{dN_e}{dt \cdot N_e^2} = \frac{N_a}{N_e} b - \alpha \cdot N_i$. По формуле $K = \frac{dN_e}{dt \cdot N_e^2}$ можно

определить экспериментально коэффициент распада, где N_e – концентрация электронов, b – коэффициент ионизации, N_i – концентрация ионов, α – коэффициент рекомбинации. Рассчитав ход концентрации электронов во времени получают K , при условии, что нет дополнительного вклада энергии в плазменный канал, а концентрация электронов уменьшается со временем. Получена экспериментальная зависимость K от степени не идеальности плазмы при $\Gamma = 0,2 - 4,5$. Сначала значения K резко уменьшаются при увеличении Γ от 0,1 до 0,3 на три порядка, потом начинают увеличиваться почти на порядок, проходят максимум и при увеличении Γ от 2 до 4,5 наблюдается медленное уменьшение коэффициента распада на порядок. Качественно эти результаты совпадают с теоретически рассчитанными результатами по работам Ланкина - Нормана. Но количественно есть расхождения. При $\Gamma < 1$ экспериментальные значения K на 2 порядка ниже, чем теоретические, а при $\Gamma = 4$ они совпадают. Дальнейшее увеличение Γ приводит к тому, что теоретические значения скорости рекомбинации становятся меньшими, чем экспериментальные.

Расчетные значения коэффициентов рекомбинации по формулам, приведенным в работе Романовского на несколько порядков выше эксперимен-

тальных значений. Но расчетные значения идут параллельно экспериментальным.

Сравнение с расчетными значениями по работе Зеленера с соавторами показывает, что неплохо описываются экспериментальные результаты по распаду НП при значениях $\Gamma \geq 0,5$. Следует заметить, что в этой работе были сделаны расчеты для ультрахолодной плазмы. При малых значениях Γ наблюдается большее расхождение, чем по расчетам по теории Ланкина - Нормана. По мнению авторов такое сильное расхождение связано с тем, что в теоретических расчетах не учитываются эффекты «нереализации» уровней атомов в сильных микрополях НП, и, соответственно, нет уровней на которые возможна рекомбинация электронов.

ВПЛИВ РОЗРЯДНОГО СТРУМУ ТА ВЕЛИЧИНИ ГАЗОВОГО ПОТОКУ НА РІВЕНЬ НЕРІВНОВАЖНОСТІ ПЛАЗМИ ДУГОВОГО РОЗРЯДУ В ПОПЕРЕЧНОМУ ПОТОЦІ ПОВІТРЯ

І. В. Присяжневич, В. Я. Черняк, В. В. Юхименко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Методами оптичної емісійної спектроскопії досліджено параметри плазми електродугового розряду в поперечному потоці повітря (поперечної дуги ПД) для різних струмів розряду $I_d = 10^2 \div 10^3$ мА та потоків повітря $G = 0 \div 220$ см³/с. Спектри випромінювання плазми ПД реєструвалися в діапазоні 200 ÷ 1100 нм за допомогою спектрометру, на базі CCD елементів, з роздільною здатністю порядку 0.7 нм.

Температури заселення електронних збуджених рівнів атомів у плазмі ПД визначали за інтенсивністю ліній міді (матеріал електродів), кисню та водню методом діаграм Больцмана. Коливальну T_v^* та обертальну T_r^* температури заселення енергетичних рівнів молекул визначали за смугами 2⁺ системи азоту за допомогою калібрувальних кривих як функцій відповідних температур, побудованих з врахуванням апаратної функції використаного спектрометру.

Показано, що виміряні температури заселення у плазмі ПД знаходяться у співвідношенні $T_e^* > T_v^* > T_r^*$. При цьому розподіли температур заселення вздовж газового потоку показали, що в зоні післясвітіння температура T_e^* дещо знижується, в той же час T_v^* ще довго залишається незмінною. Крім того, було виявлено відмінність між значеннями температур заселення електронних рівнів атомів міді T_e^* (Cu) та компонентів обдуваючого газу T_e^* (O, H), яка може бути пояснена додатковим механізмом заселення електронних рівнів атомів міді за рахунок електронно-іонної рекомбінації, який практично відсутній для атомів обдуваючого газу.

Досліджено розподіли температур заселення збуджених рівнів молекул у плазмі ПД в залежності від величини газового потоку G . Виявлено

немонотонний характер поведінки T_r^* , який може бути пов'язаний зі зміною характеру газового потоку, а саме переходом від ламінарного до турбулентного режиму витікання газу з ростом G при фіксованому струмі розряду. Фотографії ПД добре ілюструють цей перехід.

Аналіз залежностей температур заселення у плазмі ПД від струму розряду I_d для різних потоків повітря показав, що для дуги без обдуву, починаючи з $I_d \sim 500$ мА, спостерігається зближення коливальної та обертальної температури, і плазма стає більш ізотермічною. При великих G спостерігається схожа поведінка температур. В той же час при малих потоках відрив зберігається і майже не залежить від величини струму розряду. Таким чином, існують оптимальні режими обдуву дуги, при яких неізотермічність генерованої плазми зберігається в дослідженому діапазоні струмів.

ФУНДАМЕНТАЛЬНА ФІЗИКА ПЛАЗМИ У ТЕРМОЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Я. І. Колесниченко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Метою цієї доповіді є привернути увагу до того факту, що термоядерні дослідження є могутнім стимулом для розвитку фундаментальної фізики плазми. У ній представлено огляд розвитку та сучасного стану термоядерних досліджень з магнітним утриманням плазми. У другій половині доповіді йдеться про деякі досягнення з розвитку фундаментальної фізики плазми у відділі теорії ядерного синтезу ІЯД у контексті світової науки в останні роки.

Тези доповідей з радіоекології та радіобіології

ГЕНЕТИЧНІ ЕФЕКТИ У ДРІБНИХ ГРИЗУНІВ ІЗ РАДІАЦІЙНОЗАБРУДНЕНИХ БІОТОПІВ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС

О. О. Бурдо, А. І. Липська, Т. В. Мельник, В. І. Ніколаєв

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

У доповіді будуть представлені результати комплексних радіоекологічних та цитогенетичних досліджень. Дослідження виконані на чотирьох ділянках Чорнобильської зони відчуження з різним рівнем радіаційного забруднення (“Янів”, “Чистогалівка”, “Ізумрудне”, “Казкове”). Об’єктом дослідження були популяції нориць.

Визначено рівні радіоактивного забруднення на експериментальних полігонах. Потужність експозиційної дози γ -випромінювання на досліджуваних полігонах була: “Янів” 1400 - 550 мкР/год, “Чистогалівка” 620 - 310 мкР/год, “Ізумрудне” 71 - 69 мкР/год, “Казкове” 20 - 22 мкР/год). В пробах ґрунту виявлено присутність наступних радіонуклідів: ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , ^{154}Eu , $^{238-240}\text{Pu}$, ^{40}K . Найбільший вклад у загальну радіоактивність випадінь вносять ^{137}Cs і ^{90}Sr , інші радіонукліди знаходяться в слідових кількостях.

Експериментально оцінені рівні накопичення, питому активність радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr в тілі мишоподібних гризунів. Середньгеометричні значення питомої активності інкорпорованих радіонуклідів у тварин з різних полігонів були : “Янів” (^{137}Cs – 1800 Бк/г; ^{90}Sr -104 Бк/г), “Чистогалівка” (^{137}Cs – 486 Бк/г; ^{90}Sr – 34,273 Бк/г), “Ізумрудне” (^{137}Cs – 8,72 Бк/г; ^{90}Sr – 9,43 Бк/г), “Казкове” (^{137}Cs – 0,87 Бк/г; ^{90}Sr – 0,156 Бк/г).

Досліджено радіаційно-генетичні ефекти в популяціях нориць. Проведено порівняльний аналіз частоти та розподілу мікроядер у клітинах кісткового мозку тварин. Виявлено статистично достовірні відмінності по середньгруповій частоті мікроядер, а також ступеня навантаженості клітин мікроядрами в залежності від рівня забрудненості території.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОКЛІНІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ РФП НАТРІЮ ЙОДИД І-131 ВИРОБНИЦТВА ІЯД

**Л. К. Бездробна, В. А. Агєєв, І. П. Дрозд, Ю. О. Носач,
В. І. Федорченко, О. О. Бурдо, Т. В. Мельник, Т. В. Циганок,
Л. В. Тарасенко, О. А. Сова**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Препарат натрію йодид (І-131) застосовують у клінічній практиці для лікування і діагностики захворювань щитоподібної залози з 60-х років мину-

лого сторіччя. У відділеннях ядерної медицини України використовують препарати натрію йодиду (I-131) виробництва Польщі й Узбекистану.

У лабораторії радіонуклідів і радіофармпрепаратів ІЯД В. А. Агеєвим розроблена технологія серійного виробництва розчину натрію йодиду (I-131) для перорального застосування. Ступінь чистоти препарату (хімічна, радіохімічна, радіонуклідна) відповідає вимогам Європейської фармакопеї. За вимогами Державного експертного центру МОЗ для отримання дозволу на клінічні випробування препарату нами проведено його попередні порівняльні дослідження з референтним препаратом на лабораторних щурах з метою підтвердження їх еквівалентності. Показано, що функціональна придатність власного препарату, тобто швидкість і кількість накопичення в органі-мішені – щитоподібній залозі, а також фармакокінетика в інших життєво важливих органах – розподілення, накопичення і виведення з них і з організму в цілому, такі ж самі як і у референтного препарату, а відповідно, і дози опромінення щитоподібної залози і критичних органів. Максимальну активність йоду-131 в органі-мішені (близько 50 % від введеної тварині активності) спостерігали через добу. У доповіді будуть представлені періоди біологічного і ефективного напіввиведення РФП із досліджених органів і розраховані на них дози радіаційного навантаження.

РОЛЬ ГІДРОБІОНТІВ У ПРОЦЕСАХ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ^{137}Cs ПО КОМПОНЕНТАХ МІЛКОВОДНИХ ДІЛЯНОК ВЕРХНЬОЇ ЧАСТИНИ КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

**О. М. Волкова, В. В. Беляєв, С. В. Пришляк,
О. О. Пархоменко, Т. Черненко**

Інститут гідробіології НАН України, Київ

В останні роки в Київському водосховищі прискорились сукцесійні процеси, пов'язані, зокрема, зі зміною рослинного покриву. Тому вивчення особливостей формування радіонуклідного забруднення компонентів мілководних ділянок та ролі гідробіонтів в таких процесах є одним з важливих напрямків досліджень наслідків Чорнобильської катастрофи.

В якості полігону було обрано мілководну ділянку Київського водосховища на якій систематичні радіоекологічні дослідження проводяться з 1987 р. Вибір ділянки у верхній частині обумовлений тим, що саме там зосереджені зарості вищих водних рослин. На цій ділянці відбуваються характерні для водосховища процеси зменшення площі заростей зануреної рослинності, яка в більшості є концентратором першого порядку для радіонуклідів цезію, та збільшення площ повітряно-водних рослин. Донні відклади та асоціації гідробіонтів цієї ділянки, зокрема рослинності, типові для мілководних ділянок верхньої частини Київського водосховища.

Визначено питому активність та запаси ^{137}Cs у водних масах, донних відкладах та домінуючих за зустрічальністю та масою гідробіонтів (вищих

водних рослинах, молюсках та рибах). Загальні запаси радіонукліда у компонентах дослідженого біотопу становили 8 260 кБк. З них більш ніж 99,5 % зосереджено у донних відкладах. Запаси радіонукліда у водних масах становили 17 кБк (0,2 %), з них у розчинному вигляді близько 66 %. У вищих водних рослинах зосереджено 15 кБк ^{137}Cs , з них 75 % знаходилося у повітряно-водних рослинах. Запаси радіонукліда у молюсках та рибах, які мешкають на цій ділянці, настільки незначні, що у балансних розрахунках ними можна знехтувати.

Встановлено, що з 1987 р. до 2011 р. вміст ^{137}Cs у компонентах біотопу зменшився: у донних відкладах у 2,5 рази, у водних масах не менш, ніж в 11 разів, у фітомасі вищих водних рослин у 30 разів. Слід зазначити, що зменшення вмісту радіонукліда у донних відкладах на 70 % обумовлено радіоактивним розпадом.

Розрахунки показують, що водні рослини відіграють важливу роль у процесах міграції радіонукліда з водних мас до донних відкладів та сприяють захороненню ^{137}Cs у глибоких шарах. Запаси ^{137}Cs у річній продукції вищих водних рослин складають 16 % від активності водних мас, що надійшли до біотопу упродовж вегетаційного сезону. З цієї кількості щорічно 22 % надходить у глибокі шари донних відкладів за рахунок відмирання кореневої системи повітряно-водних рослин, ще 50 % осідає на дно внаслідок відмирання надземної фітомаси водних рослин. Під час розкладу відмерлої рослинності близько лише 30 % зосередженого в опаді ^{137}Cs може повернутися до водних мас.

ПЕРЕКИСНІ ПРОЦЕСИ У КРОВІ ТА ККМ ЩУРІВ ЗА РАЗОВОГО ВВЕДЕННЯ ^{131}I

Ю. П. Гриневич, А. І. Липська, С. В. Телецька, В. В. Посполіта

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Прооксидантно-антиоксидантне співвідношення в органах і тканинах організму-лабільний інтегральний показник, що відображає рівень інтенсивності вільнорадикальних процесів (ВРП) та ефективність його регуляції ферментними та неферментними антиоксидантними системами. Його порушення внаслідок утворення вільних радикалів за радіолізу води та дії інших ксенобіотиків є одним із провідних механізмів формування радіаційних структурно-функціональних ушкоджень.

Динаміку ВРП за умов внутрішньо-очеревенного введення ^{131}I (117 кБк/тварину) досліджували за допомогою методу індукованої хемілюмінесценції (ХЛ-метод), що дозволяє фіксувати кінетичні параметри ХЛ-реакції. Антиоксидантну ланку цього процесу вивчали за активністю каталази-ключового ферменту антиоксидантного захисту.

Співставлено в динаміці експерименту на одних і тих же тваринах зміни окисного метаболізму в периферичній крові і ККМ.

Виявлена тенденція до хвилеподібної динаміки ВРП в крові з максимумом на 6 - 8 доби експерименту.

Аналіз динаміки радіогенних змін ВРП в периферичній крові і ККМ свідчить про однотипну зміну показників ХЛ як у гемолізатах, так і ККМ.

Виявлена також тенденція до хвилеподібної зміни каталазної активності крові щурів за разового внутрішньо-очеревенного введення ^{131}I (117кБк/тварину) з активацією на 1-шу добу, і зниженням на 6-8 доби експерименту.

Отримані дані змін ВРП у гемолізатах крові та ККМ щурів дозволяють припустити, що введена доза ^{131}I суттєво не впливає на перебіг ВРП і зміни прооксидантно-антиоксидантної рівноваги окисного гомеостазу.

Робота виконувалась на базі лабораторії радіоїсної та доклінічного випробування радіофармацевтичних препаратів.

КІНЕТИКА ^{131}I В ОРГАНІЗМІ ЩУРІВ ЗА ОДНОРАЗОВОГО НАДХОДЖЕННЯ

І. П. Дрозд, А. І. Липська, В. А. Шитюк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Йод є біогенним мікроелементом, життєво необхідною складовою організму ссавців. Виконує свою біологічну функцію як складова частина тиреоїдних гормонів – тироксину та трийодтироніну. Радіоактивні ізотопи йоду, зокрема ^{131}I , широко використовують у медицині для радіодіагностики та радіотерапії. При цьому, оскільки йод є тиреотропним елементом, для коректного розрахунку поглинених доз необхідно знати особливості його кінетики (накопичення та виведення) в щитоподібній залозі (ЩЗ) за надходження до організму різних кількостей ізотопу.

