

**Национальная академия наук Украины**  
**Национальный научный центр**  
**«Харьковский физико-технический институт»**  
**Институт физики высоких энергий и ядерной физики**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**  
**XVII КОНФЕРЕНЦИИ**  
**ПО ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ И**  
**ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ**

26-29 марта 2019 г.

Харьков

Харьков

## СОДЕРЖАНИЕ

### Пленарное заседание 1. Физика ядра и элементарных частиц Plenary meeting 1. Nuclear and elementary particle physics

УЧАСТИЕ ННЦ ХФТИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ CMS НА БОЛЬШОМ АДРОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ Е.С. Горбенко, К.А. Клименко, А.А. Куров, Л.Г. Левчук, С.Т. Лукьяненко, В.Ф. Попов, А.С. Приставка, Д.В. Сорока .....	14
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МНОЖЕСТВЕННЫХ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ НА СРЕДНИХ И ТЯЖЕЛЫХ ЯДРАХ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ИНТЕРВАЛЕ ОТ МАКСИМУМА ГДР ДО ПОРОГА РОЖДЕНИЯ МЕЗОНОВ Н.И. Айзацкий, О.А. Бесшейко, А.Н. Водин, Л.А. Голинка-Бесшейко, А.С. Деев, И.Н. Каденко, В.А. Кушнир В.В. Митроченко, С.Н. Олейник, О.А. Репихов, Б.И. Шраменко, С. Vallerand .....	15
ВИВЧЕННЯ ПЕРЕРІЗУ РЕАКЦІЇ $^{144}\text{Sm}(\gamma, n)^{143\text{m}}\text{Sm}$ В ІНТЕРВАЛІ ЕНЕРГІЙ 10...18 МеВ В.М. Мазур, З.М. Біган, П.С. Деречкей, О.М. Турховський .....	16
ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕРІЗІВ $(\gamma, n)$ РЕАКЦІЙ НА $p$ -ЯДРАХ $^{120}\text{Te}$ , $^{136}\text{Ce}$ В ОБЛАСТІ ПІАНТСЬКОГО Е1-РЕЗОНАНСУ В.М. Мазур, З.М. Біган, П.С. Деречкей .....	17

### Секция 1. Фундаментальные исследования при промежуточных и высоких энергиях Session 1. Fundamental research at intermediate and high energies

ВЛИЯНИЕ СИЛЫ СПАРИВАНИЯ НА ОПИСАНИЕ ЗАРЯДОВЫХ РАДИУСОВ ИЗОТОПОВ K <sub>r</sub> , Sr, Zr, Mo и Ru В ПРИБЛИЖЕНИИ НЕРЕЛЯТИВИСТСКОГО И РЕЛЯТИВИСТСКОГО СРЕДНЕГО ПОЛЯ В.Н. Тарасов, В.И. Куприков, В.В. Пилипенко, Д.В. Тарасов .....	18
ОПИС ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО ПЕРЕРІЗУ ПРУЖНОГО РОЗСІЯННЯ ПРОТОНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БАГАТОЧАСТИНКОВИХ ПОЛІВ І.В. Шарф, Н.О. Чудак, Д.А. Пташинський, О.С. Потієнко, К.К. Меркотан, К.А. Крутоголова .....	18
V-TAGGING AND SEARCHES FOR NEW PHYSICS BEYOND THE STANDARD MODEL T. V. Obikhod, E. A. Petrenko .....	19
В-ТЭГГИНГ И ПОИСКИ НОВОЙ ФИЗИКИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ Т.В. Обиход, Е.А. Петренко .....	19
МОДЕРНИЗАЦІЯ ВИЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ННЦ ХФТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА CMS С БОЛЬШОГО АДРОННОГО КОЛЛАЙДЕРА К.А. Клименко, А.А. Куров, Л.Г. Левчук, А.С. Приставка, Д.В. Сорока .....	20
ОЦЕНКА ФОНОВЫХ ВКЛАДОВ В АНАЛИЗЕ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА CMS С ЦЕЛЬЮ ПОИСКА СЛЕПТОНОВ И ЧАРДЖИНО ПО КОНЕЧНЫМ СОСТОЯНИЯМ С ДВУМА ПРОТИВОПОЛОЖНО ЗАРЯЖЕННЫМИ ЛЕПТОНАМИ Л.Г. Левчук, С.Т. Лукьяненко .....	21
РЕАКЦІЯ $^{14}\text{N}(\gamma, \alpha \alpha^6\text{Li})$ ПРИ $E_\gamma^{\text{max}} = 150$ МэВ С.Н. Афанасьев .....	22
ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ АЛЬФА-ЧАСТИЦ А.А. Беляев, Л.Г. Левчук, А.А. Луханин, Ал. А. Луханин, В.Ф. Попов, Е.А. Споров .....	23

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПЛАСТИЧЕСКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ Л.Г. Левчук, Александр А. Луханин, В.Ф. Попов . . . . .	23
ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА РАДИАЦИОННО-СТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ А.Ю. Бояринцев, Н.З. Галунов, Б.В. Гринев, Н.Л. Караваева, А.В. Креч, Л.Г. Левчук, В.Ф. Попов. . .	24
ФОТОРАСЩЕПЛЕНИЕ ЯДРА ${}^4\text{He}$ ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ ФОТОНАМИ В ОБЛАСТИ ГИГАНТСКОГО РЕЗОНАНСА А.А. Перетяцько, Р.Т. Муртазин, А.Ф. Ходячих . . . . .	25
МОДЕРНИЗАЦІЯ СЕТЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ І ВНЕШНЬОЇ СВ'ЯЗИ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ВИЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ННЦ ХФТИ ДЛЯ ОБРОБОТКИ ДАНИХ ЕКСПЕРИМЕНТА SMS А.А. Куров, К.А. Клименко, Л.Г. Левчук, А.С. Приставка, Д.В. Сорока . . . . .	25
МОДЕРНИЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНИТОРИНГУ І УЧЕТА ІСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ УКРАИНСКОЙ ГРИД-ІНФРАСТРУКТУРИ К.А. Клименко, Л.Г. Левчук, А.А. Куров, А.С. Приставка .	26
АНАЛИЗАТОР ПОЛЯРИЗАЦІЇ НЕЙТРОНІВ НА ОСНОВЕ ПОЛЯРИЗОВАНОГО ${}^3\text{He}$ А.А. Беляев, А.А. Луханин, А.Ал. Луханин, Е.А. Споров . . . . .	27
РАСПАД ХИГГСОВСКОГО БОЗОНА НА ПАРУ ТАУ ЛЕПТОНОВ І ПРОМЕЖУТОЧНИЙ ВЕКТОРНИЙ Z-БОЗОН В РАМКАХ ЕФЕКТИВНОЇ ТЕОРІЇ ПОЛЯ СТАНДАРТНОЇ МОДЕЛІ В.А. Ковальчук, А.Ю. Корчин . . . . .	27
КРИТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ А.В. Бабич, В.Ф. Клепиков . . . . .	28
ОПИСАНИЕ $pA$ -РАССЕЯНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ МНОГОКРАТНОГО ДИФРАКЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ДИРАКОВСКОГО ПРОТОНА В.В. Пилипенко, В.И. Куприков, В.Н. Тарасов . . . . .	28
СХЕМИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИЙ ОТКЛИКА А.Ю. Буки, И.С. Тимченко . . . . .	29
ОЦЕНКА РАЗМЕРА $\alpha$ -КЛАСТЕРА В ЯДРАХ ${}^6,7\text{Li}$ А.Ю. Буки, И.С. Тимченко . .	30
СРАВНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ДВУХФОТОННОГО И ОДНОФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНА В УМЕРЕННО СИЛЬНОМ ЛАЗЕРНОМ ПОЛЕ В.Н. Недорешга . . . . .	31
ПОЛЯРИЗАЦІЯ ТОП КВАРКА В ЕЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЇ АННІГІЛЯЦІЇ ПРИ ЕНЕРГІЇ КОЛЛАЙДЕРА SLIC І.В. Трутьєв, А.Ю. Корчин. . . . .	31
ХВИЛЬОВА ФУНКЦІЯ ДЕЙТРОНА ДЛЯ ПОТЕНЦІАЛУ ARGONNE V18 ТА БОРНІВСЬКІ ЗНАЧЕННЯ ВЕКТОРНИХ І ТЕНЗОРНИХ АСИМЕТРІЙ В ЕЛЕКТРОН-ДЕЙТРОННОМУ РОЗСІЯННІ В.І. Жаба . . . . .	32
ОДЕРЖАННЯ ФАЗОВОЇ, АМПЛІТУДНОЇ ТА ХВИЛЬОВОЇ ФУНКЦІЙ ДЛЯ ПОТЕНЦІАЛУ ARGONNE V18 ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ФАЗОВИХ ФУНКЦІЙ В.І. Жаба . . . . .	32
ГЕНЕРАЦІЯ НЕЙТРОНІВ НА МІКРОТРОНІ М-10 І.І. Гайсак, В.О. Мартишичкін, О.Г. Окунєв, О.М. Фрадкін. . . . .	33
ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРІВ ПАРНО-ПАРНИХ ІЗОТОПІВ ЗАЛІЗА В АДАБАТИЧНОМУ НАБЛИЖЕННІ В.В. Гриньов, Р.М. Плекан, В.Ю. Пойда . . .	33
ДАНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КОНСТАНТ РАСПАДА ЯДЕР ${}^{212,213,214}\text{Po}$ О.Д. Петренко . . . . .	34