Для експериментального вивчення кінетики ^{131}I в організмі лабораторних щурів проведено 4 серії дослідів. Щурам-самцям лінії Вістар, початковою масою 200 ± 15 г перорально через зонд одноразово вводили розчин у дистильованій воді натрію йодиду активністю відповідно 3,3; 19; 57 та 114,8 кБк на тварину. Крім цього, на окремій групі тварин досліджували особливості кінетики ізотопу при блокуванні ЩЗ стабільним йодом.

Було виявлено, що виведення ^{131}I із ЩЗ задовільно апроксимується однією експонентою, а із всього тіла – двома експонентами. Для тварин кожної серії дослідів визначено ефективні періоди напіввиведення ^{131}I із усього тіла, ЩЗ та інших органів і тканин.

Для розрахунку поглинених доз у ЩЗ використовували двокамерну модель йодного метаболізму. Інтегруючи активність під кривими, що описують процеси накопичення та виведення ізотопу із органів за час його практично повного розпаду (80 діб), отримували сумарну кількість розпадів в одиниці маси. Поглинену дозу розраховували за виразом

$$D = k \cdot g \cdot E_{\text{ef}} \cdot N_t [\text{Гр}],$$

де $k = 1,6 \cdot 10^{-13}$ Дж/МеВ; g - геометричний фактор для β -випромінення ^{131}I , який враховує частку від повної дози, поглинену в органі; E_{ef} – ефективна енергія, що передається органу в кожному акті розпаду ізотопу, МеВ/розпад; N_t – загальна кількість розпадів ізотопу в 1 кг речовини органу за час t .

Встановлено, що зі зростанням дози опромінення ЩЗ від 0,84 до 33,2 Гр ефективний період напіввиведення ^{131}I із ЩЗ збільшується за лінійно-квадратичною функцією від $2,20 \pm 0,07$ до $4,60 \pm 0,14$ діб, що може бути обумовлено пригніченням функції ЩЗ зі зростанням ступеня її радіаційного ушкодження.

Доведено, що ЩЗ ефективно блокується елементарним стабільним йодом. При блокуванні максимум накопичення ізотопу спостерігали на другу добу після введення тоді як без блокування – на першу. Виявлено, що при блокуванні ЩЗ ефективний період напіввиведення зріс до 5,64 діб, порівняно з 2,86 діб без блокування. Очевидно, це можна пояснити ефектом ізотопного розведення, зважаючи, що виведення йоду із ЩЗ відбувається лише шляхом секреції тиреотропного гормону.

ТРАНЗИТИВНИЙ ХАРАКТЕР РАДІОАДАПТИВНОЇ ВІДПОВІДІ

С. О. Євдокимова, О. М. Міхєєв, Л. Г. Овсяннікова

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ

Біологічну адаптацію можна поділити на епігенетичну і генетичну. Чим вища здатність організму змінювати свої структурно-функціональні параметри у відповідності до змін навколишнього середовища, тим ширша норма реакції даного організму та краща здатність до епігенетичної адаптації. Зокрема, ця властивість відрізняє стійкі сорти сільськогосподарських культур.

Визначали дозову залежність дії гамма-опромінення на насіння льону довгунця *Linum usitatissimum L., f. elongata* (врожай 2009 р.) за ростовими характеристиками проростків, отриманих з опроміненого насіння. Для цього його опромінювали на кобальтовій гамма-установці «Рокус» у дозах від 1 до 10 Гр при потужності 1,42 сГр/с. Опромінене насіння пророщували на вологому фільтрувальному папері в спеціальній вологій камері в термостаті при 22°C. Ростову активність проростків визначали за допомогою індексу росту (ІР), який розраховували як відношення поточної середньої довжини коренів проростків до їх вихідної середньої довжини (на момент опромінення). Ростові показники визначали кожну добу.

Результати оцінки впливів певних доз є узагальненими даними близько десяти ідентичних за схемою та умовами проведення експериментів. Визначивши ростові показники 24-годинних проростків льону, дійшли висновку, що доза гострого опромінення 5 Гр дає найбільший і найстабільніший гормезисний (позитивно стимулюючий) ефект, та використовували її як потенційно адаптуючу.

Отримані результати вказують про тимчасовий (транзитивний) характер гормезисної дії опромінення тобто такий, який спостерігається лише в певному часовому інтервалі. Якщо враховувати той факт, що на первинному (фізико-хімічному) рівні гамма-опромінення діє абсолютно деструктивно, зокрема іонізуючи атоми та молекули, то стимуляцію ростової активності ми повинні розглядати як компенсаторний, а точніше гіперкомпенсаторний процес, який завдяки роботі систем гомеостатичної регуляції призводить до повернення значень ростових параметрів до відповідних значень контрольних рослин. Саме це є причиною транзитивності гормезисного ефекту. Звісно, його можна спостерігати лише в певному дозовому діапазоні і при певних значеннях потужності модифікуючого впливу. Ймовірно, при більш ранньому спостереженні за ростовою активністю коренів можна було б спостерігати її інгібування. Основні гормезисні «події» відбуваються за даних умов проведення експериментів протягом 24 год.

При дослідженні неспецифічної (перехресної) радіоадаптації, були отримані дані з яких видно, що резистентність коренів проростків льону отриманих з попередньо опроміненого насіння зростає на 10 %. Динаміка адаптивної відповіді подібна до динаміки гормезисної дії опромінення – ростові параметри адаптованих варіантів поступово зближаються з відповідними параметрами неадаптованих.

Можлива причина транзитивності радіоадаптивного ефекту – застосування сублетальних тестуючих доз дозволяє як модифікованим, так і немодифікованим рослинам відновлювати свої фізіологічні параметри до однакового рівня, що і є, фактично, проявом транзитивності.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФРАГМЕНТІВ ПАЛИВНИХ ЧАСТИНОК, ВІДБРАНИХ ВСЕРЕДИНІ ОБ'ЄКТА УКРИТТЯ

В. А. Желтоножський, М. В. Желтоножська, Н. В. Кулич

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАГМЕНТОВ ТОПЛИВНЫХ ЧАСТИЦ, ОТОБРАННЫХ ВНУТРИ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

В. А. Желтоножский, М. В. Желтоножская, Н. В. Кулич

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Для исследований были отобраны топливные частицы из объекта «Укрытие» (ОУ) в 2011 г. Частицы отбирались в местах, где протекали основные потоки лавы. Топливные частицы имели активность по ^{137}Cs от 10^3 до 10^8 Бк/г. Масса частиц составляла от десяти до сотен мкг.

Основные измерения проводились на Ge-спектрометрах. Были проведены L_x , K_x и γ -спектроскопические исследования отобранных фрагментов топливосодержащих материалов. Измерены изотопные отношения для ^{90}Sr ,

^{137}Cs , $^{154,155}\text{Eu}$, изотопов Pu , $^{241,243}\text{Am}$ и ^{243}Cm . Для измерения ^{90}Sr нами разработана методика регистрации активности по K_x -излучению Y , обусловленного ионизацией атомов при β^- -распаде ^{90}Sr . Так как вероятность такой ионизации очень мала [3], то такую методику можно успешно реализовать при изучении фрагментов топливосодержащих материалов с высоким содержанием ^{90}Sr . Именно такие материалы характерны для ОУ. Для реализации этой методики были выполнены исследования выхода $K_x \text{ Y}$ для калибровочных источников с ^{90}Sr и было получено: $P(K_x \text{ Y}) = (5,4 \pm 0,4) \cdot 10^{-4}$ на распад, где P – вероятность ионизации.

Анализ характеристического излучения в изученных топливных частицах показывает, что доминирующим элементом в этих частицах является цирконий, т. е. эти топливные частицы представляют собой фрагменты чернобылита – ураносодержащего силиката циркония техногенного происхождения ($\text{Zr}_{0,99-0,90}\text{U}_{0,01-0,10}\text{SiO}_4$). Изученные частицы можно условно разделить на две группы – с относительным содержанием урана, различающимся на порядок. Обнаружено расхождение теоретических оценок по наработке для всех радионуклидов выше ^{241}Am . Наблюдается систематическое расхождение значений отношения активности ^{90}Sr к ^{137}Cs по сравнению с 1986 г.

^{137}Cs У КОМПОНЕНТАХ КАНІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ТА ВОДОЙМИ-ОХОЛОДЖУВАЧА ЧАЕС НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ (2010 - 2011 РР.)

**О. Л. Зарубін¹, В. А. Костюк¹, Н. Є. Зарубіна¹, І. А. Малюк¹,
Є. Н. Волкова², В. В. Беляєв², В. В. Канівець³, О. О. Заліський⁴**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Інститут гідробіології НАН України, Київ*

³ *Український науково-дослідний*

гідрометеорологічний інститут НАН України, Київ

⁴ *Державне спеціалізоване науково-виробниче підприємство “Чорнобильський радіоекологічний центр” МНС України, м. Чорнобиль, Україна*

^{137}Cs В КОМПОНЕНТАХ КАНЕВСЬКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЧАЭС НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ (2010 - 2011 ГГ.)

**О. Л. Зарубин¹, В. А. Костюк¹, Н. Е. Зарубина¹, И. А. Малюк¹,
Е. Н. Волкова², В. В. Беляєв², В. В. Канивец³, А. А. Залицкий⁴**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Інститут гідробіології НАН України, Київ*

³ *Український науково-дослідний*

гідрометеорологічний інститут НАН України, Київ

⁴ *ГСНПП «Екоцентр», г. Чорнобиль*

В апреле 2011 г. в районе залива «Собачье гирло» в траве обнаружен ^{131}I , очевидно, японского происхождения.

В период 2006 - 2011 гг. сохраняется сложившееся распределение удельной активности ^{137}Cs по различным экологическим группам рыб исследуемых водоемов.

Единственным исключением является красноперка Каневского водохранилища, у которой удельная активность ^{137}Cs в исследуемый период возросла в 2 - 3 раза.

У ихтиофагов исследуемых водоемов наблюдается снижение удельной активности ^{137}Cs , более ярко выраженное на акватории водоема-охладителя ЧАЭС.

У бентофагов не наблюдается существенного снижения удельной активности ^{137}Cs .

Представляется очевидным попадание в пищу бентофагов водоема-охладителя ЧАЭС «горячих» частиц».

Коэффициенты накопления ^{137}Cs рыбами водоема-охладителя ЧАЭС значительно выше по сравнению с рыбами Каневского водохранилища, что, вероятно, обусловлено различными физико-химическими характеристиками данных водоемов.

У всех видов рыб Каневского водохранилища удельное содержание ^{137}Cs значительно ниже, а у рыб водоема-охладителя ЧАЭС значительно выше действующих норм (ДР-2006).

ПАРАМЕТРИ НАКОПИЧЕННЯ ^{137}Cs СУДАКОМ (*LUCIOPERCA LUCIOPERCA* (L.))

О. Л. Зарубін¹, В. А. Костюк¹, О. О. Заліський²

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Державне спеціалізоване науково-виробниче підприємство
“Чорнобильський радіоекологічний центр” МНС України, Чорнобиль*

ПАРАМЕТРЫ НАКОПЛЕНИЯ ^{137}Cs СУДАКОМ (*LUCIOPERCA LUCIOPERCA* (L.))

О. Л. Зарубин¹, В. А. Костюк¹, А. А. Залисский²

¹ *Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев*

² *Государственное специализированное научно-производственное предприятие
“Чернобыльский радиоэкологический центр” МЧС Украины, Чернобыль*

Судак – один из самых ценных промысловых пресноводных видов рыб Украины, что обуславливает особый интерес к изучению радиоэкологии этого вида.

Динамика содержания ^{137}Cs у судака Каневского водохранилища и водоема-охладителя ЧАЭС имеет отличительные особенности. Более быстрое снижение содержания ^{137}Cs у судака водоема-охладителя ЧАЭС, по-видимому, связано с относительно низким хроническим поступлением ра-

дионуклидов и воздействием искусственного температурного фактора, который может влиять на скорость накопления и выведения радионуклидов у рыб.

Динамика коэффициентов накопления ^{137}Cs судаком Каневского водохранилища и водоема-охладителя ЧАЭС несколько различается между собой, что, очевидно, обусловлено отличиями гидрологического и температурного режимов данных водоемов.

У судака обнаружена зависимость между удельным содержанием ^{137}Cs и массой особи. С увеличением массы (возраста) особи удельное содержание ^{137}Cs значительно увеличивается.

Содержание ^{137}Cs у судака Каневского водохранилища значительно ниже, а у судака водоема-охладителя ЧАЭС значительно выше действующих в настоящее время в Украине норм (ДУ–2006), которые определяют максимально допустимое содержание ^{137}Cs в рыбе до 150 Бк/кг сырой массы.

Высокое, по сравнению с большинством других видов рыб, содержание ^{137}Cs у судака позволяет использовать этот вид в качестве объекта-индикатора радионуклидного загрязнения.

ВПЛИВ ПОГОДНИХ УМОВ НА НАКОПИЧЕННЯ ^{137}Cs ВИЩИМИ ГРИБАМИ

Н. Є. Зарубіна

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs ВЫСШИМИ ГРИБАМИ

Н. Е. Зарубина

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Проведены исследования влияния погодных условий (количество осадков, температура окружающей среды) на величину содержания ^{137}Cs в плодовых телах грибов разных видов на территории Чернобыльской зоны отчуждения и «южного следа».

Расчитывались коэффициенты корреляции между количеством осадков (мм) и удельной активностью радиоцезия, температурой окружающей среды ($^{\circ}\text{C}$) и удельной активностью радиоцезия в грибах.

При расчетах было учтено природное уменьшение содержания цезия в окружающей среде за счет периода полураспада данного радиоизотопа.

В результате исследований не было установлено зависимости содержания ^{137}Cs в плодовых телах грибов различных видов и погодными условиями на территории Чернобыльской зоны отчуждения и «южного следа».

РАДИОНУКЛИДНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ІХТІОФАУНИ ВОДОЙМ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

О. Є. Каглян¹, Д. І. Гудков¹, В. Г. Кленус¹,
З. О. Широка¹, О. Б. Назаров²

¹ Інститут гідробіології НАН України, Київ

² Державне спеціалізоване науково-виробниче підприємство “Чорнобильський радіоекологічний центр” МНС України, Чорнобиль

РАДИОНУКЛИДНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ИХТИОФАУНЫ ВОДОЕМОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ

А. Е. Каглян¹, Д. И. Гудков¹, В. Г. Кленус¹,
З. О. Широкая¹, А. Б. Назаров²

¹ Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

² Государственное специализированное научно-производственное предприятие “Чернобыльский радиоэкологический центр” МЧС Украины, Чернобыль

В докладе будут представлены данные о радионуклидном загрязнении разных видов рыб таких водоемов Чернобыльской зоны отчуждения (ЧЗО), как оз. Глубокое, оз. Вершина, оз. Далекое, Красненская старица р. Припять, оз. Азбучин, Яновский Затон, Водоём-охладитель ЧАЭС и р. Припять. Дана динамика удельной активности ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в некоторых представителях ихтиофауны на примере рыбы оз. Глубокое с 2006 по 2011 гг., а также распределение этих радионуклидов по органам и тканям рыбы. Проанализированы более 2500 проб разного возраста, которые относятся к различным экологическим группам. Будет показана доминирующая роль ⁹⁰Sr на современном этапе в радионуклидном загрязнении водоемов ЧЗО.

ОЦІНКА РАДІАЦІЙНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИДНІПРОВСЬКОГО ХІМІЧНОГО ЗАВОДУ

В. О. Кашпаров, В. К. Кириченко

УкрНДІСГР НУБіП України, Київ

Хвостосховища Придніпровського хімічного заводу, де накопичено близько $3,14 \cdot 10^{15}$ Бк активності становлять потенційну небезпеку через можливість вітрового переносу радіоактивних аерозолів, забруднення важкими природними радіонуклідами (ВРН) сільськогосподарських угідь, продукції сільського господарства та вод р. Коноплянка.

Було оцінено вплив хвостосховищ на додаткове забруднення сільськогосподарських угідь, сільськогосподарської продукції і формування доз опромінення населення внаслідок споживання забрудненої продукції сільського господарства. Проводилися консервативні оцінки, які спиралися на

надані МАГАТЕ коефіцієнти переходу радіонуклідів з ґрунту до сільськогосподарських рослин. За результатами досліджень зразків ґрунтів та сільськогосподарських рослин, відібраних у безпосередній близькості до хвостосховищ, виявилось, що реальний вміст радіонуклідів в рослинній продукції сільського господарства нижчий за консервативні оцінки. Таким чином, на основі зроблених оцінок, можна зробити висновок, що вплив хвостосховищ ПХЗ не має за його межами якого-небудь значимого впливу на збільшення природного вмісту ВПРН в орному шарі розташованих поблизу ґрунтів сільськогосподарського призначення (менше 0.01 % за рік), та, як наслідок, і на кореневе забруднення сільськогосподарських рослин і продукції тваринництва. Також, було підраховано, що забруднення ВПРН їстівних частин сільськогосподарських культур спричинені аеральним переносом радіоактивних аерозолів з хвостосховищ є значно нижчими від фонового рівня, тобто таким забрудненням можна практично знехтувати. При використанні вод р. Коноплянка для зрошення при існуючих рівнях вмісту ВПРН не буде спостерігатися значимого збільшення радіоактивного забруднення продукції рослинництва за рахунок її зрошення цими водами в порівнянні з існуючим фоновим кореневим забрудненням.

Консервативні оцінки доз опромінення населення внаслідок забруднення ВПРН сільгоспродуктів в межах впливу хвостосховищ будуть більш ніж на порядок величини нижче встановлених НРБУ-97 для підприємств по переробці уранових руд дозових квот на опромінення населення – 0,12 мЗв/рік. При цьому вони обумовлені природними фоновими рівнями, а не впливом безпосередньо хвостосховищ.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що хвостосховища ПХЗ не мають якого-небудь значимого впливу на додаткове забруднення прилеглих сільськогосподарських угідь, сільськогосподарської продукції і формування доз опромінення населення внаслідок забруднення сільгоспродуктів. З ціллю покращення радіаційно-гігієнічної ситуації було б доцільним створення буферних зон шириною не менше 200 м. між джерелами техногенної дії на ґрунт на території хвостосховищ ПХЗ і розташуванням прилеглих сільськогосподарських угідь.

**ОЦІНКА ДОЗ НАСЕЛЕННЯ ЗОН ВПЛИВУ ПІДПРИЄМСТВ
ЯДЕРНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЦИКЛУ
ВІД ІНКОРПОРОВАНОГО ³H.
МОЖЛИВІ ПІДХОДИ В УМОВАХ НЕПОВНОТИ ІНФОРМАЦІЇ**

О. П. Кравець

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ

Розроблено математичну модель оцінки доз населення зон впливу підприємств ядерного енергетичного циклу (ПЯЕЦ). В роботі, вперше за практику оцінки впливу на довкілля ПЯЕЦ, було звернуто увагу на один з най-

важливіших шляхів надходження радіонуклідів штатних викидів АЕС – трофічний шлях. Запропоновано новий метод реконструкції доз від тритію, що надходить у трофічні ланцюги з штатних викидів АЕС.

Антропогенний тритій (Т, ^3H) утворюється і надходить в навколишнє середовище при виробництві ядерної енергії. Близько 99 % кількості природного тритію перетворюється на тритієву воду - H^3HO . Поведінка H^3 в ґрунті описується закономірностями поведінки води і залежить від взаємодії різних процесів її перенесення. Дослідження, присвячені поведінки тритію, в біологічних об'єктах свідчать про його тисячократне накопичення в живих організмах і харчових ланцюжках, що призводить до цілої низки негативних ефектів, пов'язаних з індукцією нестабільності геному. Незважаючи на численні ґрунтовні дослідження, на сьогодні дані про закономірності нагромадження тритію у сільськогосподарській продукції та швидкість його надходження з раціоном до організму людини відсутні. У зв'язку з цим при оцінках забруднення тритієм сільськогосподарської продукції було використано той факт, що надходячи у навколишнє середовище цей радіонуклід вступає в реакцію окислення та переходить у одну з двох форм важкої води. Зважаючи на це, при прогнозуванні забруднення тритієм сільськогосподарської продукції виникає можливість використовувати дані про водний баланс рослин різних видів і сортів та врахувати екологічні особливості агроценозів.

Було застосовано оригінальний підхід до оцінки надходження тритію у трофічні ланцюжки в умовах недостатньої радіоекологічної інформації, оснований на врахуванні особливостей водного режиму окремих сільськогосподарських рослин. Розроблено розрахункову схему формування дозових навантажень за рахунок ^3H , що надходить до організму трофічним шляхом, з врахуванням кліматичних особливостей зон впливу підприємств ядерного енергетичного циклу, та проведено серію необхідних розрахунків.

КЛІТИННІ ЕФЕКТИ ПРИ КОМБІНОВАНИЙ ДІЇ СОЛЕЙ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ТА ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЕННЯ

Г. Й. Лавренчук, Д. Д. Гапеєнко, Г. М. Чоботько

ДУ “Науковий центр радіаційної медицини НАМН України”, Київ

Сучасна екологічна ситуація характеризується поєднаним впливом токсикантів фізичної та хімічної природи. За умов радіаційних аварій окрім безпосередньої дії радіаційного фактора можливий вплив присутніх одночасно з ним сполук важких металів. Важливими є дослідження закономірностей впливу випромінювання в умовах сумісної дії його з важкими металами на клітинному рівні. Саме тут формується основа порушень, які пізніше проявляються у вигляді різноманітних патологічних порушень на рівні організму.

Експериментальне дослідження впливу іонів важких металів у діапазоні

концентрацій від 0,01 до 10 мкмоль/л на кінетику росту, проліферативну та мітотичну активність клітин, опромінених іонізуючим випроміненням дозволило встановити полімодальний характер змін радіогенних клітинних реакцій. Іони свинцю діють як радіоміметичні речовини, посилюючи променево ушкодження, призводять до дозозалежних дистрофічно-деструктивних змін і посилення апоптозу у культурі клітин. Іони нікелю через свої генотоксичні властивості істотно зменшують мітотичну активність та посилюють апоптоз у культурі клітин, опромінених в дозах 0,5 та 5 Гр, проте в області сублетальних доз справляють модифікуючий вплив на виживання та проліферативну активність клітин. Нутриєнтні мікроелементи хром та мідь в області концентрацій 0,01 – 10 мкмоль/л не проявляють цитотоксичні властивості в культурах клітин, опромінених в дозах 0,5 та 5 Гр, проте ушкоджуючий ефект сублетальної дози 10 Гр не залежить від концентрації цих мікроелементів: кількість полікаріоцитів зростає у 25 (Cu^{+2}) – 40 (Cr^{+3}) разів у порівнянні з інтактним контролем. Визначення кількості апоптотичних клітин при поєднаній дії радіації та іонів міді чи хрому показало складний, незалежний ні від дози, ні від концентрації характер їх вмісту в культурах, що може свідчити про компенсаторні процеси в клітинах за досліджуваних умов. Цитохімічне дослідження показало, що спільним для всіх іонів важких металів є посилення енергообміну в опромінених радіацією клітинах за рахунок активації гліколізу, що вказує на компенсаторний характер цих змін. Водночас, тільки для іонів нікелю характерне підвищення активності сукцинатдегідрогенази в діапазоні концентрацій 0,01 – 0,1 мкмоль/л.

За результатами експериментальних досліджень було встановлено, що модифікуючий (нормалізуючий) вплив електромагнітних міліметрових хвиль на мітохондріальну дисфункцію енергообміну в клітинах за умов поєднаної дії радіації та важких металів має місце тільки у дослідах з іонами міді.

ВПЛИВ НЕЙТРОНОЗАХВАТНИХ АГЕНТІВ НА ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ КЛІТИН IN VITRO

Г. Й. Лавренчук¹, Ю. Б. Шевченко², В. В. Тришин², Д. Д. Гапєєнко¹

¹ ДУ “Науковий центр радіаційної медицини НАМН України”, Київ

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Променева терапія, якої потребує не менше 65 - 70 % всіх хворих злоякісними новоутвореннями, залишається на сьогодні найбільш використовуваним методом протипухлинного лікування. У свою чергу, одним з найбільш перспективних, але, одночасно, і найбільш складних її варіантів є нейтронозахватна променева терапія (НЗТ). В основі НЗТ лежить неоднакова ймовірність ініціації ядерних реакцій при взаємодії теплових нейтронів з атомами, що характеризуються різним перерізом захоплення. До чис-

ла атомів, що мають істотно більший переріз захоплення, ніж у складових тваринних тканин ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , H , належать, поряд з іншими, стабільні ізотопи ^{10}B , ^7Li , ^{157}Gd . Селективна доставка атомів ^{10}B до пухлини дозволяє, після впливу тепловими нейтронами, розраховувати на локальне пошкодження тільки самої мішені. Точна оцінка концентрації бору в режимі реального часу дозволить виконати адекватний розрахунок доз і створити оптимальний індивідуальний план опромінення для кожного конкретного пацієнта. Орієнтиром для новостворюваних боровмісних препаратів повинен служити необхідний для повноцінної реалізації НЗТ рівень концентрації бору: 10 - 30 мкг / г пухлинної тканини (або 109 атомів бору на клітину).

Експериментальні дослідження виконані на культурі клітин (фібробласти мишей С3Н трансформовані метилхолантеном) – лінія L₉₂₉ (клітинний цикл у середньому 24 год). Морфологічно культура клітин L₉₂₉ є фібробластоподібною. Культивування клітин здійснювали у поживному середовищі, яке складалось із середовища RPMI-1640 (90 %), ембріональної телячої сироватки (10 %) та антибіотиків згідно зі стандартними методами роботи з клітинними штабами. У дослідженнях були використані нейтронозахватні агенти (НЗА): 1-карба-клозо-додекарборат цезію та {5,10,15,20-тетракис[*n*-(1'-карба-клозо-додекарборан-1'-іл)тетрафторфеніл]17,18-дигідропорфірин-}натрію, які додавали в культуральне середовище через 24 год після посадки клітин у вигляді водного розчину в концентраціях: 5 мкг/мл, 0.5 мкг/мл, 0.05 мкг/мл та інтактний контроль – К. Клітинні відповіді оцінювали у різні терміни культивування клітин за загальноприйнятими показниками життєздатності: проліферативна і мітотична активність, кількість гігантських багатоядерних клітин, апоптоз.

Було встановлено, що при інкубації клітин з НЗА 1-карба-клозо-додекарборатом цезію спостерігаються дозозалежні зміни показників життєздатності. Найбільші зрушення (до 60 %) відбуваються при застосуванні найвищої досліджуваної концентрації 5 мкг/мл. За найменшої концентрації 0,05 мкг/мл зміни показників життєздатності статистично не достовірні. Інкубація клітин з НЗА {5,10,15,20-тетракис[*n*-(1'-карба-клозо-додекарборан-1'-іл)тетрафторфеніл]17,18-дигідропорфірин-ом}натрію призводить до зменшення виживання клітин та збільшення полікаріоцитів в культурі на 40 % за всіх досліджуваних концентрацій агента, що вказує на присутність патологічних форм мітозу. Аналіз показників виживання, мітотичної активності та апоптозу в тест-системі культури клітин в умовах інкубації з різними концентраціями НЗА (карборанів та порфіринів) показав, що для них характерні різні механізми впливу на клітини: карборани індукують загибель клітин шляхом апоптозу, порфірини – за рахунок репродуктивної загибелі.

МАСОВЕ ОПРОМІНЕННЯ У ВЛАСНИХ КВАРТИРАХ МОЖЕ ЗАЛИШИТИСЬ НЕДОСЛІДЖЕНИМ

І. М. Лютий

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Проблема дослідження масштабів і наслідків масового опромінення населення у будинках з підвищеною радіоактивністю будівельних матеріалів (ПРБМ), споруджуваних ще задовго до Чорнобильської катастрофи, сьогодні потребує насамперед пошуку основної маси таких будинків на всій території України. Проведені нами раніше дослідження, обмежені 30 тис. населення, показали підвищену онкозахворюваність у таких будинках на 30 - 50 % порівняно з контрольними «чистими» будинками. Проте навіть при гіпотетично 100 %-ій достовірності будь-які результати, отримані лише на обмеженій території (де можливий вплив найнепередбачуваніших місцевих чинників) не є достатніми і їх слід розглядати лише як попередні, позаяк більшість об'єктів досліджень (будинків з ПРБМ) ще лишаються невідомими. Найоперативніше, буквально за кілька тижнів і практично без додаткових витрат виявити ці будинки по всій Україні могли б місцеві органи санепідемнагляду, тоді як для будь-якої групи дослідників такий пошук тривав би ще десятки років. Проте нашим державним органам, відповідальним за радіаційний захист населення, ще й сьогодні невідомі ні адреси більшості радіаційно-небезпечних будинків, ні наслідки опромінення їхніх мешканців.

Звичайно, опромінення в будинках від будматеріалів не є найбільшою з існуючих сьогодні небезпек. Разом з тим, фактично експеримент з опроміненням у будинках триває вже давно. Сьогодні такий експеримент вже не треба ні розпочинати (будинки з ПРБМ давно збудовані і заселені), ні чекати десятки років на його результати, які потім треба ще зібрати (основні дані – діагнози первинних онкозахворювань – вже зібрані за всі ці роки в канцер-реєстрах). Після нескладного пошуку будинків з ПРБМ ці дані можуть бути легко опрацьовані. Тому немає жодного сенсу відмовлятися від майже готових результатів цього занадто дорогого масового експерименту, який вже відбувся на людях і триває далі.

Тим часом, зібрані у канцер-реєстрах дані поступово втрачаються за терміном давності, і насамперед втрачаються найбільш цінні відомості попередніх років, які ще не були спотворені впливом сучасних техногенних факторів. А в недалекому майбутньому старі панельні будинки (з нашого досвіду, саме серед них найбільше будинків з ПРБМ) теж будуть знесені, отже їхні радіаційні параметри залишаться невідомими. Таким чином, результати унікального експерименту, який волею долі тривав десятки років на людях і оплачений ціною тисяч життів, будуть майже повністю втрачені. І нарешті, в сучасних канцер-реєстрах на електронних носіях, зібрані дані, починаючи з 90-х років. Чи залишилися у місцевих реєстрах бодай

які-небудь дані за попередні роки і як їх зберегти – невідомо.