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ ІОНАМИ He <sup>+</sup> НА ТИПИ ПОШКОДЖЕНЬ ТАНАЛОВИХ ПОКРИТТІВ В.В. Бобков, Л.П. Тищенко, Ю.І. Ковтуненко, Ю.Є. Логачов, О.Б. Цапенко, А.О. Скрипник, Л.О. Гамаюнова, І.С. Махотка . . . . .	35
НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ОПЕРАТОРОВ СПИНА И ОРБИТАЛЬНОГО МОМЕНТА Т.В. Загоскин. . . . .	35
МЕХАНИЗМЫ РОЖДЕНИЯ ПАР ТОП И АНТИ-ТОП КВАРКОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ УЛЬТРАРЕЛЯТИВИСТСКИХ ПРОТОНОВ В.В. Котляр, А.С. Сафронов. . . . .	36
РОЖДЕНИЕ БОТТОМ КВАРКОВ, МЕЗООНОВ И БАРИОНОВ В РАССЕЯНИИ ПРОТОНОВ ЯДРАМИ В.В. Котляр, Р.М. Тимченко. . . . .	37

**Секция 2. Ядерно-физические методы в смежных науках**  
**Session 2. Nuclear methods in allied sciences**

ИНДЕКСЫ ОТБОРА У DROSOPHILA MELANOGASTER ПОСЛЕ ОСТРОГО $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИЯ Д.А. Скоробогатько, А.А. Мазилков. . . . .	38
ПОЛИКОНДЕНСАЦИЯ МЕТИЛЭТИЛКЕТОНА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ РАДИОФАРМПРЕПАРАТА <sup>99m</sup> Tc А.И. Азаров, В.А. Бочаров . . . . .	38
МЕЧЕНИЕ ГЛЮКОЗЫ ИЗОТОПОМ <sup>11</sup> C КАК СРЕДСТВО ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОФАРМПРЕПАРАТА «ГЛЮКОЗА, <sup>11</sup> C» А.Н. Довбня, Р.Н. Дронов, В.А. Кушнир, В.В. Митроченко, С.А. Пережогин, Л.И. Селиванов, В.А. Шевченко, Б.И. Шрамченко . . . .	39
КАЛИБРОВКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ШИРОКОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ И.В. Пилипчинец, О.А. Парлаг, В.Т. Маслюк, В.М. Головей, А.И. Лендъел, Й.Й. Гайниш, Г.Ф. Питченко, А.Н. Турховский, М.В. Гошовский . . . . .	39
КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ СТИМУЛЯЦИИ РЕАКЦИИ ФОТОДЕЛЕНИЯ ЯДЕР АКТИНИДОВ Е.В. Олейников, И.В. Пилипчинец, О.А. Парлаг, В.Т. Маслюк, А.И. Лендъел, Й.Й. Гайниш, Г.Ф. Питченко, А.Н. Турховский . . . . .	40
ГАРМОНІЗАЦІЯ ЗНАЧЕНЬ ЯДЕРНИХ КОНСТАНТ ПРИ РОЗРАХУНКУ ЛАНЦЮГІВ РАДІОАКТИВНОГО РОЗПАДУ З ПІДВИЩЕНОЮ ТОЧНІСТЮ О.М. Поп, К.С. Шарохін, В.Т. Маслюк, А.А. Саєнко. . . . .	40
РАДІАЦІЙНА ПОГОДА ТА РАДІАЦІЙНА ІДЕНТИЦАКЦІЯ ДОВКІЛЛЯ ЯК НОВІ ПОНЯТТЯ СУЧАСНОЇ РАДІОЕКОЛОГІЇ Н.І. Сватюк, В.Т. Маслюк, О.І. Симканич . . . . .	41
ФОТОЯДЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО Tc-99m ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАНОЧАСТИЦ МОЛИБДЕНИТА Н.П. Дикий, Н.В. Красносельский, Ю.В. Ляшко, Е.П. Медведева, Д.В. Медведев, В.Л. Уваров, И.Д. Федорец. . . . .	42
ТЕСТ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ ДОЗЫ <sup>153</sup> Sm-ОКСАБИФОРА ПРИ ЛЕЧЕНИИ БОЛЬНЫХ С КОСТНЫМИ МЕТАСТАЗАМИ Н.П. Дикий, Ю.В. Ляшко, Е.П. Медведева, Д.В. Медведев, А.В. Грушка, О.И. Паскевич, О.Н. Астафьева. . . . .	42
ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСХОДНЫХ И АКТИВИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ СОРБЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ Н.П. Дикий, Ю.В. Ляшко, Е.П. Медведева, Д.В. Медведев, Ю.Г. Пархоменко, В.Л. Уваров, И.Д. Федорец. . . . .	43
ИЗОТОПНОЕ ОТНОШЕНИЕ <sup>44</sup> Ca/ <sup>48</sup> Ca ПРИ ТРАВМАТИЧЕСКОМ НИЖНЕЧЕЛЮСТНОМ ОСТЕОМИЕЛИТЕ Н.П. Дикий, С.Н. Григоров, Ю.В. Ляшко, Е.П. Медведева, Д.В. Медведев, Л.П. Рекова, И.Д. Федорец . . . . .	43

РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕСЯТИЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА ОСТЕОПЕНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ У ДЕТЕЙ ВОСТОЧНОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ Н.П. Дикий, Ю.В. Ляшко, Е.П. Медведева, Д.В. Медведев, Т.А. Пархоменко, В.Л. Уваров, И.Д. Федорец, Т.В. Фролова, И.Р. Синяева, Н.Ф. Стенковая, И.И. Терещенкова. . .	44
ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД НАНОТЕХНОЛОГИИ, УВЕЛИЧИВАЮЩИЙ ВРЕМЯ ХРАНЕНИЯ ДОНОРСКОЙ КРОВИ ЗА СЧЕТ СТАБИЛИЗАЦИИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ БЕЛКОВ И ЛИПИДОВ МЕМБРАН КОНСЕРВИРОВАННЫХ ЭРИТРОЦИТОВ Е.П. Березняк, Е.П. Медведева, Ю.С. Ходырева, А.Н. Белоусов, Е.Ю. Белоусова, Е.И. Малигон, В.В. Яворский . .	44
ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ СОРБЦИИ ЦЕЗИЯ И СТРОНЦИЯ Н.П. Дикий, Ю.В. Ляшко, Е.П. Медведева, Д.В. Медведев, В.Л. Уваров, И.Д. Федорец . . . . .	45
ОЦІНКА ВПЛИВУ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН МЕТАЛУ ГЦТ ДУ-850 АЕСУ С.В. Гоженко, В.В. Петухов, І.М. Шаповал. . . . .	45
ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ И $\gamma$ -КВАНТАМИ НА СТРУКТУРУ ПРИРОДНЫХ КВАРЦИТОВ Е.П. Березняк, Н.П. Дикий, И.В. Колодий, Ю.В. Ляшко, А.В. Мазилоч, Ю.С. Ходырева. . . . .	46
НАКОПИЧЕННЯ МЕДИЧНОГО РАДІОНУКЛІДУ $^{103}\text{Pd}$ ПРИ ВЗАСМОДІІ ПРОТОНІВ ТА ДЕЙТРОНІВ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ІЗОТОПАМИ СРІБЛА (ПРОПОЗИЦІЯ) С. Карпусь, Є. Скакун. . . . .	46
ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ ФОТОЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ $^{114}\text{Sn}(\gamma, n)^{113}\text{Sn}$ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ $\gamma$ -ПРОЦЕССА ЗВЁЗДНОГО НУКЛЕОСИНТЕЗА А.В. Чеховская, Е.А. Скакун, И.Л. Семисалов, В.И. Касилов . . . . .	47
ФОТОАКТИВАЦІЯ ЛАНТАНОІДІВ ТОРМОЗНИМ ІЗЛУЧЕННЯМ С ЕНЕРГІЄЙ 12,5 МэВ ДЛІА ПОЛУЧЕННЯ $\text{Yb-175}$ И $\text{Sm-153}$ Н.П. Дикий, Н.В. Красносельский, Ю.В. Ляшко, Е.П. Медведева, Д.В. Медведев, В.Л. Уваров, И.Д. Федорец. . . . .	48
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КИСЛОРОДА С ПОВЕРХНОСТЬЮ СПЛАВА-НАКОПИТЕЛЯ ВОДОРОДА $\text{LaNi}_5$ И.И. Оксенюк, В.А. Литвинов, Д.И. Шевченко, В.В. Бобков. . . . .	49
ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗРАСТА УРАНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАЛИБРОВКИ ПО «ВНУТРЕННЕЙ» ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕТЕКТОРА Д.Д. Бурдейный, Д.В. Кутный, С.А. Ванжа, А.А. Захарченко . . . . .	49
СЕЧЕНИЕ И АСИММЕТРИЯ СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ $^{12}\text{C}(\gamma, p)^{11}\text{B}$ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 55...62 МэВ Д.Д. Бурдейный, В.Б. Ганенко, J. Brudvik, K. Fissum, K. Hansen, L. Isaksson, K. Livingston, M. Lundin, B. Nilsson, B.Schroder. . . . .	50

**Пленарное заседание 2. Ядерно-физические методы в области атомной энергетики, промышленности и медицины**

**Plenary meeting 2. Nuclear physics methods in the field of nuclear energy, industry and medicine**

IN-LINE PHASE CONTRAST IMAGING (PCI) FOR MATERIAL SCIENCE A.I. Kul'ment'ev, A.V. Polishchuk. . . . .	51
--	----

РЕНТГЕНІВСЬКИЙ ФАЗОВИЙ КОНТРАСТ (РФК) НА ОСНОВІ ВІЛЬНОГО ПОШИРЕННЯ ДЛЯ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА О.І. Кульментаєв, А.В. Поліщук . . .	51
НАПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ННЦ ХФТИ С.Н. Утенков, Н.П. Дикий, А.С. Качан, Н.А. Кочнев, И.В. Кургуз, В.В. Селокова, Е.А. Скакун, К.В. Шебеко, В.Н. Бондаренко, А.Н. Морозов, В.И. Журба, В.И. Сухоставец . . . .	52
УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ РЕАКТОРА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ РАДИАЛЬНОГО РЕФЛЕКТОРА НЕЙТРОНОВ М.С. Маловица, В.В. Пилипенко, С.П. Фомин, Н.Ф. Шульга. . . . .	53

**Секция 3. Физические и экологические вопросы эксплуатации и модернизации ядерно-физических установок. Структура ядра в реакциях на заряженных частицах, нейтронах и гамма-квантах**

**Section 3. Physical and Environmental problems of operation and modernization of nuclear facilities. Nuclear structure in charge particles, neutron and photon reactions**

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЯПУ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ» А.В. Мазилев . . . . .	54
СОДЕРЖАНИЕ ВРЕДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ННЦ ХФТИ А.В. Мазилев, В.Н. Ткаченко, Ю.А. Гордиенко, В.Я. Никулина . . . .	54
СТРУКТУРА И ПОЛНАЯ СИЛА МАГНИТНОГО ДИПОЛЬНОГО РЕЗОНАНСА НА ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЯХ В ЯДРЕ $^{22}\text{Na}$ А.С. Качан, И.В. Кургуз, С.Н. Утенков . . . . .	55
РАЗРАБОТКА, АНАЛИЗ И МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА ПИКОВ В $\gamma$ -СПЕКТРАХ А.Ю. Бережной, Ю.В. Ляшко. . . . .	56
АКТИВАЦИЯ ИЗОТОПНЫХ МИШЕНЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ НА ЛУ-40 НИК «УСКОРИТЕЛЬ» А.Н. Водин, А.С. Деев, С.Н. Олейник . . . . .	56
ДЕФОРМАЦИЯ АТОМНОГО ЯДРА КАК НЕСОРАЗМЕРНАЯ ФАЗА В ТЕОРИИ ЛАНДАУ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВТОРОГО РОДА А.Н. Водин, Л.П. Корда, В.Ю. Корда. . . . .	57
ОБРАЗОВАНИЕ ИЗОМЕРНЫХ ПАР В РЕАКЦИИ $^{115}\text{In}(\gamma, 3n)^{112m}\text{gIn}$ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ ОТ 31 ДО 93 МЭВ О.А. Бесшейко, А.Н. Водин, Л.А. Голинка-Бесшейко, И.Н. Каденко, А.В. Котенко, В.А. Кушнир, Т.В. Повар, В.В. Митроченко, С.Н. Олейник, С.А. Пережогин, Б.И. Шраменко, С. Vallerand. . . . .	57
ИЗОМЕРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ ДЛЯ ПРОДУКТОВ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ С МНОЖЕСТВЕННЫМ ВЫЛЕТОМ НЕЙТРОНОВ НА ИЗОТОПАХ СУРЬМЫ О.А. Бесшейко, А.Н. Водин, Л.А. Голинка-Бесшейко, И.Н. Каденко, А.В. Котенко, В.А. Кушнир, Т.В. Повар, В.В. Митроченко, С.Н. Олейник, С.А. Пережогин, Б.И. Шраменко, С. Vallerand. . . . .	58
МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ СЕЧЕНИЙ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ НА ЛУ-40 ННЦ ХФТИ А.Н. Водин, А.С. Деев, С.Н. Олейник . . . . .	58
ИЗОМЕРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ ДЛЯ ПРОДУКТОВ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ $(\gamma, 5n)$ И $(\gamma, 7n)$ НА ИНДИИ О.А. Бесшейко, А.Н. Водин, Л.А. Голинка-Бесшейко, И.Н. Каденко, А.В. Котенко, В.А. Кушнир, Т.В. Повар, В.В. Митроченко, С.Н. Олейник, С.А. Пережогин, Б.И. Шраменко, С. Vallerand. . . . .	59