Тому сьогодні на часі вже не стільки розробка методик досліджень (бо ймовірно, вони вже не встигнуть знайти застосування), скільки терміновий збір даних про рівні гамма-випромінювання та адреси зникаючих об'єктів досліджень – будинків з ПРБМ та найближчих до них «чистих» будинків – по всій території України. А після цього – терміновий пошук за цими адресами даних, які ще збереглися в канцер-реєстрах чи онкодиспансерах усіх рівнів.

І нарешті, коли йдеться про знесення будинків, то будинки з ПРБМ мають бути відомі не лише для досліджень, але й для першочергового відселення з них мешканців та дотримання норм радіаційної безпеки під час демонтажу таких будинків, транспортування, захоронення чи повторного використання будматеріалів від них.

МОНІТОРИНГ ЗАБРУДНЕННЯ ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ^{90}Sr В ІВАНІВСЬКОМУ РАЙОНІ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Л. М. Отрешко¹, В. О. Кашпаров², С. Е. Левчук², І. М. Малоштан²

¹ *Кафедра радіобіології НУБіП України, Київ*

² *УкрНДІСГР НУБіП України, Київ*

^{90}Sr був викинутий з реактора під час аварії в основному в складі частинок ядерного палива (більше 90 % активності). З часом йшло їх розчинення і радіонукліди переходили в ґрунт, про що свідчить зміна дисперсного складу паливних частинок, а також збільшення долі обмінного стронцію в ґрунті, як наслідок цього, забруднення рослинності (відповідно, в цих районах спостерігається збільшення забруднення ^{90}Sr сільськогосподарської продукції).

У 2009 - 2011 рр. були проведені експериментальні роботи, які підтвердили, що зернові культури все ще залишались критичними з точки зору надходження в них ^{90}Sr . Особливо це стосується території Іванківського району Київської області. На цих територіях практично у всіх пробах зерна в 2009 р. вміст ^{90}Sr перевищував допустимі значення для харчового зерна (20 Бк/кг), що показало необхідність проведення контрзаходів на даних територіях.

З усіх полів, де вирощувались зернові культури (поблизу сіл Дитятки, Зорин, Горностайпіль та Прибірськ) у 2011 р. був проведений відбір проб ґрунту (13 зразків) та зерна (6 зразків жита, 5 зразків вівса та 2 зразки озимої пшениці). Проби ґрунту відбирались на глибину орного шару – 20 см. У кожній точці пробо-відбору з допомогою GPS встановлювалась географічна координата. В усіх пробах ґрунту та зерна стандартними гамма-спектрометричними методами встановлювалась активність ^{137}Cs і радіохімічними методами – активність ^{90}Sr . В ґрунтових зразках визначались також доля ^{90}Sr та кальцію в обмінній формі і кислотність ґрунтового розчи-

ну для визначення параметрів розчинення паливних часток та було уточнено залежність коефіцієнтів переходу ^{90}Sr в цю критичну сільськогосподарську продукцію відповідно до ґрунтових характеристик.

ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ РОБОТИ ЦЕНТРІВ ПОЗИТРОННО-ЕМІСІЙНОЇ ТОМОГРАФІЇ НА ДОВКІЛЛЯ

В. В. Тришин, О. В. Гайдар, І. О. Павленко, О. В. Сваричевська

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Вирішення проблеми ранньої діагностики онкологічних захворювань обумовлює актуальність створення в Україні мережі сучасних центрів для проведення позитронно-емісійної томографії (ПЕТ). На сьогодні найбільшого визнання отримали радіофармпрепарати (РФП) на основі короткоживучих радіонуклідів С-11, N-13, O-15, F-18. Короткий час життя зазначених радіонуклідів обумовлює необхідність розміщення циклотронів (для їх напрацювання) та лабораторій синтезу РФП безпосередньо в умовах онкологічної клініки, які часто знаходяться в густонаселених районах великих міст. Це, в свою чергу, вимагає ретельного підходу до створення надійних систем інженерних бар'єрів на шляху можливого виходу радіоактивних речовин у навколишнє середовище та захисту персоналу й населення від джерел іонізуючого випромінювання.

Основними джерелами іонізуючих випромінювань при експлуатації ПЕТ-центру є:

1. Медичний циклотрон для напрацювання радіоактивних ізотопів.
2. Обладнання лабораторії синтезу РФП.
3. Радіоактивні речовини (РФП) у відкритому вигляді.
4. ПЕТ-КТ система для суміщеної позитронно-емісійної й комп'ютерної томографії.
5. Радіоактивні відходи, що утворюватимуться при експлуатації ПЕТ-КТ центрів.
6. Радіоактивні викиди та скиди, що утворюватимуться при експлуатації ПЕТ-КТ центрів.

На прикладі ПЕТ-центру з медичним циклотроном MINITrace (фірми GE Medical systems) було проведено розрахунок стаціонарних та динамічних бар'єрів та запропоновано проектні рішення захисних систем, а саме:

- системи спецвентиляції, яка забезпечує видалення радіоактивно забрудненого повітря з усіх приміщень, де проводяться роботи з відкритими джерелами іонізуючого випромінювання. Після багатоступеневої системи фільтрації, що включає вискоелективні аерозольні фільтри (HEPA) та фільтри з активованим вугіллям, очищене повітря через вентиляційну трубу надходить у навколишнє середовище;
- системи спецканалізації, до якої надходять радіоактивно забруднені стоки для витримки у централізованих відстійниках, що забезпечує розпад

радіонуклідів та зниження їх активності нижче встановлених у [1] значень $ДК_B^{ingest}$, після чого такі стоки скидатимуться у господарчо-побутову каналізацію при обов'язковому контролі активності радіонуклідів в них;

- системи поводження з радіоактивними відходами (РАВ), що включає тимчасові сховища рідких та твердих РАВ, які утворюватимуться внаслідок активації деталей циклотрона та при технологічних процесах синтезу РФП і проведення ПЕТ-діагностики.

Було проведено оцінку впливу на навколишнє середовище в умовах нормальної експлуатації ПЕТ-центру та при аваріях, у тому числі запроектованих. Завдяки запропонованим проектним рішенням системи спецвентиляції дозові навантаження в режимі нормальної експлуатації ПЕТ-центру знаходяться значно нижче встановленого НРБУ-97 [1] значення квоти ліміту дози за рахунок всіх шляхів формування дози від викидів (40 мкЗв/рік). При запроектованих аваріях (з руйнуванням усіх захисних бар'єрів) ефективні дози, які потенційно може отримати населення, що проживає на прилеглих територіях, також не перевищують значення 1 мЗв, що є нижчою межею виправданості для проведення будь-яких контрзаходів [1]. Завдяки розробленій системі поводження з РАВ, вплив останніх на довкілля також не передбачається.

МОНІТОРИНГ ВМІСТУ ПРИРОДНИХ РАДІОНУКЛІДІВ У ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ ҐРУНТУ МІСТА УЖГОРОД

І. С. Потокі, О. О. Парлаг, В. Т. Маслюк, О. І. Лендел

Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород

Представлено результати вимірів питомої активності природних радіонуклідів рядів ^{232}Th (^{208}Tl , ^{212}Pb , ^{228}Ac), та ^{238}U (^{214}Pb , ^{214}Bi) та ^{40}K у пробах поверхневих шарів ґрунту міста Ужгорода. Точковий відбір проб проводився протягом 2006 ÷ 2011 рр. у 37 точках зон, які мають різне технологічне навантаження. Для вимірів питомої активності проб ґрунтів використовувався сертифікований гамма-спектрометричний комплекс "SBS-40" з коаксіальним Ge(Li)-детектором об'ємом 100 см^3 , який знаходився у комбінованому захисті [1]. Виміри проб проводилися в однакових геометричних умовах. Час вимірювань становив 20000 с. Середні значення питомої активності (Бк/кг) радіонуклідів ^{208}Tl , ^{212}Pb , ^{228}Ac , ^{214}Pb , ^{214}Bi та ^{40}K у пробах приведено у таблиці.

Вміст радіонуклідів у ґрунтах діючими санітарно-законодавчими документами не нормується. З цієї причини радіаційно-екологічний стан ґрунту оцінюють порівнянням з контрольними рівнями, які затверджують місцеві органи санітарно-епідеміологічного нагляду на основі середніх значень [2, 3]. За результатами вимірів проведеними у 2006 - 2011 рр. встановлено середні фонові значення питомої активності для природних радіонуклідів: $^{40}\text{K} \sim 302,9$ Бк/кг, ^{232}Th (по ^{228}Ac) $\sim 24,1$ Бк/кг, ^{226}Ra (по ^{214}Bi) $\sim 18,6$ Бк/кг у

поверхневих шарах ґрунту м. Ужгороду. Аналогічні значення для м. Москва [10,11] (виміри проводилися на протязі останніх 20 років) становили ~ 660 Бк/кг, ~ 40 Бк/кг, ~ 30 Бк/кг, відповідно.

Радіо-нуклід	Ряд	2006	2007	2008	2009	2010	2011
⁴⁰ K	-	235,8±9,9	340,1±13,5	310,0±11,4	374,6±15,5	282,9±11,7	274,2±11,
²¹⁴ Pb	238U	14,8±1,0	22,9±1,5	19,6±1,2	22,0±1,5	18,4±1,2	17,0±1,1
²¹⁴ Bi		15,1±1,0	21,6±1,5	18,7±1,1	22,8±1,5	17,0±1,1	16,4±1,1
²¹² Pb	232Th	23,0±1,5	32,3±1,5	25,9±1,8	32,2±2,2	21,1±1,3	21,5±1,0
²²⁸ Ac		19,8±1,7	27,9±2,6	23,6±2,0	28,9±2,4	23,0±1,9	21,5±1,9
²⁰⁸ Tl		7,5±0,7	11,9±1,0	11,1±0,8	13,7±1,0	9,6±0,8	10,7±0,8

Порівняння отриманих значень питомої активності з результатами аналогічних досліджень, проведених у 2001 році [1], вказує на сталість їх чисельних значень для більшості точок відбору та на відсутність техногенного забруднення.

1. Парлаг О.О. та ін. Склад гамма-активних природних та техногенних компонент поверхневих шарів ґрунту // Вісник УжНУ. Сер. Хімія. - 2001. - Вип. 6. - С. 98 - 102.
2. Прокофьев О.Н., Смирнов О.А. Фоновые уровни радиационных параметров почвы // Атомная энергия. - 2003. - Т. 94, вып. 4. - С. 318 - 322.
3. Лашенова Т.Н., Зозуль Ю.Н. Определение фонового содержания радионуклидов и тяжелых металлов в почве // Атомная энергия. - 2006. - Т. 100, вып. 3. - С. 231 - 236.

ВПЛИВ ВНУТРІШНЬОВОДОЙМНОЇ ДИНАМІКИ ВОДНИХ МАС НА ФОРМУВАННЯ РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВИЩИХ ВОДНИХ РОСЛИН КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

С. П. Пришляк, О. М. Волкова, В. В. Беляєв, О. О. Пархоменко

Інститут гідробіології НАН України, Київ

Київське водосховище – одна з найбільш забруднених радіонуклідами водойма України, а його верхня частина розташована у межах зони відчуження. Основними джерелами водопостачання для Київського водосховища є річки Прип'ять та Дніпро. У свою чергу, на території водозбору р. Прип'ять зосереджена значна частина радіонуклідів чорнобильського викиду. Тому важливо було визначити, як особливості надходження та переміщення радіонуклідів із водними масами впливають на формування рівнів радіонуклідного забруднення вищих водних рослин – домінуючого за біомасою компонента водних екосистем.

Вищі водні рослини відбирали у вегетаційний сезон 2010 р. у верхній та середній частинах Київського водосховища. Визначали вміст ¹³⁷Cs у воді та рослинах різних екологічних груп: повітряно-водних; з плаваючим на

поверхні води листям та занурених. Ділянки для відбору проб води та вищих водних рослин обирали на підставі аналізу особливостей міграції водних мас в екосистемі Київського водосховища.

Питома активність ^{137}Cs в окремих зразках вищої водної рослинності зареєстрована у діапазоні величин від 5 до 588 Бк/кг. Встановлено, що на усіх досліджених ділянках найвищими рівнями радіонуклідного забруднення характеризувалися занурені рослини, а найбільша питома активність ^{137}Cs у рослинах різних екологічних груп зареєстрована на правобережних ділянках верхньої частини водосховища. Останнє можна пояснити тим, що основним джерелом надходження радіонуклідів до екосистеми Київського водосховища є водозбірна територія р. Прип'ять. Під час весняних повеней забруднені радіонуклідами водні маси р. Прип'ять виявляються притиснутими до правого берега, де саме у заростях вищих водяних рослин відбуваються процеси осадження ^{137}Cs . У цей період починається активна вегетація вищих водних рослин і виникають сприятливі умови для накопичення радіонукліда фітомасою.

Отже, ми дійшли висновку про вирішальну роль двох чинників, які обумовлюють рівні накопичення ^{137}Cs вищими водяними рослинами. По перше, це величина площі контакту вегетуючих органів рослин із водним середовищем. По друге – особливості міграції радіонуклідів в екосистемі водосховища із водними масами.

СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ РАДІАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В. І. Сахно

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Висвітлюються сучасний стан промислових радіаційних технологій та перспективи їх прогресу. Аналізуються матеріали зарубіжних та вітчизняних дослідницьких центрів. Докладно викладено результати таких досліджень та практичний досвід в ІЯД НАН України.

Електрофізика належить до значимих фундаментальних напрямків науки і техніки, за допомогою яких можна ефективно вирішувати актуальні проблеми сучасного виробництва. Наявний досвід ефективності застосування електрофізики (електрофізичних радіаційних технологій) свідчить про доцільність прискореного розвитку цих технологічних напрямків в таких важливих для економіки галузях, як виробництво та переробка сільськогосподарської продукції, харчова промисловість та медицина. Наприклад, в галузі переробки моресировини електрофізичні радіаційні технології ґрунтуються на тривалому світовому досвіді використання енергії заряджених частинок і електромагнітного випромінювання пікометрового діапазону для вирішення різноманітних задач харчової галузі. Таким шляхом зменшуються затрати виробництва, запобігається надлишкова хімізація

харчів, їх тривале і надійне зберігання. Доведена висока ефективність електрофізичних радіаційних технологій знешкодження та утилізації відходів промисловості і ефективного вирішення екологічних проблем суспільства.

Значний внесок до прогресу електрофізичних радіаційних технологій внесли науковці ІЯД НАН України. З тематики радіаційних технологій ними здійснено широкий перелік науково-дослідних робіт, практичних розробок, інноваційні проекти, великі проекти в галузевих Національних програмах. Найбільший їх обсяг здійснено останнім часом. Випробувано електрофізичні радіаційні технології переробки морепродуктів, виконаних з залученням численних галузевих наукових закладів України та Росії. В рамках міжнародного наукового співробітництва розроблено радіаційні технології нових оригінальних матеріалів з відходів виробництва. Створені технології безвідходної переробки харчової сировини, розроблені радіаційні установки для медичного застосування при стерилізації інфікованих стоків інфекційних відділень медичних закладів та тубдиспансерів. Розроблено нові технології будматеріалів. В своїй більшості досягнуті результати не мають аналогів і суттєво випереджають розробки інших вітчизняних і зарубіжних наукових центрів.

В ІЯД НАНУ вперше в світі створено оригінальний технологічний напрямок створення нового типу електрофізичних технологій з використанням заряджених частинок низьких і наднизьких енергій. Виконано великий перелік досліджень і розробки цього напрямку. Отримано оптимістичні практичні результати випробування технологій з низько енергетичними зарядженими частинками на реальному виробництві.

Аналіз досліджень і результати практичних випробування показують, що радіаційні технології є ефективним наукоємним напрямком розвитку більшості галузей промислового виробництва. Численні дані свідчать, що електрофізика поки що єдиний економічно придатний шлях отримання оригінальних технологічних результатів і виробництва високоякісної продукції, недосяжної для інших технологій та з найменшими витратами енергії. Це визначає актуальність цього науково-технічного напрямку і важливість забезпечення подальшого прогресу радіаційних технологій. Передбачається продовження таких досліджень і в творчих планах науково-дослідних робіт в ІЯД НАН України.

ЗМІНА ПРОФІЛЮ МЕТИЛУВАННЯ ДНК РОСЛИН ПРИ ІНДУКЦІЇ, РАДІОАДАПТАЦІЇ РІЗНИМИ ЗА ТРИВАЛІСТЮ ВПЛИВАМИ

Д. О. Соколова, Г. С. Венгжен, О. П. Кравець, Д. М. Гродзинський

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ

Метилування ДНК є одним із найважливіших та поліфункціональних механізмів біологічної регуляції, відіграє ключову роль в ряді епігенетич-

них процесів: геномному імпринтингу, диференціюванні, апоптозі та морфогенезі, старінні організму. Також відомо, що метилювання цитозин є природним фактором мутагенезу і одночасно фактором стабілізації просторової структури ДНК, що необхідно для вдалого перебігу ферментативних процесів, пов'язаних зі зчитуванням інформації та репарацією. Зниження рівня метилювання ДНК залучене до патологічних процесів, виявляючись показником канцерогенезу. Рослини посідають перше місце щодо відносного вмісту метилованого цитозину (до 30%). Метилювання ДНК рослин відбувається за участі 4 класів метилтрансфераз, забезпечуючи велике розмаїття сайтів метилювання, що наводить на думку про участь цього процесу і у пристосуванні цих організмів до біотичного та абіотичного стресу. Разом з цим на сьогодні дані про характер метилювання в умовах дії стресових факторів практично відсутні.

Дана робота стосується вивчення зв'язку зміни профілю метилювання ДНК рослин кукурудзи при індукції адаптивної відповіді на гостре та хронічне опромінення з використанням поєднання рестрикційного аналізу з рестриктазами HpaII, MspI, MboI та постановки ПЛР з праймерами internal transcribed space – ITS1 (19b) ITS4 (20b), та inter simple sequence repeat – ISSR (14b). В якості показника радіаційного впливу та індукції адаптивного процесу використовувався рівень нестабільних хромосомних аберацій, як загальноприйнятий маркер радіаційного ураження. Метою даного дослідження було виявити зв'язок між змінами профілю метилювання ДНК при індукції адаптивної відповіді контрастними за тривалістю впливами.

Отримані результати свідчать про зміни в профілі метилювання сателітної ДНК в режимі опромінення «адаптивна доза – провокаційна доза» та зміни в метилюванні транскрипційно активної ДНК при опроміненні в режимі фракціонування. У рослин, отриманих із насіння, попередньо опроміненого гамма – опроміненням, спостерігається більш яскрава зміна профілю метилювання сателітної ДНК, порівняно із попередньо не опроміненними зразками.

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОГО γ -ОПРОМІНЕННЯ В НЕЛЕТАЛЬНОМУ ДІАПАЗОНІ ДОЗ НА РЕАКЦІЇ ВИЩОЇ НЕРВОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЩУРІВ НА СТРЕС

**В. В. Галько, В. В. Варецький, О. Г. Ракочі,
Є. В. Тукаленко, М. В. Шелковський**

ДУ «Науковий центр радіаційної медицини АМН України», Київ

Вплив радіації на організм і, зокрема, на вищу нервову діяльність найчастіше супроводжується дією низки різних стресогенних факторів. Відокремити значущість кожного з них виявляється досить складною проблемою, що особливо яскраво проявилось у намаганні пояснити медичні нас-

лідки аварії на ЧАЕС, тяжкість яких в багатьох випадках не відповідала відносно малим дозам опромінення, які самі по собі не мали б викликати суттєвих та тривалих негативних реакцій. Аналіз медичних наслідків цієї аварії також показав, що й дотепер у людей, які зазнали впливу її чинників, психоневрологічні розлади залишаються важливою медичною і соціально-економічною проблемою. Однак питання їх патогенезу, особливо стосовно функціональних порушень з боку ЦНС, залишаються дискусійними і часто обмежуються тільки розглядом комплексу стресових факторів.

Дане експериментальне дослідження певною мірою моделювало реальну ситуацію: попередньо опромінені в нелетальних дозах тварин піддавали впливу стресу (електрошок) і визначали зміни показників функції ЦНС у опроміненіх та неопроміненіх тварин.

Мета роботи: вивчити зміни чутливості вищої нервової діяльності щурів до впливу стресу нерадіаційної природи після опромінення тварин у діапазоні нелетальних доз.

Стан ВНД щурів оцінювали за показниками умовнорефлекторних реакцій активного уникання (човникова камера), всього проаналізовано 5 основних показників. Застосовували одноразове тотальне опромінення гамма-квантами (^{90}Co – терапевтична установка «Рокус»). Дослідження проведені в два етапи (0,5 та 1,0 Гр – I етап; 3,0 та 6,0 Гр – II етап) на 134 безпородних білих щурах, розподіленіх на 12 груп: контроль, стрес, опромінення 0,5 Гр, 1,0 Гр, 3 Гр, та 6 Гр, опромінення 0,5 Гр + стрес, опромінення 1,0 Гр + стрес, опромінення 3 Гр + стрес, опромінення 6 Гр + стрес. Стресування здійснювали шляхом електричного подразнення тварин (електрошок) протягом 10 та 20 хв, що безпосередньо передувало тестуванню. Таким чином протягом приблизно двох місяців проведено 12 тестувань тварин кожного етапу. Для визначення реакції на стрес порівнювали рівень поведінкових реакцій у стресованих та нестресованих тварин.

Аналіз отриманих даних показав, що в групі щурів, яка зазнавала опромінення в дозі 0,5 Гр майже не відбувалась зміна реакцій спричинених стресуванням, в той час як при опроміненні щурів в дозі 1,0 Гр відбулося суттєве зростання реакцій на стресування. При попередньому опроміненні в дозі 3,0 Гр реакція на стресування була така ж сама як у неопроміненіх щурів, а при дозі в 6,0 Гр реакція взагалі стає невірогідною. Зниження або відсутність реакції на стресування (що сама по собі має мобілізуючий, захисний характер), яка спостерігалася за умов застосованої моделі при дозах в 3,0 та 6,0 Гр, може вказувати на виснаження захисних механізмів і фізіологічних резервів у разі таких доз.

ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ АДАПТАЦІЇ АЕРОІОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДО ВИРОБНИЦТВА В'ЯЛЕНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ЧОРНОМОРСЬКИХ ВИДІВ РИБ

Д. В. Бондаренко², А. Г. Зелінський¹, Т. В. Ковалінська¹,
Т. К. Лебська², В. І. Сахно¹, Н. В. Халова¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Національний університет біоресурсів та природокористування України, Київ

У доповіді обговорюються результати досліджень проблеми подальшого розширення обсягів використання радіаційних технологій з аероіонами. Метою було вирішення проблеми підвищення ефективності промислового виробництва харчових продуктів з місцевої сировини Азово-Чорноморського басейну. Такі розробки є актуальним напрямком забезпечення населення України повноцінним харчуванням. Радіаційні технології з аерофонами є традиційним напрямком досліджень в ІЯД і активно розвиваються впродовж більше 20 років. Досвід цих досліджень і практичного використання розроблених в інституті аеропонних технологій свідчить про доцільність залучення нетрадиційних методів модифікації органічних систем з використанням іонів низької та наднизької енергії з атмосферних газів також і для виготовлення в'яленої рибної продукції з чорноморської сировини. На відміну від попередніх розробок, в даному випадку необхідно обробляти специфічні види місцевих риб з дотримання усталених традицій їх споживання. Досвіду заміни традиційної технології на аеропонну для виробництва однакової за характеристиками продукції (стандартів) поки що немає. Попередній аналіз показав, що запропонована до використання сировина характеризується високим вмістом повноцінного білку з усіма незамінними амінокислотами та біологічно ефективними ліпідами з дуже корисними жирними кислотами родини омега три, омега шість. Така продукція, у випадку успішної розробки промислової технології, обіцяє суттєве збільшення асортименту високоякісної рибної продукції, в тому числі і лікувально-профілактичного призначення. З попереднього аналізу наявного досвіду було зроблено висновки, що тільки аеропонні технології здатні забезпечити необхідну модифікацію сировини в повноцінних продуктах без втрати в ньому цінних біологічно-активних складових. Для встановлення їх реальних можливостей здійснено експериментальне вивчення на пілотній аероіонній установці ІЯД тепломасових процесів в традиційній чорноморській рибній сировині під дією іонів кисню.

Експериментальне випробування показали, що використання аеропонної обробки попередньо засоленої сировини (пеленгасу, бичку, кефалі) сприяє формуванню високих органолептичних показників в'яленої продукції та її безпеку. Виявлені закономірності динаміки вологи в залежності від часу аероіонної обробки та хімічного складу м'язових тканин риб. За результатами цих досліджень сформульовано перелік вимог до промислової техні-

ки, яку необхідно створити для організації промислового виробництва в'яленої продукції з чорноморських риб.

Отримані дані використано для розробки пропозицій на відповідне удосконалення традиційної в Азово-Чорноморському регіоні технології в'яленої риби. Визначено проблеми практичної реалізації аеропонних технологій на реальному виробництві з урахуванням досвіду створення такої техніки в ІЯД НАН України.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ СИСТЕМ АНТИОКСИДАНТНОГО ЗАХИСТУ У ТВАРИН З ПЕРЕЩЕПЛЕНОЮ КАРЦИНОМОЮ ГЕРЕНА ПІСЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ТРИВАЛОГО ВПЛИВУ ЕКЗОГЕННИХ ОКСИДІВ АЗОТУ ТА МАЛИХ ДОЗ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ

**О. Б. Ганжа, Л. І. Маковецька, Н. К. Родіонова,
М. О. Дружина, В. М. Михайленко**

*Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології
ім. Р.Є. Кавецького НАН України, Київ*

Серед шкідливих чинників довкілля на особливу увагу заслуговують іонізуючі випромінювання (ІВ) та оксиди азоту (ОА), оскільки їх тривала дія призводить до порушення окисного метаболізму в організмі. Тому в роботі досліджували систему антиоксидантного захисту після перещеплення карциноми Герена (КГ) на фоні попереднього впливу цих чинників. Важливими ланцюгами цієї системи є ферменти – супероксиддисмутаза (СОД) та каталаза.

У процесі росту пухлини виявлено тенденцію до зниження активності СОД у крові щурів (12 та 18-а доба). На відміну від СОД, активність каталази в крові щурів у процесі росту КГ виявляє іншу закономірність: в усіх піддослідних групах відмічено зростання її активності. При цьому за окремої дії ОА та ІВ активність ферменту збільшувалась на 40 %.

Ріст КГ супроводжується зрушенням співвідношення активностей СОД/каталази у бік домінування каталази. Максимальна дерегуляція узгодженої роботи СОД і каталази в процесі елімінації активних форм кисню спостерігалась на 18-ту добу в групах (ОА+КГ) та (ІВ+КГ).

Таким чином, виявлено, що окрема і сумісна дія оксидів азоту та іонізуючих випромінювань призводить до порушення окисного метаболізму, що в подальшому впливає як на перещеплення і ріст карциноми Герена, так і на активність ферментів антиоксидантного захисту.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШКОХВИЛЬОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІЯД НАН УКРАЇНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПРЕСЕРВІВ З ПРІСНОВОДНИХ РИБ

А. Г. Зелінський¹, Т. В. Ковалінська¹, Т. К. Лебська²,
Н. В. Голембовська², В. І.Сахно¹, Н. В. Халова¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Національний університет біоресурсів та природокористування України, Київ

Обговорюються експерименти по застосуванню розробок ІЯД з радіаційних технологій харчових продуктів до виробництва малосолоної герметизованої продукції (пресервів) з штучно вирощених прісноводних риб.

Метою досліджень було встановити можливість за допомогою радіації компенсувати функціональні недоліки штучно вирощеної сировини при виготовленні делікатесних продуктів. Актуальність цих досліджень для України обумовлена відсутністю власного вилову морської риби і постійно зростаючої вартості експорту її з інших країн. Існуючі в Україні ресурси корисних площ для вирощування власних об'ємів прісноводних риб можуть в значній мірі компенсувати дефіцит морської сировини для підтримки виробництва цінних видів харчових продуктів. Таких, наприклад, як пресерви – вид доступних делікатесних харчових продуктів, вироблених за біотехнологіями, та рекордний за різноманіттям смакових показників навіть з однотипної сировини. Тому прісноводні риби є вагомим резервом харчування населення України. Але використання для пресервів риб, вирощених в ізольованих прісноводних водоймищах дещо проблематичне через високі показники ініціальної контамінації та гельмінтів, а також через специфічну структуру тканин, яка практично не містить ферментних комплексів для стимулювання біохімічних процесів визрівання.

Дослідження можливих шляхів подолання такої проблеми, в першу чергу за численними матеріалами попередніх робіт в ІЯД та галузевих наукових закладах України і Росії, показали доцільність залучення до технології виготовлення пресервів з прісноводної риби іонізуючих випромінювань – як головного фактора знешкодження патогенної мікрофлори і гельмінтів та радіаційно-хімічної модифікації структури сировини.

У доповіді обговорюються теоретичні аспекти, які покладено в основу цього напрямку радіаційних технологій. Обґрунтовано схеми експериментальних робіт з залученням унікальної технічної бази ІЯД НАНУ – потужної промислової радіаційної установки з прискорювачем електронів. Наведено результати експериментальних випробувань методики на дослідних партіях продукції з прісноводних риб.

Обговорюються результати проведених випробувань, які підтвердили, що обробка мегавольтними електронами продуктів з прісноводної сировини дозволяє здійснити унікальні комплексні радіаційні технології. Практично доведено, що в запропонованих радіаційних технологіях електрони

одночасно забезпечують ефективне знешкодження патогенної мікрофлори в сировині, цілеспрямовану динаміка біохімічних змін м'язевої тканини товстолобу (визрівання) та високі органолептичні показники готової продукції.

Представлено пропозиції, щодо організації такої радіаційної технології на реальному виробництві та основні розрахункові економічні показники підприємства.

ВПЛИВ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ НА ВМІСТ АЛЬФА-ТОКОФЕРОЛУ ТА КАРНІТИНУ В СІМ'ЯНІЙ РІДИНІ КРОЛІВ

Ю. А. Кондратова, А. В. Клепко, С. В. Андрейченко

ДУ “Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України”, Київ

Сім'яна рідина являє собою основну складову частину сперми, в котрій містяться сперматозоїди і різні поживні речовини. Останні не тільки забезпечують функціональну активність сперматозоїдів, а також захищають їх від дії пошкоджуючих факторів, зокрема радіації та вільних радикалів. В цьому зв'язку метою роботи було дослідження впливу різних доз рентгєнівського опромінення на вміст карнітину та α -токоферолу в сім'яній рідині сперми кролів. Як відомо, карнітин, або γ -триметиламонію- β -гидроксибутират, відповідає за транспорт жирних кислот до мітохондрій сперматозоїдів, а тому є ключовою речовиною для їх енергозабезпечення. В свою чергу, α -токоферол в значній мірі перешкоджає окисленню подвійних зв'язків в ненасичених жирних кислотах, що у великій кількості містяться в мембранах сперматозоїдів.