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ВЫЧЕТОВ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ 30...100 МэВ А.Н. Водин, А.С. Деев, С.Н. Олейник. . . . .	60
ФАЗОВИ ПЕРЕХОДИ 2-ГО РОДУ ПРИ ПОДЛІ АКТИВНИХ ЯДЕР В.Т. Маслюк, О.О. Парлаг, М.І. Романюк, О.І. Лендсл. . . . .	60
ПАРЦІАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА ПРОТОНОВ И РАДИАЦИОННЫЕ СИЛОВЫЕ ФУНКЦИИ В НЕЧЕТНО-НЕЧЕТНЫХ ЯДРАХ $pf$ -ОБОЛОЧКИ С.Н. Утенков, К.В. Шебеко . . . . .	61
ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ДАННЫХ ПО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ СЕЧЕНИЯМ ( $p, \gamma$ )-РЕАКЦИИ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ БАЗЫ IBANDL С.Н. Утенков, В.Н. Бондаренко, В.И. Сухоставец, К.В. Шебеко. . . . .	61
РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО СТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПИТАНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНЫХ НАСОСОВ Н.А. Кочнев, С.Н. Утенков, А.Н. Морозов, В.И. Журба, В.В. Селюкова. . . . .	62
ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ДЕЙТЕРИЯ В ГИДРИДНЫХ ФАЗАХ ЦИРКОНИЯ А.Н. Морозов, В.И. Журба, Н.А. Кочнев, В.В. Селюкова, С.Н. Утенков. . . . .	62
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ В КАЧЕСТВЕ ИМИТАТОРОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЗАКТИВИРУЮЩИХ СРЕДСТВ И СОРБЕНТОВ ФИЛЬТРОВ ВОЗДУХООЧИСТКИ В.В. Левенец, А.Ю. Лонин, А.П. Омельник, И.В. Шевченко, А.А. Щур. . . . .	63
ОТРИМАННЯ ПУЧКІВ $H^+$ ТА $H_2^+$ З ДЖЕРЕЛА ТИПУ ПЕННІНГА С. Карпусь, В. Кузьменко, Л. Глазунов, Р. Муртазин. . . . .	63
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКОВ НЕЙТРОНОВ С РАСТВОРАМИ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ А.Ю. Буки, С.П. Гоков, В.Н. Горбач, Ю.Г. Казаринов, С.Г. Карпусь, С.А. Каленик, В.В. Кантемиров, В.И. Касилов, С.С. Кочетов, Е.А. Люхтан, Е.В. Рудычев, М.А. Хажмурадов, В.В. Цяцько, Е.В. Цяцько, О.А. Шопен, О.И. Ярьсько. . . . .	64
РОЗРОБКА СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ ПОТОКІВ НЕЙТРОНІВ НА ЛІНІЙНОМУ ПРИСКОРЮВАЧІ ЕЛЕКТРОНІВ С. Гоков, В. Горбач С. Каленик, Ю. Казарінов, С. Карпусь, В. Касілов, С. Кочетов, Е. Люхтан, В. Цяцько, Е. Цяцько, О. Шопен О. Ярьсько, В. Кантеміров. . . . .	65
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ А. Буки, С. Гоков, С. Каленик, Ю. Казаринов, С. Карпусь, В. Касилов, Е. Рудычев, М. Хажмурадов, В. Цяцько, Е. Цяцько . . . . .	65
АНАЛИЗ РАБОТЫ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЛУЭ-300 В 2018 ГОДУ И ПРОГРАММА ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ А.Ю. Буки, С.П. Гоков, С.А. Каленик, Ю.Г. Казаринов, С.Г. Карпусь, В.И. Касилов, В.Г. Кириченко, С.С. Кочетов, Г.И. Ледовской, Ю.П. Ляхно, Л.Д. Салий, И.Л. Семисалов, А.В. Твердохвалов, И.С. Тимченко, В.М. Хвастунов, В.В. Цяцько, Е.В. Цяцько, О.А. Шопен. . . . .	65
МАКЕТ ДЖЕРЕЛА ШВИДКИХ, ТЕПЛОВИХ ТА ЕПТЕПЛОВИХ НЕЙТРОНІВ ДЛЯ НЕЙТРОНЗАХВАТНОЇ ТЕРАПІЇ С. Гоков, С. Каленик, С. Карпусь, В. Касілов, С. Кочетов, В. Цяцько, Е. Цяцько, О. Шопен . . . . .	66

ВЫХОДЫ ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ ОТ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ МИШЕНИ ИЗ ДЕЛЯЩЕГОСЯ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В НЕЙТРОННОЙ И НЕЙТРОНОЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ С. Гоков, С. Каленик, С. Карпусь, В. Касилов, С. Кочетов, В. Цяцько, Е. Цяцько О. Шопен . . . . .	66
---	----

**Секция 4. Компьютерные технологии в физических исследованиях**

**Session 4. Computer technologies in physical research**

COMPLEXITY IN THE ASSESSMENT OF THE CONFORMITY OF THE SYSTEM OBJECT WITH THE EXAMPLE OF "ORGANISM – THE ENVIRONMENT" Т.В. Козуля, М.М. Козуля . . . . .	67
КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ЯКІСНОМУ СТАНУ СИСТЕМОГО ОБ'ЄКТА НА ПРИКЛАДІ «ОРГАНІЗМ – НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ» Т.В. Козуля, М.М. Козуля . . . . .	68
ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНЕРЦИАЛЬНЫЙ ТЕРМОЯД В.А. Тарасов, С.А. Чернеженко, В.П. Смоляр, С.И. Косенко . . . . .	68
СПЕКТРЫ НЕЙТРОНОВ В УРАН-УГЛЕРОДНЫХ СРЕДАХ И УРАН-УГЛЕРОДНОЕ ДИСПЕРСИОННОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ НАДТЕПЛООВОГО ВОЛНОВОГО РЕАКТОРА В.А. Тарасов, С.А. Чернеженко, В.П. Смоляр, А.А. Какаев . . . . .	69
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ЗАМЕДЛЕНИЯ НЕЙТРОНОВ В ТЕРМОЯДЕРНОЙ ПЛАЗМЕ В.А. Тарасов, С.А. Чернеженко, В.П. Смоляр . . . . .	70
МЕТОДИ ОТРИМАННЯ НЕЙТРОНОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ С.І. Прохорець, С.В. Рудичев, М.А. Хажмурадов . . . . .	70
МОДЕЛЮВАННЯ РАДІАЦІЙНО-ЗАХИСНИХ КОНТЕЙНЕРІВ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЇХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ЗАХОРОНЕННІ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ Є.В. Рудичев, С.І. Прохорець, Д.В. Федорченко, М.А. Хажмурадов . . .	71
КОЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ САПР СТЕЛЛАТОРНЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ С.А. Мартынов, А.А. Лучанинов, В.П. Лукьянова, М.А. Хажмурадов . .	71
ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АКТУАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ М.А. Хажмурадов, В.П. Лукьянова, И.В. Хасамбиев, Л.К. Хаджиева . . . . .	72
TARGET OPTIMIZATION METHOD FOR MOLYBDENUM-99 PRODUCTION A. Tsechanski, D.V. Fedorchenko . . . . .	72
МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ МІШЕНІ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МОЛІБДЕНУ-99 А. Цеханській, Д.В. Федорченко . . . . .	73
СОЗДАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ БИБЛИОТЕК КЛАССОВ, СФОРМИРОВАННЫХ ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА АБСТРАКТНЫХ КЛАССОВ И ЧИСТЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ. В.А. Дудник, В.И. Кудрявцев, С.А. Ус, М.В. Шестаков . . . . .	73
АНАЛІЗ РАДІАЦІОННО-ЗАЩИТНИХ СВОЙСТВ ПОЛИСТИРОЛ-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ. Е.М. Прохоренко, В.В. Литвиненко, В.Ф. Клепиков, А.А. Захарченко, М.А. Хажмурадов . . . . .	74
MODIFICATION EFFECTS OF MICROSECOND HIGH CURRENT ELECTRON BEAM EXPOSURE ON TITANIUM VT22 ALLOY S.E. Donets, V.F. Klepikov, V.V. Lytvynenko, Yu.F. Lonin, A.G. Ponomarev, O.A. Startsev, R.I. Starovoytov, V.T. Uvarov. . . . .	74



МОДИФІКАЦІЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ ВТ22 ПІД ДІЄЮ ОПРОМІНЕННЯ МІКРОСЕКУНДНИМ СІЛЬНОСТРУМОВИМ ЕЛЕКТРОННИМ ПУЧКОМ С.Є. Донець, В.Ф. Клепиков, В.В. Литвиненко, Ю.Ф. Лонін, А.Г. Пономарьов, О.А. Старцев, Р.І. Старовойтов, В.Т. Уваров. . . . .	75
ЗАСТОСУВАННЯ РАДІАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ М.І. Базалєєв, В.В. Брюховецький, С.Є. Донець, В.Ф. Клепиков, В.В. Литвиненко, Ю.Ф. Лонін, А.Г. Пономарьов, Є.М. Прохоренко, О.А. Старцев, В.Т. Уваров. . . . .	75
ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЦНКИ ЯКОСТІ ОБ'ЄКТІВ З ВПРОВАДЖЕННЯМ ГРАФОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ Т.В. Козуля, М.О. Білова. .	76
САМОСОГЛАСОВАННИЙ АНАЛІЗ РЕЗОНАТОРОВ ГИРОТРОНОВ С КОНВЕРСИЕЙ МОД А.В. Максименко, В.И. Щербинин, В.И. Ткаченко. . . . .	76
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ МАТЕРИАЛЬНЫХ ТОЧЕК НА ГЛАДКИХ НЕ- ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ МНОГООБРАЗИЯХ В ЕВКЛИДОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ С.С. Зуб, В.В. Семенов, Н.И. Ляшко . . . . .	77
МОДЕЛЮВАННЯ РАДІАЦІЙНО-ІНДУКОВАНОЇ СЕГРЕГАЦІЇ В СПЛАВАХ Fe-Cr-Ni ПІД ДІЄЮ ІОННОГО ОПРОМІНЕННЯ Р.В. Скороход, О.В. Коропов, В.Л. Денисенко, В.Ю. Сторіжко. . . . .	78
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАВШИХ ТВЭЛОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЯ В РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ Е.Я. Банникова, А.С. Задворный, Т.В. Малыхина, А.Д. Мерная . . . . .	78
ТЕРМІЧНИЙ АНАЛІЗ КОНВЕРТОРА ГАЛЬМІВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА <sup>18</sup> F НА ЛІНІЙНОМУ ПРИСКОРЮВАЧІ ЕЛЕКТРОНІВ А.В. Тільний, Т.В. Малихіна . . . . .	79
МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И ТОРМОЗНЫХ ГАММА-КВАНТОВ В ТАНТАЛОВОМ КОНВЕРТЕРЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 36,7 МэВ В.В. Лисовская, Т.В. Малыхина, Я.А. Маляр. . . . .	79
ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ МАГНЕТРОННО- РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ЦИФРОВЫМИ СЪЕМОМ И ОБРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИИ И.А. Афанасьева, С.Н. Афанасьев, В.В. Бобков, В.В. Грицына, Ю.Е. Логачев, И.И. Оксенюк, А.А. Скрипник, Д.И. Шевченко. . . .	80
СЕЛЕКЦИЯ ПОТЕРЬ ОМИЧЕСКИМИ ПОТЕРЯМИ В ГОФРИРОВАННЫХ РЕЗОНАТОРАХ ГИРОТРОНА НА ВТОРОЙ ЦИКЛОТРОННОЙ ГАРМОНИКЕ Т.И. Ткачева, В.И. Щербинин, В.И. Ткаченко. . . . .	80
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ ПРАВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ НА КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ А.К. Курышкин, М.А. Хажмурадов . . . . .	81
ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ СЛУЖЕБНЫХ ИЗОБРЕТЕНИЙ В НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ОРГАНИЗАЦИЯХ А.К. Курышкин, М.А. Хажмурадов . . . . .	82
RADIONUCLIDE IDENTIFICATION THROUGH GAMMA-RADIATION SPECTRA: THEORY AND PRACTICE А.І. Skrypyuk, D.V. Fedorchenko, М.А. Khazhmuradov, V.V. Yehorov . . . . .	82
ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПО СПЕКТРАМ ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА А.И. Скрышник, Д.В. Федорченко, М.А. Хажмурадов, В.В. Егоров . . . . .	83

МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЛИЗА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ВОДНОЙ КОНВЕКЦИОННОЙ ПЕТЛЕ ННЦ ХФТИ ПОД ОБЛУЧЕНИЕМ НА УСКОРИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ ЛУЭ-10 М.И. Братченко, С.В. Дюльда . . . . .	84
---	----

**Пленарное заседание 3. Исследования и разработки ускорителей и накопителей заряженных частиц**

**Plenary meeting 3. Research and development of charged particles accelerators and storage rings**

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ 100 МэВ/100 кВ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ – ДРАЙВЕРА ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ» В 2018 ГОДУ А. Андреев, В. Андросов, А. Бездетко, А. Быхун, А. Выродов, П. Гладких, А. Гвоздь, А. Гордиенко, В. Гревцев, А. Зелинский, А. Золочевский, В. Ивашенко, А. Каламайко, И.И. Карнаузов, И.М. Карнаузов, В. Лященко, М. Моисеенко и др. . . . .	85
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ» Б.В. Борц, В.Т. Быков, А.В. Быхун, П.И. Гладких, А.Ю. Зелинский, И.М. Карнаузов, В.Н. Лященко, А.О. Мыщыков, В.Н. Ридозуб, В.Л. Стомин, И.В. Ушаков, В.М. Шершне . . . . .	85
УЧАСТОК ПРОИЗВОДСТВА НЕЙТРОНООБРАЗУЮЩИХ МИШЕНЕЙ ИЗ СПЛАВА УРАНА ДЛЯ ИСТОЧНИКА НЕЙТРОНОВ. Б.В. Борц, А.А. Вакуленко, А.Ф. Ванжа, И.А. Воробьёв, Л.И. Глущенко, М.П. Домнич, А.А. Лопата, И.М. Карнаузов, Е.В. Луценко, Ю.А. Марченко. . . . .	86

**Секция 5. Исследования и разработки ускорителей и накопителей заряженных частиц**

**Section 5. Research and development of charged particles accelerators and storage rings**

РЕЛЯТИВІСТСЬКИЙ ПІДХІД ДО ТУНЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОНІВ З КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИСКОРЮВАЧІВ С.О. Лебединський, Р.І. Холодов . . . . .	87
ВПЛИВ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНІ МЕТАЛУ НА СТРУМ ПОЛЬОВОЇ ЕМІСІЇ У ВИПАДКУ БАГАТОСТУПЕНЕВИХ БАРСРІВ І.І. Мусієнко, Р.І. Холодов . . . . .	87
МАГНЕТРОН С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ КАК ИСТОЧНИК ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО УСКОРИТЕЛЯ С.А. Черенщиков . . . . .	88
ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ ВЫСОКОВАКУУМНЫХ СТРУКТУР С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОБОЕВ В.А. Батурин, А.Ю. Карпенко, С.А. Ерёмин . . . . .	88
ИСТОЧНИК ИОНОВ ВОЛЬФРАМА П.А. Литвинов, В.А. Батурин, С.А. Пустовойтов, О.Ю. Роенко . . . . .	89
ИСПЫТАНИЕ И ПОДГОТОВКА К ВВОДУ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ 100 МэВ/100 кВт ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ –ДРАЙВЕРА ЯПУ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ» ННЦ ХФТИ А. Зелинский, Д. Тарасов, В. Лященко. . . . .	89

ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО СОСТАВА И МОЩНОСТИ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ» В.К. Волошин, И.М. Карнаухов, А.П. Масалитина, А.В. Невара, В.Л. Стомин, А.В. Тертычный, Г.Э. Туллер, И.В. Ушаков, В.О. Шпагина	89
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ВЫГОРАНИЕ УРАНОВОЙ МИШЕНИ ЯДЕРНОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ» Б.В. Борц, А.Ф. Ванжа, И.А. Воробьев, В.Т. Быков, А.В. Быхун, А.Ю. Зелинский, И.М. Карнаухов, А.А. Лопата, Е.В. Луценко, Ю.А. Марченко, А.О. Мыщыков, А.А. Пархоменко И.В. Паточкин, В.Н. Ридозуб, В.Л. Стомин, И.В. Ушаков, В.М. Шершнева	90
РЕЗУЛЬТАТЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПЕРСОНАЛА ЯПУ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ» В.К. Волошин, И.М. Карнаухов, А.П. Масалитина, А.В. Невара, В.Л. Стомин, И.В. Ушаков, В.О. Шпагина	91
ВИКОРИСТАННЯ $Pu$ - $Be$ ДЖЕРЕЛА ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ ДЕТЕКТОРІВ НЕЙТРОНІВ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РЕАКТИВНОСТІ ЯДЕРНОЇ ПІДКРИТИЧНОЇ УСТАНОВКИ «ДЖЕРЕЛО НЕЙТРОНІВ» В.Т. Биков, В.Л. Стомін, А.В Тертичний, Г.Е. Туллер, І.В. Ушаков	91
ПРОХОДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ НЕЙТРОНІВ КРИЗЬ КАБЕЛЬНУ ПРОХОДКУ ДЕТЕКТОРІВ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РЕАКТИВНОСТІ ЯПУ «ДЖЕРЕЛО НЕЙТРОНІВ» Г.Е. Туллер, А.В Тертичний, В.Л. Стомін	92
РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЯДЕРНОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ» В.К. Волошин, И.М. Карнаухов, А.В. Мазиллов, А.П. Масалитина, А.О. Мыщыков, А.В. Невара, В.Н. Ридозуб, В.Л. Стомин, И.В. Ушаков, В.О. Шпагина	92
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ $\gamma$ -АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ В ИСТОЧНИКАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ» В.К. Волошин, И.М. Карнаухов, И.М. Короткова, А.П. Масалитина, А.В. Невара, В.Л. Стомин, А.В. Тертычный, Г.Э. Туллер, И.В. Ушаков, В.О. Шпагина	93
ОРГАНИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЯДЕРНОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ» В.К. Волошин, И.М. Карнаухов, А.В. Мазиллов, А.П. Масалитина, А.В. Невара, В.Л. Стомин, И.В. Ушаков, В.О. Шпагина	93
ВАКУУМНЫЕ $CVD$ -ПОКРЫТИЯ $Ta$ НА $W$ -ПЛАСТИНАХ МИШЕНИ ИСТОЧНИКА НЕЙТРОНОВ Б.В. Борц, Ю.И. Поляков, С.Г. Руденький, Ю.В. Лукирский, И.А. Воробьев, А.А. Лопата	93
МЕХАНИЗМИ СТРУКТУРИВАННЯ І МАССОПЕРЕНОСА ВБЛИЗИ ГРАНИЦ РАЗДЕЛА РАЗНОРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ, СОЄДИНЯЄМОЇ В ТВЕРДОЇ ФАЗЕ Б.В. Борц, А.А. Пархоменко, І.А. Воробьев, А.А. Лопата, В.І. Ткаченко	94

## Секция 6. Физика и техника детекторов излучений

### Session 6. Physics and technics of radiation detectors

DESIGN-TECHNOLOGICAL ASPECTS OF HIGH GRANULARITY DETECTOR MODULES CREATION FOR PHYSICS EXPERIMENTS V. Borshchov, I. Tymchuk, M. Protsenko	95
---	----

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ ДЕТЕКТОРНИХ МОДУЛІВ ШАРІВ ВИСОКОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ДЛЯ ФІЗИЧНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ В.М. Боршов, І.Т. Тимчук, М.А. Проценко . . . . .	95
ОТКЛИК МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И МНОГОСЛОЙНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ В.Д. Рыжиков, Г.М. Онищенко, И.И. Якименко, С.В. Найденов, А.Д. Ополонин, С.В. Махота . . .	96
ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРОВ ОКРАСКИ В ОБЛУЧЕННОМ ЭЛЕКТРОНАМИ И ТОРМОЗНЫМИ ГАММА-КВАНТАМИ LiF В Т. Маслюк, Т.О. Виеру- Василица, И.Г. Мегела, О.М. Поп, О.А. Тарнай . . . . .	97
СОЗДАНИЕ ДЕТЕКТИРУЮЩЕГО МОДУЛЯ НА ОСНОВЕ НЕОХЛАЖДАЕМОГО Si ПЛАНАРНОГО ДЕТЕКТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПРОВОЛОЧНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ А. Лега, С.К. Киприч, Н.И. Маслов, С.М. Потин, М.Ю. Шулика, И.Н. Шляхов. . .	97
СПЕКТРОМЕТР НА ОСНОВЕ НЕОХЛАЖДАЕМОГО КРЕМНИЕВОГО ПЛАНАРНОГО ДЕТЕКТОРА Т.П. Васильев, С.К. Киприч, А.А. Каплий, Н.И. Маслов, В.Д. Овчинник, С.М. Потин, М.Ю. Шулика, В.И. Яловенко . . . . .	98
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКА ПЛАНАРНОГО КРЕМНИЕВОГО ДЕТЕКТОРА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ МОЩНОСТИ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ ОТ 5 кэВ до 10 МэВ В. Дубина, Н.И. Маслов, И.Н. Шляхов . . . . .	98

**Пленарное заседание 4. Физика и техника детекторов излучений,  
фундаментальные исследования процессов взаимодействия  
ультрарелятивистских частиц с монокристаллами и веществом**

**Plenary meeting 4. Physics and technics of radiation detectors. Basic  
research into the processes of interaction of ultrarelativistic particles with  
single crystals and matter**

MINIATURE PYROELECTRIC ACCELERATOR AND X-RAY SOURCE O.O. Ivashchuk, A.V. Shchagin, A.S. Kubankin, A.S. Cherpurnov . . . . .	99
МИНИАТЮРНЫЙ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ УСКОРИТЕЛЬ И ИСТОЧНИК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ О.О. Ивашук, А.В. Щагин, А.С. Кубанкин, А.С. Чепурнов . . . . .	99
PULSED PYROELECTRIC ACCELERATOR O.O. Ivashchuk, A.V. Shchagin, A.S. Kubankin, A.S. Cherpurnov . . . . .	100
ИМПУЛЬСНЫЙ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ УСКОРИТЕЛЬ О.О. Ивашук, А.В. Щагин, А.С. Кубанкин, А.В. Чепурнов. . . . .	100
PIEZOELECTRIC QUARTZ ACCELERATOR O.O. Ivashchuk, A.V. Shchagin, A.S. Kubankin, A.S. Cherpurnov, V.Yu. Ionidi, I.S. Nikulin . . . . .	101
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КВАРЦЕВЫЙ УСКОРИТЕЛЬ О.О. Ивашук, А.В. Щагин, А.С. Кубанкин, А.С. Чепурнов, В.Ю. Иониди, И.С. Никулин . . . . .	101
CERAMIC PIEZOELECTRIC TRANSFORMER IN VACUUM FOR PRODUCTION OF X-RAYS A.V. Shchagin, V.S. Miroshnik, V.I. Volkov, A.S. Kubankin, O.O. Ivashchuk, A.S. Cherpurnov . . . . .	101
КЕРАМИЧЕСКИЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ВАКУУМЕ А.В. Щагин, В.С. Мирошник, В.И. Волков, А.С. Кубанкин, О.О. Ивашук, А.С. Чепурнов . . . . .	102
SUPPLY OF CRYSTALLINE X-RAY RESONATOR BY DIFFRACTED TRANSITION X-RAY RADIATION OF RELATIVISTIC PARTICLES A.V. Shchagin	102

ПИТАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РЕЗОНАТОРА ДИФРАГИРОВАВШИМ ПЕРЕХОДНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ А.В. Щагин .....	103
SEMICONDUCTOR DETECTORS WITH SMOOTHLY TUNABLE THICKNESS IN SPACE RELATIVISTIC ELECTRON-PROTON TELESCOPE A.V. Shchagin ...	103
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ С ПЛАВНО УПРАВЛЯЕМОЙ ТОЛЩИНОЙ В КОСМИЧЕСКОМ ТЕЛЕСКОПЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ А.В. Щагин .....	104

**Секция 7. Фундаментальные исследования процессов взаимодействия ультррелятивистских частиц с монокристаллами и веществом**