У дослідах використовували білих кролів, котрих утримували у окремих клітках при середній температурі повітря 19 °С, світловому дні в 16 годин і освітленості в 38 лк. Збір сперми проводили за допомогою штучної вагіни. Відокремлення сім'яної рідини від сперматозоїдів та сім'яних везикул проводили шляхом центрифугування сперми при 2500 g 12 хв. Визначення карнітину та α -токоферолу проводили за допомогою вискоефективної рідинної хроматографії на приладі “Agilent 1200” (США), що був оснащений ультрафіолетовим детектором. Перед початком хроматографії вільний карнітин перетворювали у реакції з пара-бромфенобромідом у ефір з максимумом поглинання при 260 нм. Альфа-токоферол екстрагували за допомогою п-гексану, а потім переносили у мобільну фазу, що складалась з метанолу, ацетонітрилу та ацетату амонію. Кількісне визначення токоферолу здійснювали за допомогою аналізу інтенсивності флуоресценції при 330 нм після її індукції при 290 нм.

Опромінення тварин проводили на установці “РУМ-17” (Росія) рентгєнівськими променями в дозах 0,1; 0,5 і 2,0 Гр. Вміст карнітину та α -токоферолу в сім'яній рідині визначали в післярадіаційний період на 10

добу, а також через 3 та 6 місяців.

Проведеними дослідженнями було встановлено, що тотальне опромінення тварин рентгенівськими променями зумовлювало зменшення концентрації α -токоферолу в сім'яній плазмі при всіх дозах опромінення з максимумом при 2,0 Гр. В той же час, концентрація карнітину суттєво збільшувалась за межі контрольної величини при дозах 0,1 та 0,5 Гр, але при дозі в 2,0 Гр досягала лише 70 % контролю. З часом відбувалась поступова нормалізація досліджуваних параметрів. Так, на 3-й місяць після опромінення вміст карнітину в сім'яній рідині був на рівні контролю для всіх доз опромінення, тоді як концентрація α -токоферолу залишалась зниженою навіть у 6-місячний термін. Збільшення концентрації карнітину співпадало з підвищенням рухливої активності сперматозоїдів при дозі в 0,1 Гр. Довготривале зменшення α -токоферолу можна пояснити за рахунок його безпосередньої участі у здійсненні протирадіаційного захисту мембран сперматозоїдів шляхом перехоплення вільних радикалів та реактивних форм кисню.

КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД ВИДАЛЕННЯ РАДІОІЗОТОПІВ З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

Ю. В. Литвиненко, Ю. Л. Забулонов, В.М. Кадошніков

Державна установа

Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України, Київ

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД УДАЛЕНИЯ РАДИОИЗОТОПОВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Ю. В. Литвиненко, Ю. Л. Забулонов, В. М. Кадошников

Государственное учреждение

Институт геохимии окружающей среды НАН Украины, Киев

Уран из урансодержащего сырья концентрируется в виде соответствующих оксидов, которые в процессе обогащения ^{235}U , образуют сырье, пригодное для изготовления тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), используемых на современных АЭС. В процессе выделения U из сырья, образуется значительное количество отходов (хвостов), и жидких радиоактивных отходов (ЖРО), содержащих U и его производные, которые требуют предварительной очистки перед выносом в окружающую среду.

В настоящее время для удаления радиоактивных изотопов из ЖРО предприятий ядерного цикла обычно используется ряд методов, таких как осаждение, экстракция, сорбция, ионный обмен, упаривание и другие. Для некоторых актиноидов (U, Pu, Np, Am) технологии извлечения развиты гораздо лучше, чем для продуктов их расщепления. Это, в частности PUREX, UREX, TRUEX, DIAMEX, SANEX, UNEX и ряд других процессов. Для

повышения эффективности удаления радиоизотопов часто используют комплекс методов, предусматривающий сочетание как нескольких физико-химических методов, так и их комбинации с влиянием электрического и магнитных полей на многокомпонентную гетерогенную систему, к которым относят ЖРО.

Целью нашей работы было использование комплексного метода, основанного на процессах соосаждения и адсорбции в условиях воздействия электрического и магнитного полей для удаления радиоизотопов из водного раствора, с использованием нанодисперсных материалов.

Для определения содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr использовались γ - и β -спектроскопия. Измерения общей β -активности проводились на β -радиометре КРК-1-01А. Калибрование измерительной установки проводили с использованием стандарта (изотоп ^{40}K). Уран определялся с помощью лазернофлуорисцентного анализатора АУФ-101. Исходная концентрация ^{137}Cs и ^{90}Sr составляла 5000 Бк/л, а U 1 мг/л.

Сущность предложенного метода заключалась в том, что в растворе, содержащем радионуклиды различной природы, синтезировались наночастицы поликремневых кислот, размером, не превышающим 40 нм. Для осаждения полученных наночастиц использовали процесс гетерокоагуляции полученных частиц поликремневых кислот дисперсией магнетита, которая была синтезирована в этом же растворе. Для улучшения физико-химических и коагуляционных свойств магнетита, его синтез проводили в условиях влияния импульсного электрического и магнитных полей. Электрический импульс имел прямоугольную форму, несущая частота модуляции электромагнитного импульса составляла 4,5 кГц, длительность – $\tau_{\text{и}} = 500 \pm 10$ мкс, частота повторения импульсов – $1 \pm 0,1$ Гц., U_{max} импульса -1200 В. Использование влияния электрического и магнитного полей с такими характеристиками позволило получить наночастицы магнетита с повышенным содержанием ОН-групп на их поверхности, что повышает сродство магнетита и поликремневых кислот.

Лабораторные эксперименты показали, что использование разработанного нами метода позволяет извлекать ионы ^{137}Cs , ^{90}Sr и природного U с эффективностью не менее 80 - 99 % от исходной концентрации.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗДОРОВ'Я ТА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ У СКЛАДНИХ РАДІОЕКОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

О. В. Азарова, Ю. В. Литвинов, В. І. Паламарчук

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Згідно офіційного атласу радіаційного забруднення ряду районів в 7 областях України (19 районів), виданого Міністерством надзвичайних ситуацій України (2009 р.), найбільш забрудненими, окрім Зони відчуження Київської області, є північні райони Волинської, Рівненської, Житомирської

областей, незважаючи на те, що за минулі з моменту аварії роки, кількість радіоцезію і радіостронцію, скоротилась на третину, враховуючи їх період напіврозпаду.

Слід зазначити, що найбільш небезпечних радіонуклідів плутонію і америцію та інших трансуранових елементів знаходяться саме у Зоні відчуження. Ситуація тут майже не змінилась.

Оскільки в зазначених районах України радіоактивне забруднення визначається в основному наявністю в ґрунтах Cs^{137} , Sr^{90} і трансуранових елементів Чорнобильського походження, та рівень радіації в продуктах рослинного і тваринного походження: ягодах, грибах, м'ясі диких тварин, молоці може перевершувати норму у 3 - 10 разів. Така ситуація призводить до певного дозового навантаження на організм людей, які проживають на вказаних територіях і споживають забруднені радіонуклідами продукти місцевого виробництва, питну воду. Це зумовлює певний радіаційний ризик для населення.

Тому в умовах складної радіоекологічної ситуації в Україні, що створилась після аварії на ЧАЕС, проблема захисту здоров'я населення була і залишається пріоритетною серед багатьох проблем мінімізації наслідків Чорнобильської катастрофи. Слід зауважити, що на здоров'я людей окрім радіаційного фактору, додатково впливають невластиві процесам життєдіяльності організму людини різноманітні хімічні субстанції, металоорганічні сполуки, продукти техногенного походження і т.д. Тому науковий напрям «Довкілля», особливо у контексті подолання наслідків аварії на ЧАЕС та інших техногенних катастроф є сьогодні дуже актуальним. При цьому особливого значення набуває гостра потреба здійснення протирадіаційного захисту здоров'я населення. Вирішення цього завдання можна досягти шляхом експериментального дослідження та створення нових високоякісних, ефективних засобів і харчових продуктів антипроменевої дії, які мають відповідати вимогам основних положень концепції протирадіаційного харчування: вони повинні володіти радіопротекторними, імунокорегуючими властивостями, активно сприяти виведенню із організму радіонуклідів.

Адже повноцінне харчування населення є головним керованим чинником, що забезпечує нормальний розвиток, здоров'я та якість життя людини, її працездатність, довголіття, творчі потенціали. Дефіцит основних харчових речовин і компонентів або дисбаланс їх в раціонах призводить до незворотних змін внутрішнього середовища організму, порушення клітинного метаболізму.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РАДІАЦІЙНОЇ МОДИФІКАЦІЇ МІОФІБРИЛЯРНИХ БІЛКІВ У ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ

А. Г. Зелінський¹, Т. В. Ковалінська¹, Т. К. Лебська²,
Т. Маєвська², В. І. Сахно¹, Н. В. Халова¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Національний університет біоресурсів та природокористування України, Київ

Обговорюються шляхи залучення сучасних енергоощадливих фізичних методів до виробництва харчових продуктів, особливо важливих для технології функціонального призначення. Їх перспективою є використання електрохімічних ефектів, які виникають при радіаційній обробці органічних систем мегавольтними електронами. Таке застосування допоки що не поширене, але попередні оцінки дають оптимістичні прогнози, щодо можливості промислового застосування не тільки протимікробної активності електронів, але також і низки супутніх радіаційно-хімічних ефектів взаємодії їх з органікою. До таких відносяться ефекти утворення зарядів в товщі матеріалу і виникнення при цьому електростатичних сил, сприяючих прискореній коагуляції емульсії в зріджених середовищах. Водночас, при цьому бажано зберегти і усі добре освоєні раніше ефекти стерилізації та пастеризації біомас з метою утворення стійкого до мікробного псування продукту.

У доповіді викладено результати дослідження можливості використання радіації в технології харчових продуктів, а саме промитого рибного фаршу. Описано методики експериментальних робіт щодо вивчення різних ефектів опромінювання рибного фаршу. Наведено результати експериментів нетрадиційного використання іонізуючих випромінювань для покращення показників якості напівфабрикату. Середні значення досліджуваних показників подані у таблиці.

Зразок	Доза, кГр	ВУЗ, %	pH	Відносна сила penetрації, од.	Міцність, г	Консистенція за Симідзу, бал
Контроль	0	47,23	6,73 - 6,86	0,8	<204,6	0
1	0,5	53,45	6,95 - 7,02	1,4	206,2	2
2	2	76,28	7,05 - 7,07	2,6	245,7	6

Окрім цього, виявлена бактерицидна дія іонізуючих випромінювань, що підтверджується значно меншою кількістю мікроорганізмів порівняно з контролем. Отримані дані свідчать, що використання опромінення в технології промитих рибних фаршів є досить перспективним, а обґрунтування таких технологій являє значний науковий та практичний інтерес.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОННОГО ОПРОМІНЮВАННЯ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТКАНИН РАПАНИ, ВОСЬМИНОГІВ ТА КАЛЬМАРІВ НА РАДІАЦІЙНІЙ УСТАНОВЦІ ІЯД НАН УКРАЇНИ

А. Г. Зелінський¹, Т. В. Ковалінська¹, Т. К. Лебська²,
К. Міхнева², В. І. Сахно¹, Н. В. Халова¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

² Національний університет біоресурсів та природокористування України, Київ

Обговорюються результати експериментального дослідження можливостей використання електронного опромінення для розм'якшення м'язової тканини морських молюсків. Успішне вирішення цієї проблеми є запорукою створення маловідходних і енергоощадливих технологій харчових продуктів, які є предметом спеціальних розробок ІЯД НАН України впродовж останніх 20 років. Вирішення цієї проблеми дозволить суттєво зменшити собівартість унікальних делікатесних продуктів харчування і сприятиме розширенню обсягу їх споживання широким колам населення України. Попередні дослідження в ІЯД довели, що радіаційно-стимульовані хімічні процеси відносяться до найбільш енергоефективних, а відтак і привабливих для промислового застосування. Наприклад, було показано, що процеси модифікації структур складних біомолекул під впливом іонізуючих випромінювань відбуваються при значно менших енерговитратах, ніж при застосуванні традиційних хімічних реагентів і дозволяють отримати унікальні органічних сполуки. Як правило, іншими шляхами це здійснити неможливо.

Метою досліджень, що обговорюються в доповіді, є встановлення технологічної ефективності радіаційних процесів руйнування зв'язків в органічних сполуках опромінюваної сировини і створення на їх основі нових технологій виробництва продуктів з молюсків без додаткових хімічних добавок чи механічної і хімічної обробки. В дослідження доведена виражена ефективність радіаційно-хімічного стимулювання процесів деструкції м'язових волокон молюсків, які відбуваються при взаємодії мегавольтних електронів з органічною матерією. Наведено результати досліджень радіаційно-стимульованих ефектів в біологічній сировині. Показано, що використання певних доз радіаційної обробки рапани, восьминогів та кальмарів сприяє зменшенню щільності їх тканин, покращенню органолептичних показників та безпеки споживання.

Дослідження здійснюються на науково-технологічній установці в ІЯД НАН України з прискорювачем електронів 4 МеВ. В доповіді показано методики радіаційної обробки сировини, наведено дані про характеристики та особливості технологічного устаткування для таких досліджень.

Оцінено енергетичні показники нових технологій.

ОЦІНКА РІВНЯ ФРАГМЕНТАЦІЇ ДНК У ТВАРИН З ПЕРЕЩЕПЛЕНОЮ КАРЦИНОМОЮ ГЕРЕНА ПІСЛЯ ТРИВАЛОЇ ФРАКЦІОНОВАНОЇ ДІЇ ЕКЗОГЕННИХ ОКСИДІВ АЗОТУ ТА МАЛИХ ДОЗ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ

І. І. Музальов, В. М. Михайленко

*Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології
ім. Р.Є. Кавецького НАН України, Київ*

Вивчали вплив окремої та комбінованої дії екзогенних оксидів азоту (ОА) та малих доз іонізуючої радіації (МДІР) на формування розривів ДНК у лімфоцитах периферичної крові щурів методом лужного гелелектрофорезу ізольованих клітин на різних етапах розвитку карциноми Герена (КГ).

До перещеплення КГ щурів піддавали інгаляційній дії ОА (150 мг/м³ повітря, 14 год на добу) протягом 30 днів та/або МДІР (10 разів по 0,1 Гр, 1 опромінення на 3 доби). Дослідження окремої та комбінованої дії факторів проводили як в нормі, так і за розвитку КГ, коли визначення ступеня фрагментації ДНК проводили на 12 та 18 добу росту пухлини.

Перещеплення та ріст КГ не супроводжувались достовірним збільшенням рівня пошкодження ДНК. Однак, за окремої дії ОА та МДІР пошкодження ДНК збільшилось у 2,2 та 2,7 рази на 12 добу розвитку пухлин, а на 18 добу цей показник зріс у 2,9 та 3,3 рази порівняно з контролем, відповідно. За комбінованої дії ОА та МДІР перевищення рівня пошкодження ДНК на 12 добу складало 340 %, а на 18 добу – 400 %, що перевищувало ефект від окремої дії чинників 1,2 – 1,6 рази, відповідно.