**Session 7. Basic research into the processes of interaction of ultrarelativistic particles with single crystals and matter**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЯВЛЕНИЯ ДЕКАНАЛИРОВАНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛЕ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИХ ИЗЛУЧЕНИЯ Н.Ф. Шульга, В.И. Трутень .....	105
ВПЛИВ СИЛЬНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ ТА АНІЗОТРОПНОГО РОЗПОДЛУ ЕЛЕКТРОНІВ ЗА ШВИДКОСТЯМИ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ВТРАТИ ІОНА О.В. Хелемеля .....	105
ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО ІМПУЛЬСУ НА ПАРАМЕТРИ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В ДЖЕРЕЛАХ НА ЗВОТРОНМОМУ РОЗСІЮВАННІ КОМПТОНА О.А. Лебедь .....	106
О КОГЕРЕНТНОМ И НЕКОГЕРЕНТНОМ РАССЕЯНИИ БЫСТРЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В КРИСТАЛЛЕ Н.Ф. Шульга, В.Д. Корюкина .....	106
О ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТКЛОНЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ИЗОГНУТЫМ КРИСТАЛЛОМ ОТ ЭНЕРГИИ ЧАСТИЦ И.В. Кириллин, Н.Ф. Шульга .....	107
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСХОДИМОСТИ ПУЧКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ПО УГЛОВОЙ ПЛОТНОСТИ ДИФРАГИРОВАННОГО ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ВОЗБУЖДАЕМОГО ИМИ В ТОНКОЙ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ МИШЕНИ С.В. Блажевич, М.В. Бронникова, А.В. Носков .....	107
ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, ГЕНЕРИРУЕМОЕ ПУЧКОМ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЕ В НАПРАВЛЕНИИ ОСИ ПУЧКА С.В. Блажевич, Ю.А. Дрыгина, О.Ю. Шевчук, А.В. Носков .....	108
КОГЕРЕНТНОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, ВОЗБУЖДАЕМОЕ ПУЧКОМ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЕ В ГЕОМЕТРИИ РАССЕЯНИЯ БРЭГГА С.В. Блажевич, Р.А. Загороднюк, О.Ю. Шевчук, А.В. Носков .....	108
СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОНОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ И ПРОЗРАЧНОЙ СРЕДЕ И.А. Константинович, А.В. Константинович .....	109
О ВОЗМОЖНОСТИ КОГЕРЕНТНОГО УСИЛЕНИЯ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ БАНЧА ЭЛЕКТРОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ С.В. Трофименко, Н.Ф. Шульга .....	110

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛАНДАУ ДЛЯ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ КОРОТКОЖИВУЩИХ ЧАСТИЦ С.В. Трофименко .....	110
COOLED CdTe X-RAY DETECTOR FOR OBSERVATION OF IONIZATION LOSS OF 1 GeV ELECTRONS AT DESY A.V. Shchagin, A.S. Kubankin, R.M. Nazhmudinov, S.V. Trofymenko, A.P. Potylitsyn, A.S. Gogolev, N.A. Filatov, G. Kube, N.A. Potylitsina-Kube, M. Stanitzki R. Diener, A. Novokshonov .....	111
ОХЛАЖДАЕМЫЙ CdTe РЕНТГЕНОВСКИЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 1 ГэВ В DESY А.В. Шагин, А.С. Кубанкин, Р.М. Нажмудинов, С.В. Трофименко, А.П. Потылицын, А.С. Гоголев, Н.А. Филатов, Г. Кубе, Н.А. Потылицына-Кубе, М. Станицки, Р. Динер, А. Новокшонов .....	111
OBSERVATION OF TRANSITION RADIATION PEAK FROM 2.8 GeV ELECTRONS IN A MULTILAYER TARGET DIFFRACTED IN A SILICON PLATE A.V. Shchagin, A.S. Kubankin, R.M. Nazhmudinov, S.V. Trofymenko, A.P. Potylitsyn, A.S. Gogolev, N.A. Filatov, G. Kube, N.A. Potylitsina-Kube, M. Stanitzki, R. Diener, A. Novokshonov .....	112
НАБЛЮДЕНИЕ ПИКА ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 2,8 ГэВ В МНОГОСЛОЙНОЙ МИШЕНИ, ДИФРАГИРОВАВШЕГО В КРЕМНИЕВОЙ ПЛАСТИНЕ А.В. Шагин, А.С. Кубанкин, Р.М. Нажмудинов, С.В. Трофименко, А.П. Потылицын, А.С. Гоголев, Н.А. Филатов, Г. Кубе, Н.А. Потылицына-Кубе, М. Станицки, Р. Динер, А. Новокшонов .....	113
FORMATION REGION EFFECTS IN X-RAY TRANSITION RADIATION BY 1...6 GeV ELECTRONS IN MULTILAYER TARGETS OF DIFFERENT PERIOD A.V. Shchagin, A.S. Kubankin, R.M. Nazhmudinov, S.V. Trofymenko, A.P. Potylitsyn, A.S. Gogolev, N.A. Filatov, G. Kube, N.A. Potylitsina-Kube, M. Stanitzki, R. Diener, A. Novokshonov .....	113
ЭФФЕКТЫ ДЛИНЫ ФОРМИРОВАНИЯ В РЕНТГЕНОВСКОМ ПЕРЕХОДНОМ ИЗЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 1...6 ГэВ В МНОГОСЛОЙНЫХ МИШЕНЯХ РАЗЛИЧНОГО ПЕРИОДА Р.М. Нажмудинов, С.В. Трофименко, А.В. Шагин, А.С. Кубанкин, А.П. Потылицын, А.С. Гоголев, Н.А. Филатов, Г. Кубе, Н.А. Потылицына-Кубе, М. Станицки, Р. Динер, А. Новокшонов .....	114
PROPOSAL TO STUDY DIFFRACTED X-RAY TRANSITION RADIATION BY A “HALF-BARE” ELECTRON ON THE TEST-BEAM FACILITY AT DESY S.V. Trofymenko, N.F. Shul’ga, A.V. Shchagin, R.M. Nazhmudinov, A.S. Kubankin, A.P. Potylitsyn, A.S. Gogolev, N.A. Filatov, G. Kube, N.A. Potylitsina-Kube, M. Stanitzki, R. Diener, A. Novokshonov .....	115
ПРЕДЛОЖЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИФРАГИРОВАННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ «ПОЛУГОЛОГО» ЭЛЕКТРОНА НА ТЕСТОВОМ ПУЧКЕ DESY С.В. Трофименко Н.Ф. Шульга, А.В. Шагин, Р.М. Нажмудинов, А.С. Кубанкин, А.П. Потылицын, А.С. Гоголев, Н.А. Филатов, Г. Кубе, Н.А. Потылицына-Кубе, М. Станицки, Р. Динер, А. Новокшонов .....	115
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛНОГО КВАНТОВОГО СЕЧЕНИЯ РАССЕЯНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ТОНКИХ КРИСТАЛЛАХ И ЕГО СВЯЗЬ С ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКОЙ С.Н. Шульга, Н.Ф. Шульга .....	116

## Пленарное заседание 1. Физика ядра и элементарных частиц

### Plenary meeting 1. Nuclear and elementary particle physics

#### УЧАСТИЕ ННЦ ХФТИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ CMS НА БОЛЬШОМ АДРОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ

*Е.С. Горбенко, К.А. Клименко, А.А. Куров, Д.Г. Левчук, С.Т. Лукьяненко,  
В.Ф. Попов, А.С. Приставка, Д.В. Сорока*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