Таким чином, попередній вплив ОА і МДІР викликає стійкий генотоксичний ефект з наростанням пошкоджень ДНК у тварин з КГ після закінчення безпосередньої дії факторів. За комбінованої дії факторів спостерігався адитивний ефект, який зростав при розвитку пухлинного процесу.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ АКТИВНОСТІ β-ВИПРОМІНЮВАЧІВ НИЗЬКОЇ АКТИВНОСТІ ЧОРНОБИЛЬСЬКОГО ПОХОДЖЕННЯ

М. Д. Бондарьков¹, М. В. Желтоножська², А. І. Липська²,
В. І. Ніколаєв², М. В. Стрільчук²

¹ Міжнародна радіоекологічна лабораторія Чорнобильського центру з проблем
ядерної безпеки, радіоактивних відходів та радіоекології, Славутич
² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ β-ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НИЗКОЙ АКТИВНОСТИ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

М. Д. Бондарьков¹, М. В. Желтоножская², А. И. Липская²,
В. И. Николаев², Н. В. Стрильчук²

¹ Международная радиозэкологическая лаборатория Чернобыльского центра по про-
блемам ядерной безопасности, радиоактивных отходов и радиозэкологии, Славутич
² Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Основными компонентами β-спектров проб Чернобыльского происхождения являются излучения электронов изотопов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr. Активность этих элементов определяется программой обработки спектров достаточно точно при активности ⁹⁰Sr > 10 Бк. При низких активностях ⁹⁰Sr < 10 Бк, большую роль играет вклад β-активности природного изотопа ⁴⁰K, β-спектр которого близок по форме к β-спектру ⁹⁰Sr+⁹⁰Y, что приводит к 50 % - 100 % ошибке результата.

Для обработки спектров проб низких активностей нами разработана методика определения β-активностей элементов ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁴⁰K, которая позволяет точно определить вклад каждого элемента в общую активность образца. Для калибровки спектрометра использовались калибровочные образцы ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁴⁰K, β-спектры которых вписывались в β-спектр исследуемой пробы. Контроль активности ⁴⁰K, в образцах осуществлялся по γ-линии (1461 кэВ) и из β-спектра, и если наблюдалось расхождение результата по β- и γ-спектрам, то оно учитывалось.

СТАН КРОВОТВОРНОЇ СИСТЕМИ ТВАРИН В УМОВАХ ДІЇ МАЛИХ ДОЗ РАДІАЦІЇ ТА НІТРОЗАТИВНОГО СТРЕСУ НА РІЗНИХ СТАДІЯХ РОСТУ КАРЦИНОМИ ГЕРЕНА

Н. К. Родіонова, Б. І. Геращенко, Л. І. Маковецька, О. Б. Ганжа,
Н. М. Рябченко, О. А. Главін, В. М. Михайленко

Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології
ім. Р.Є. Кавецького НАН України, Київ

Проведено дослідження змін стану системи крові у щурів, яким після тривалої дії фракціонованого опромінення в сумарній дозі 1,0 Гр (R), інга-

ляцій оксидів азоту (ОА), та їх комбінації була перещеплена карцинома Герена (КГ). Обстеження тварин проведено після закінчення дії зовнішніх чинників і на 12 та 18-ту добу розвитку КГ.

Виявлено, що за умов попередньої дії малих доз радіації відбувається більш інтенсивне прогресування пухлинного росту на фоні прискореного виснаження компенсаторно-захисних можливостей кровотворення. Встановлено, що в стадії прогресії КГ відмічається зниження кількості стовбурових клітин (за Till et McCulloch), порушення співвідношення між окремими пулами кровотворення в залежності від ступеню їх диференціювання, значний нейтрофіліоз в периферичній крові при паралельному зменшенні кількості лімфоцитів. Вираженість процесів залежить від розмірів пухлин. За сумісної дії R та ОА спостерігається ефект зниження радіаційного ураження кровотворення. В даній групі тварин кількість клітин стовбурового пулу була на 30 % більшою відносно групи R, кількість еритроцитів зберігалась на високому рівні, не відмічено лімфопенії. На відміну від окремої дії малих доз радіації, при їх поєднанні з ОА не відмічено достовірного прискорення темпів пухлинного росту. В термінальній стадії КГ спостерігалось виснаження стовбурових потенцій кровотворення у тварин усіх груп.

ОСОБЛИВОСТІ КЛІТИННОЇ БІОЕНЕРГЕТИКИ ЛІМФОЦИТІВ ПЕРИФЕРИЧНОЇ КРОВІ У ДІТЕЙ-МІШКАНЦІВ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

Є. І. Степанова, О. М. Литвинець

ДУ “Науковий центр радіаційної медицини НАМН України”, Київ

Чорнобильська катастрофа призвела до забруднення радіонуклідами величезних територій України. Порушення екологічної цілісності природи досягло колосальних розмірів та реально погрожує здоров'ю людської популяції, особливо найбільш чутливої її частини – дітям.

У дітей, які проживають на територіях, забруднених радіонуклідами, спостерігається погіршення здоров'я. Механізми виникнення несприятливих медикобіологічних наслідків Чорнобильської катастрофи недостатньо з'ясовані та широко дискутуються в науковій літературі.

Відомо, що інкорпорація радіонуклідів призводить до активації процесів вільнорадикального окислювання, які на тлі зниження активності антиоксидантної системи призводять до ураження клітинних мембран, руйнування їх структури, пошкодження інтрацелюлярних органел, зокрема мітохондрій, які є найважливішими енергоутворюючими структурами клітини. При цьому порушується виробіток енергії та розвивається вторинна мітохондріальна дисфункція, яка відноситься до хвороб клітинної біоенергетики.

У віддалений період Чорнобильської катастрофи обстежено 179 дітей-мішканців радіоактивно забруднених територій. Вміст ¹³⁷Cs у їх організмі

коливався у широкому діапазоні - від 407 до 42476 Бк.

За допомогою цитохімічних методів у лімфоцитах периферичної крові визначалась активність дегідрогеназ сукцинату (СДГ), лактату (ЛДГ), малату (МДГ), β -оксибутирату (БДГ), глутамату (ГДГ), мітохондріального (α -ГФДГ) та гіалоплазменого (α -ГФДГ·НАД) компонентів α -гліцерофосфатного шунта, НАДН₂- і НАДФН₂-дегідрогеназ.

Ультраструктура клітин крові та їх поверхнева архітектоніка досліджувались за допомогою методів трансмісійної та скануючої електронної мікроскопії.

Встановлено, що у віддалений період Чорнобильської катастрофи у дітей, які мешкають на забруднених територіях, в $16,74 \pm 1,84$ % мітохондрій виявляються зміни ультраструктури: помірне набрякання мітохондрій із просвітленням матриксу, розширенням міжкристних проміжків, фрагментацією і дезорганізацією крист набряклих мітохондрій.

Відмічено виражений анізоцитоз і пойкилоцитоз еритроцитів, збільшення числа клітин, форма яких значно відрізнялася від дискоїдної - перехідних, предгемолітичних та дегенеративно змінених, що вказує на передчасне старіння еритроцитів і є фактором ризику анемічних станів.

Спостерігалось зниження енергоутворення у мітохондріях з компенсаторним підсиленням гліколітичних процесів, більш активним залученням до енергоутворення ліпідів та білків і спрямуванням потоку електронів переважно з цитозолу до мітохондрій, що свідчить про наявність мітохондріальної дисфункції.

Клінічна картина порушень клітинної біоенергетики характеризувалася надзвичайним розмаїттям проявів та симптомів, які можна об'єднати у 4 провідні симптомокомплекси: астено-невротичний, астено-вегетативний, кардіально-м'язової та імунодефіцитний.

Визначено залежність активності дегідрогеназ у лімфоцитах периферичної крові від вмісту ¹³⁷Cs в організмі.

Розроблені математичні моделі, які характеризують ці залежності.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ БІОАНТИОКСИДАНТІВ ТВАРИННОГО І РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ ДЛЯ КОРЕКЦІЇ СТАНУ ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОЇ СИСТЕМИ В РІЗНИХ ОРГАНАХ ЩУРІВ ПРИ ДІЇ ІОНІЗУВАЛЬНОЇ РАДІАЦІЇ

Н. О. Фролова¹, Л. П. Дерев'янку²

¹Національний фармацевтичний університет, Харків

²ДУ "Науковий центр радіаційної медицини АМН України", Київ

Завдяки дослідженням останніх років встановлено, що у формуванні радіаційно-індукованих змін у життєво важливих системах організму, зумовлених впливом іонізуючого випромінювання, найважливіша роль нале-

жить активації процесів вільнорадикального окислення та підвищенню рівня активних окиснених продуктів у тканинах опроміненого організму. Згідно з сучасними уявленнями, за нормального фізіологічного стану ці процеси врівноважуються за допомогою ферментативних та неферментативних систем антиоксидантного захисту, але за умов опромінення виснаження резервів антиоксидантної системи стає однією з тих патогенетичних ланок, через які реалізується ушкоджувальна дія радіації. Останнім часом одним з пріоритетних напрямків досліджень є пошук ефективних і загальнодоступних засобів природного – рослинного (олія зародків пшениці) та тваринного (Біполан ТУ) походження, здатних запобігати інтенсивному радикалоутворенню чи сприяти кращій мобілізації власних систем захисту організму.

У даній роботі здійснено спробу системної оцінки складових балансу ПОЛ і АО захисту (Δ (ПОЛ - АО)) у різних органах щурів за умов дії іонізуючого випромінювання в різних дозах із залученням широкого спектру показників та дослідження взаємозв'язку між складовими балансу з використанням методу евристичного концептуального моделювання (ЕКМ). Подібний оригінальний підхід дозволить виявити неявно виразний при вивченні звичайних параметрів позитивний ефект застосування олії зародків пшениці та Біполану, та встановити низку закономірностей перебігу процесів. Також зроблена спроба скласти формули стану окремих органів за допомогою коефіцієнтів діагностичної цінності, що у свою чергу, дозволить визначити найбільш значущі параметри для кожного органу. Такий підхід уявляється досить перспективним для розробки методів експрес-оцінки ступеня пошкодження органів за умов дії випромінювання.

Таким чином, комплексне дослідження стану антиоксидантної системи і вмісту продуктів перекисного окислення ліпідів в органах і тканинах опромінених тварин та при корекції порушень має важливе значення при вивченні механізмів розвитку патологічних процесів. Це дасть змогу виявити ті ланки в патогенезі захворювань, діючи на які можна попередити чи, хоча б, сповільнити розвиток патологічного процесу в організмі.

РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ДОЗ ВНУТРІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ В ЗОНІ ПОСИЛЕНОГО РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОГЕННИХ ЕФЕКТІВ ВНУТРІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ ОРГАНІЗМУ (^{137}Cs) В ЕКСПЕРИМЕНТІ

Г. М. Чоботько, Ю. М. Пісковий, Л. А. Райчук

Інститут агроекології і природокористування НААН, Київ

Оцінка дозових навантажень сільського населення забруднених радіонуклідами територій в результаті аварії на ЧАЕС свідчить, що головною в структурі річної дози опромінення є доза внутрішнього опромінення. З

1992 р. відзначається збільшення вмісту інкорпорованого радіоцезію в організмі людини, що зумовлено практичним згоранням контрзаходів з профілактики внутрішнього опромінення внаслідок економічного спаду в країні, і як наслідок вживання населенням місцевих продуктів.

У зв'язку з цим нами були проведені дослідження впливу природних (лучна, лісова) та напівприродних екосистем на формування доз внутрішнього опромінення населення в зоні посиленого радіоекологічного контролю. З огляду на ці обставини важливі й актуальні оцінювання і прогнозування впливу природних і напівприродних екосистем на особливості сезонного розподілу дозових навантажень серед населення зони радіоекологічного контролю у віддалений період після аварії на ЧАЕС (2003 - 2010 рр.) внаслідок міграції радіонуклідів (^{137}Cs) харчовими ланцюгами «рослина - людина», «рослина - тваринна продукція - людина» та моделювання їх радіогенних ефектів в організмі.

У роботі представлено результати довготривалих досліджень розподілу дозового навантаження на населення зони радіоекологічного контролю на прикладі типового для Українського Полісся селища Рагівка Київської області у віддалений період (2003 - 2010 рр.) після аварії на Чорнобильській АЕС. Ймовірність отримання населенням зони радіоекологічного контролю дози внутрішнього опромінення понад 0,2 мЗв в осінній період порівняно з весняним значно зростає, що свідчить про важливе значення у формуванні дози внутрішнього опромінення використання продуктів харчування походженням з лучної та лісової екосистем. Встановлено загальну тенденцію до зниження з роками частоти більших значень дозових навантажень за ^{137}Cs у населення.

На основі модельного експерименту внутрішнього опромінення (^{137}Cs) травоїдних тварин (кролів) проведено аналіз динаміки та фактичного вмісту ^{137}Cs в органах експериментальних тварин. Дослідженням радіогенних ефектів впливу ^{137}Cs на організм встановлено, що внутрішнє опромінення (у визначених дозах щодо населення) призводить до характерного збільшення продуктів перекисного окиснення ліпідів, порушення обміну мінеральних речовин, зниження активності ряду ферментів: лактатдегідрогенази, малатдегідрогенази, ізоцитратдегідрогенази та порушення азотистого обміну, що вказує на суттєвий вплив інкорпорованого радіонукліда (200 кБк) на обмін речовин.

ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА НАДХОДЖЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У РОСЛИННИЦЬКУ ПРОДУКЦІЮ ПРИВАТНИХ ГОСПОДАРСТВ ЗОНИ ПОСИЛЕНОГО РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Г. М. Якименко, Г. П. Паньковська, В. М. Кучма, Г. М. Чоботько

Інститут агроекології і природокористування НААН, Київ

Землі північних районів Київської області належить до зони посиленого радіоекологічного контролю – з щільністю забруднення ґрунту ізотопами цезію від 1,0 до 5,0 Кі/км².

За сучасних умов виробництва на радіоактивно забруднених землях понад 90 % картоплі, 75 % овочів і 60 % молока виробляють у приватних господарствах і споживається безпосередньо населенням. Основними шляхами надходження радіонуклідів в овочеву продукцію у віддалений період після аварії на Чорнобильській АЕС є поливна вода та ґрунти, що містять радіонукліди.

Інтенсивність надходження радіоактивних елементів у рослини визначається їх біологічними особливостями, а також екологічними умовами вирощування – агрохімічними характеристиками ґрунту, складом поливної води, тощо. Тому постала необхідність дослідження радіологічних властивостей поверхневих та підземних джерел, як основних шляхів використання води населенням для споживання та поливу рослин, що вирощуються на присадибних ділянках.

Аналіз результатів щодо небезпеки забруднення овочевої продукції ¹³⁷Cs засвідчив що підземні джерела не становлять загрози через відсутність забруднювача (питома активність води за ¹³⁷Cs становить < 0,01 Бк/дм³), але зберігається потенційна загроза надходження радіонуклідів в рослинну продукцію із поверхневих водних джерел під час повеней та паводків.

Для агроекологічних ландшафтів Київського Полісся найбільш характерними є дернові ґрунти різного ступеня опідзоленості, що характеризуються значною міграційною здатністю радіоактивних елементів та подальшим накопиченням їх у рослинах. Забруднення ґрунту ¹³⁷Cs має плямистий характер. У зв'язку з цим вміст ¹³⁷Cs на території населених пунктів різниться в десятки разів. Гама-фон на всіх дослідних ділянках коливався від 9 - 21 мкР/год, а щільність забруднення ґрунтів ¹³⁷Cs складала від 21 кБк/м² (0,7 Кі/км²) до 85кБк/м² (2,3 Кі/км²).

Різниця у накопиченні ¹³⁷Cs овочами обумовлена біологічними особливостями культур. При однаковій щільності забруднення дерново-підзолистих супіщаних ґрунтів перехід ¹³⁷Cs може різнитися до 10 разів. В окремі роки при загальній тенденції зниження переходу ¹³⁷Cs в культури певне значення має вплив погодних умов.

Таким чином, прогноз ступеня забруднення с-г продукції носить орієнтовний характер, однак дозволяє спланувати об'єм необхідних робіт

(контрзаходів) для забезпечення зменшення переходу радіонуклідів у продукцію і намітити шляхи використання забрудненої продукції за умови перевищення допустимих нормативів (ДР-2006).

ІДЕНТИФІКАЦІЯ СЕРЕДНЬОВІЧНОГО ЛІКАРСЬКОГО ЗАСОБУ, ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ТА РЕГІОНУ ЙОГО ПОХОДЖЕННЯ

**С. О. Воронов¹, Т. І. Довбуш², Л. Іоаннучі³, С. С. Нагорний⁴,
С. Нісі³, М. Й. Поволоцький⁵, С. М. Романенко⁶,
В. В.Скрипник⁷, Л. М. Степанюк²**

¹ *Департамент підводної спадщини Інституту археології НАН України, Київ*

² *Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка, Київ*

³ *Національна підземна лабораторія Гран Сассо, Італія*

⁴ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

⁵ *Інститут органічної хімії НАН України, Київ*

⁶ *Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона, Київ*

⁷ *Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України
та МНС України, Київ*

У 2010 р. під час підводно-археологічної експедиції в акваторії Чорного моря на глибині близько 130 м було виявлено дерев'яний затонулий корабель з великим вантажем амфор, дерев'яна конструкція якого гарно збереглася. Для ідентифікації підводної знахідки проводилося обстеження як за допомогою ТПА «Софокл-1», так і глибоководними водолазами. Після багатьох спроб у розпорядженні археологів опинилися чотири амфори, дерев'яний фрагмент конструкції корабля та шкіряний фрагмент корку амфори. В одній з амфор об'ємом 3,5 л при детальному обстеженні виявилися залишки невідомої крихкої речовина темно-червоного кольору масою близько 80 г. З метою максимально-повної ідентифікації невідомої речовини, визначення її призначення, часу та регіону її походження були проведені комплексні аналітичні дослідження, що включали хімічний аналіз, ІФ-спектроскопію, ЯМР, електронну мікроскопію з РФА, датування по ¹⁴C (радіовуглецеве датування), маспектрометричні дослідження елементного складу та домішок, комбіновану рідкісну хроматографію з маспектрометричними вимірюваннями, визначення ізотопних співвідношень для свинцю. Визначений період походження (час виготовлення) невідомої речовини з ймовірністю 68% лежить в інтервалі 1300-1420 рр. н.е.. Було детально проаналізовано хімічний склад речовини та існуючі домішки. Зокрема, виявилось, що у досліджуваній речовині аномально високий вміст срібла (600 ppm). Це дозволило зробити припущення, що або окремі компоненти речовини підготовлювалися (подрібнювалися/перетиралися) у срібній ступці срібним товкачиком, або для дезінфекції у амфору з досліджуваною речовиною вкладався срібний предмет. В залежності від концентрації U та Th, а також геологічного віку мінералів, що утворюють ґрунт,

співвідношення між ізотопами свинцю $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ та $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ приймають певні незмінні значення, що притаманні лише цій місцевості, тому вимірювання ізотопних співвідношень свинцю дозволяє визначити регіон (місцевість) походження речовини. Саме вимірюючи ізотопні співвідношення свинцю було визначено найбільш імовірний регіон походження досліджуваної речовини – регіон Тоскана (Італія). Мас-хроматографічний аналіз продемонстрував складний багатокомпонентний склад речовини, та підтвердив гіпотезу про її лікарське або косметологічне призначення, оскільки в складі цього лікарського засобу виявлено вітамін А, бітулін, живиця, стероїди. Всі перераховані компоненти й сьогодні входять до складу засобів для лікування та догляду шкіри. Більш детальні дослідження попередньо-ідентифікованого середньовічного лікарського засобу тривають.

Проведені комплексні аналітичні дослідження показали перспективність такого підходу до ідентифікації невідомих речовин, визначення часу та регіону їх виготовлення.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА РАДІОФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ В ІНСТИТУТІ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН УКРАЇНИ

**В. А. Агеєв, Л. К. Бездробна, І. М. Вишневський,
В. В. Тришин, В. М. Шевель**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ В ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАН УКРАИНЫ

**В. А. Агеев, Л. К. Бездробная, И. Н. Вишневский,
В. В. Тришин, В. Н. Шевель**

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Потребности ядерной медицины в Украине удовлетворяются за счёт поставок радиофармпрепаратов (РФП) из Польши, Республики Узбекистан, России, Чехии, к тому же не в полной мере из-за высокой стоимости импортной продукции. В связи с этим в ИЯИ НАН Украины в последние годы активизированы работы по организации серийного производства РФП, которые наиболее широко используются в радиологических отделениях медицинских учреждений Украины. Это натрия пертехнетат- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – наиболее важный препарат для диагностики опухолей разных локализаций и не опухолевых патологий организма, натрия йодид (^{131}I) – препарат, который используется при диагностике и терапии рака щитовидной железы и его метастазов. Оба соединения в последующем смогут использоваться для введения $^{99\text{m}}\text{Tc}$ и ^{131}I в разные другие препараты.

^{99m}Tc получают как дочерний продукт распада ^{99}Mo , который образуется в результате ядерной реакции радиационного захвата $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$ при облучении обогащённого или природного молибдена нейтронами реактора ВВР-М. Максимальная плотность потока нейтронов – $6 \cdot 10^{13} \text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$.

Разработана технология получения натрия пертехнетата- ^{99m}Tc со стационарного централизованного экстракционного генератора в “горячих” камерах исследовательского реактора. Централизованный генератор состоит из: центробежного экстрактора, оборудования для фасовки, контроля качества препарата и узла упаковки готовой продукции в транспортные контейнеры. В медицинские учреждения будет поставляться готовый к использованию элюат натрия пертехнетата- ^{99m}Tc в герметично закрытых флаконах с активностью 4-12 ГБк согласно требованиям клиники. Эта технология рассчитана на обеспечение клиник г. Киева и Киевской области.

В лаборатории радионуклидов и РФП для получения натрия пертехнетата- ^{99m}Tc разработан портативный генератор $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ для использования в медицинских учреждениях всей Украины. Рабочим материалом генератора служит Mo-Zr-гель, который синтезируется с использованием ^{99}Mo , полученного при облучении природного оксида молибдена нейтронами реактора. Установка синтеза геля позволяет переработать за один цикл до 20 г оксида молибдена. Элюирование генератора изотоническим раствором хлорида натрия осуществляется вакуумированными флаконами, которые размещаются в защитном контейнере. Генератор обеспечивает элюирование до 70 % ^{99m}Tc в 10 мл элюата.

Основные физико-химические свойства натрия пертехнетата- ^{99m}Tc собственного производства изучали в сравнении с препаратом производства фирмы POLATOM по стандартным методикам.

При внутривенном введении лабораторным кролям растворов натрия пертехнетата- ^{99m}Tc показано, что испытанные препараты отвечают требованиям на отсутствие пирогенов.

Для наработки ^{131}I для РФП натрия йодида использовали облучение металлического теллура тепловыми нейтронами.

Разработано одностадийную технологию выделения ^{131}I из металлического теллура термографическим методом. Выход ^{131}I из материала мишени превышает 70 %. В процессе отделения ^{131}I от теллура в приёмном сосуде образуется готовый препарат (натрия йодид), физико-химические параметры которого отвечают требованиям Европейской Фармакопеи.

В исследованиях на лабораторных крысах показана идентичность фармакокинетики РФП наработанных в ИЯИ и соответствующих референтных препаратов производства POLATOM, что подтверждает их биоэквивалентность.

На данный момент разработаны проекты технического и технологического регламентов производства РФП – растворов натрия йодида (^{131}I) и натрия пертехнетата- ^{99m}Tc со стационарного централизованного генератора и производства портативных генераторов $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$; проекты фармако-

пейных статей; стандартные операционные процедуры для проведения контроля качества продукции и микробиологического контроля производственных помещений; нормативно-техническая документация на изготовление конструкций портативного генератора технеция и защитного контейнера для РФП натрия йодида (^{131}I) и транспортных упаковок к ним. Заканчивается реконструкция радиохимической лаборатории согласно требованиям GMP.

Работа проводится при поддержке гранта CNCP.

РАДІОПРОТЕКТОРНІ ВЛАСТИВОСТІ ГУМАТУ НАТРІЮ В ALLIUM-ТЕСТІ

В. М. Шкарупа

ДУ «Науковий центр радіаційної медицини НАМН України», Київ

Одним з важливих шляхів підвищення загальної радіорезистентності є використання адаптогенів природного походження. Це обумовлено тим, що більшість відомих синтетичних радіопротекторів променевих уражень є токсичними, що обмежує їх застосування. Серед добре відомих адаптогенів природного походження особливу увагу привертають гумінові речовини. Ці високополімерні сполуки змінного складу, містяться в ґрунтах, торфах, бурому та окисленному вугіллі, сапропелях, ґрунтових та поверхневих водах та ін., що обумовлює їх широке розповсюдження в біосфері. Унікальні властивості цих фізіологічно активних сполук обумовили широкий спектр їх застосування: від традиційної медицини до нанотехнологій.

Досліджували радіопротекторні властивості гумату натрію, щодо цитогенетичних ефектів рентгенівського опромінення в клітинах кореневої меристеми проростків насіння Allium сера L. Опромінене у дозі 10 Гр насіння цибулі пророщували в розчині гумату натрію у концентрації 100 мг/л. Частота аберантних ана-телофаз при дії опромінення становила $9,05 \pm 0,87$ %. Пророщування опроміненого насіння в розчині гумату натрію призводило до вірогідного зменшення рівня радіаційно-індукованого мутагенезу в клітинах Allium сера L. на 51,27 %. Крім підвищення частоти аберацій хромосом, дія опромінення призводила до вірогідного зменшення мітотичного індексу та дезінтеграції пулу мітотичних клітин. Радіопротекторний ефект гумату натрію характеризувався стабілізуючим впливом й на процеси клітинного поділу. Значення мітотичного індексу та розподілу клітин по фазах мітозу при пророщуванні опроміненого насіння в розчині гумату натрію не відрізнялись від аналогічних показників в контролі.

ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ЕФЕКТИ В ЛІМФОЦИТАХ ПЕРИФЕРИЧНОЇ КРОВІ ОСІБ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ ДІЇ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ ВНАСЛІДОК АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС І ЗАХВОРИЛИ НА РАК ЩИТОПОДІБНОЇ ЗАЛОЗИ

**Л. В. Неумержицька, В. М. Шкарупа,
С. В. Клименко, Ю.В. Антоненко**

ДУ «Науковий центр радіаційної медицини НАМН України», Київ

Спостерігається певна тенденція взаємозв'язку підвищеного рівня цитогенетичних змін із захворюваністю на рак щитоподібної залози. Найбільш чітко це показано для дітей, опромінених під час аварії на ЧАЕС, в т.ч. внутрішньоутробно. Разом з тим данні щодо рівня цитогенетичних пошкоджень в лімфоцитах периферичної крові дорослих хворих на РЩЗ є на сьогодні неоднозначними.

Було досліджено частоту і спектр хромосомних аберацій в лімфоцитах периферичної крові в групі дорослих осіб, які зазнали дії іонізуючої радіації внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС і захворіли на рак щитоподібної залози. Цитогенетичний аналіз проведено для 10 осіб (учасники ліквідації аварії на ЧАЕС та евакуйовані) з діагнозом папілярна карцинома. Дослідження здійснювали до початку протипухлинної терапії, коли цитогенетичний статус клітин ще не було “скомпрометовано” хіміопроменевим втручанням, на основі тест-системи культури лімфоцитів периферичної крові (рутинне забарвлення). Контрольну групу становили здорові донори (6 осіб), які проживають в м. Київ та не зазнавали впливу іонізуючої радіації.

Встановлено, що середньогрупова частота абераційних лімфоцитів та частота аберацій в лімфоцитах хворих на рак щитоподібної залози вірогідно не відрізняються від аналогічних показників контрольної групи і не перевищують значення верхньої межі середньо-популяційного спонтанного рівня. В спектрі пошкоджень хромосом переважали аберації хроматидного типу, вірогідних відмінностей між групами за цим показником не встановлено. Індивідуальних відмінностей значень досліджених цитогенетичних параметрів також не виявлено. Разом з тим, виявлено, що здатність до ФГА-стимульованої бласттрансформації лімфоцитів периферичної крові у хворих на рак щитоподібної залози є вірогідно меншою, ніж в контролі, що може свідчити про порушення функціональної активності лімфоцитів у досліджених осіб з цією онкопатологією.

ДИНАМІКА ВІЛЬНОРАДИКАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ У ТВАРИН З КАРЦИНОМОЮ ГЕРЕНА ПІСЛЯ ТРИВАЛОГО ВПЛИВУ ОКСИДІВ АЗОТУ ТА ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

**Л. І. Маковецька, О. Б. Ганжа, Н. К. Родіонова,
М. О. Дружина, В. М. Михайленко**

*Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології
ім. Р.Є. Кавецького НАН України, Київ*

У віддалені терміни після Чорнобильської аварії на перший план виступають дослідження біологічних ефектів малих доз радіації, які можуть посилюватися в результаті їх взаємодії з активними ксенобіотиками оточуючого середовища. При цьому розвиток низки патологій реалізується шляхом порушення інтенсивності вільнорадикального окиснення у тканинах живих організмів.

В роботі досліджували окисний метаболізм після перещеплення карциноми Герена (КГ) на фоні попереднього впливу оксидів азоту (ОА) та малих доз іонізуючої радіації. Розвиток пухлини з часом інгібує (на 12-ту добу на 35%, а на 18-ту – на 51%) окисні процеси у клітинах кісткового мозку. При перещепленні пухлини після нітрозативного стресу, генерація супероксиду на 18-ту добу пригнічувалась на 63%, тоді як за дії радіації та її сумісної дії з ОА генерація супероксиду не зазнавала значних змін. Гепатоцити більш чутливо реагують на перещеплення КГ.

При вивченні прооксидантно-антиоксидантного співвідношення в крові тварин з перещепленою КГ відмічали зниження його рівня з ростом пухлини. Подібна залежність спостерігається і при дослідженні кінцевого продукту пероксидного окиснення ліпідів – малонового діальдегіду. Це може свідчити про те, що в організмі з розвитком патологічного процесу активуються системи антиоксидантного захисту. В клітинах же КГ відмічена, навпаки, інтенсифікація окисного метаболізму в термінальний період росту пухлини.

Таким чином, показники окисного метаболізму відображають як вплив зовнішніх чинників на організм (радіації та ОА), так і ріст перещепленої КГ після дії зазначених факторів.

Наукове видання

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
XIX ЩОРІЧНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
Інституту ядерних досліджень НАН України**

24 - 27 січня 2012 р.
Київ, Україна

Тези публікуються в авторській редакції

Комп'ютерна верстка *О. Д. Григоренко, Ю. М. Степаненко*

Підп. до друку 19.01.2012. Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 10,5.
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.