В декабре 2018 года завершился 2-й сеанс работы Большого адронного коллайдера (БАК), продолжавшийся с лета 2015 г. В течение 2-го сеанса БАК обеспечивалась рекордная энергия соударений для ускоренных в лабораторных условиях протонов –  $\sqrt{s} = 13$  ТэВ, а пиковая светимость коллайдера достигла величины  $2 \cdot 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , вдвое превысив соответствующее проектное значение. Удовлетворительная работа подсистем детектора CMS, равно как и всего комплекса БАК, позволили получить в эксперименте за 2018 г. рекордный годовой массив информации – выборку событий (зарегистрированных протон-протонных соударений), отвечающую интегральной светимости  $64 \text{ фбн}^{-1}$ . Массив полученных во 2-м сеансе БАК данных и его обработка позволили получить ряд новых результатов, важных для понимания фундаментальных свойств материи. С другой стороны, высокая интенсивность поступления информации с БАК повысила требования к распределенной системе, обеспечивающей обработку данных эксперимента CMS. Специализированный вычислительный комплекс (ВК) ННЦ ХФТИ является активным элементом этой системы, принимающим для обработки данные CMS, начиная с запуска БАК в 2009 году. Комплекс работает на 2-м ярусе (T2) иерархической грид-инфраструктуры WLCG/CMS, и его ресурсы используются для физического анализа накапливаемой в эксперименте информации, а также генерации событий CMS методом Монте-Карло. ОК ННЦ ХФТИ зарегистрирован в CMS с названием T2\_UA\_KIPT и является единственным на Украине T2-центром информационно-вычислительной инфраструктуры этого эксперимента. В течение последнего года удалось поддержать высокий уровень работы T2-центра T2\_UA\_KIPT. Объем информации, полученной в эксперименте CMS и переданной на комплекс T2\_UA\_KIPT для обработки, достиг 7 Петабайт, и более трети этого массива передано за последний год. Несмотря на трудности, обусловленные недостаточными дисковыми и вычислительными ресурсами (с несоответствием в  $\sim 2.5 - 3.5$  раза относительно требований CMS к T2-центрам эксперимента), удалось обеспечить высокое качество работы комплекса, определяемое степенью готовности к обработке экспериментальной информации. За последний год нами также был выполнен большой объем работ по физическому анализу данных, полученных в эксперименте CMS. Выполнен поиск SUSY-сигналов – процессов прямого образования пар слептонов и чарджино в протон-протонных соударениях при энергии 13 ТэВ. Массив обработанной выборки событий отвечает интегральной светимости  $35.9 \text{ фбн}^{-1}$

(полная выборка, полученная в эксперименте CMS за 2016 год). Отбирались события с большой величиной суммарного поперечного импульса всех зарегистрированных частиц и парой противоположно-заряженных лептонов ( $e^+e^-$ ,  $\mu^+\mu^-$  либо  $e\mu$ ) с достаточно большими поперечными импульсами. (Образование пар слептонов и чарджино относится к числу возможных процессов, порождающих такую сигнатуру.) С целью минимизации систематических неопределенностей рассмотрено несколько вариантов выполнения анализа, что позволило существенно расширить, по сравнению с предыдущими результатами, область исключения для масс искомых частиц. В рамках программы модернизации торцевых адронных калориметров детектора CMS выполнены работы по изучению радиационной стойкости сцинтиллятора SCSN-81 (Kugaгау), который составляет активные элементы этих калориметров. Сеансы облучения производились на линейном ускорителе электронов ННЦ ХФТИ ЛУЭ-10 с энергией пучка на выходе  $\sim 9$  МэВ. Получены новые данные о зависимости деградации световых выходов в сцинтилляторе SCSN-81 от скорости набора дозы. Выполнен сравнительный анализ поведения под действием высоких радиационных нагрузок (при облучении электронами) образцов SCSN-81 и других сцинтилляторов. После облучения всех исследуемых образцов до дозы 10 Мрад уменьшение световых выходов для них не превышало 50%.

Работа поддержана грантами, выделенными Национальной академией наук Украины (НАНУ) в рамках целевой комплексной программы «Грид-инфраструктура и грид-технологии для научных и научно-прикладных применений» и целевой программы научных исследований НАНУ «Фундаментальные исследования по физике высоких энергий и ядерной физике (международное сотрудничество)»

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МНОЖЕСТВЕННЫХ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ НА СРЕДНИХ И ТЯЖЕЛЫХ ЯДРАХ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ИНТЕРВАЛЕ ОТ МАКСИМУМА ГДР ДО ПОРОГА РОЖДЕНИЯ МЕЗОНОВ

*Н.И. Айзацкий<sup>1</sup>, О.А. Бешейко<sup>2</sup>, А.Н. Водин<sup>1</sup>, Л.А. Голинка-Бешейко<sup>2</sup>,  
А.С. Деев<sup>1</sup>, И.Н. Каденко<sup>2</sup>, В.А. Кушнир<sup>1</sup>, В.В. Митроченко<sup>1</sup>, С.Н. Олейник<sup>1</sup>,  
О.А. Репихов<sup>1</sup>, Б.И. Шраменко<sup>1</sup>, С. Vallerand<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>НИК «Ускоритель» ННЦ ХФТИ НАН Украины, г. Харьков;

<sup>2</sup>Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, г. Киев;

<sup>3</sup>Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL), Orsay, France

В настоящее время в физике ядра наблюдается значительный интерес к изучению множественных фотоядерных реакций на средних и тяжелых ядрах в энергетическом интервале от максимума ГДР до порога рождения мезонов ( $E \cong 15 \div 135$  МэВ). Это обусловлено тем, что данная область исследований имеет огромное как фундаментальное, так и прикладное значение. В ННЦ ХФТИ, совместно с Киевским национальным университетом имени Тараса Шевченко, сделан важный вклад в изучение этой проблемы.



Дальнейшее развитие этого направления в ННЦ ХФТИ будет связано с организацией на базе линейного ускорителя электронов ЛУЭ-40 НИК «Ускоритель» центра фотоядерных исследований, позиционирующий себя в качестве консолидирующего ядерно-физического инструмента, который позволит проводить совместные исследования с ведущими научными лабораториями, как в Украине, так и за рубежом.

На данный момент НИК «Ускоритель» имеет уникальный ускоритель ЛУЭ-40, обширную библиотеку высокообогащенных изотопов, набор прецизионных измерительных средств и методик, необходимых для получения новых экспериментальных данных, что, в свою очередь, будет способствовать поднятию престижа украинской ядерно-физической науки.

В докладе рассмотрены основные направления исследований множественных фотоядерных реакций на ядрах в диапазоне энергий тормозных  $\gamma$ -квантов  $E_{\gamma\text{торм}} = 15 \div 100$  МэВ, которые, в ближайшей перспективе, будут проводиться на ЛУЭ-40 НИК «Ускоритель» ННЦ ХФТИ.

## ВИВЧЕННЯ ПЕРЕРІЗУ РЕАКЦІЇ $^{144}\text{Sm}(\gamma, n)^{143\text{m}}\text{Sm}$ В ІНТЕРВАЛІ ЕНЕРГІЙ 10...18 MeV

*В.М. Мазур, З.М. Біган, П.С. Деречкей, О.М. Турховський  
Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород, Україна*

Методом ізомерних відношень проведено дослідження процесів збудження ізомерного стану  $11/2^-$  ядра  $^{143}\text{Sm}$  в реакції  $(\gamma, n)$ . Виміри проведено на пучку гальмівних гамма-квантів мікротрону М-30 ІЕФ НАН України в діапазоні гігантського Е1-резонансу. Використовувалась активаційна методика. Для ідентифікації ізомерного і основного станів ядра  $^{143}\text{Sm}$  бралися гамма-лінії відповідно 0.754 MeV і 1.056 MeV. Одержана в експерименті залежність ізомерних відношень  $d=Y_m/y_g$  від енергії  $E_{\gamma\text{max}}$  апроксимувалась методом найменших квадратів кривою Больцмана:  $d=A+(B-A)/\{1+\exp[(E-E_0)/\Delta E]\}$ , де  $A$ ,  $B$ ,  $E$  і  $E_0$  – параметри. В результаті були одержані наступні значення параметрів:  $A = 0.0567 \pm 0.0014$ ,  $B = -0.033 \pm 0.077$ ,  $E_0 = 13.88 \pm 0.79$  (MeV),  $\Delta E = 3.11 \pm 0.8$  (MeV). Одержане ізомерне відношення було використане для розрахунку перерізу реакції  $^{144}\text{Sm}(\gamma, n)^{143\text{m}}\text{Sm}$ . Для абсолютної калібровки було використано повний переріз  $(\gamma, n)$  реакції  $\sigma_n$  одержаний раніше [1]. Одержаний переріз має одnogорбу форму з максимумом при енергії 16.2 MeV.

За допомогою програмного пакета TALYS –1.9 проведені теоретичні розрахунки перерізу реакції  $^{144}\text{Sm}(\gamma, n)^{143\text{m}}\text{Sm}$ . Одержане задовільне узгодження розрахованого перерізу з експериментальним скоріш за все являється підтвердженням домінування статистичного механізму в досліджуваній реакції  $(\gamma, n)^m$ .

1. Carlos P. et al. Nucl. Phys., 1974, v. A225, p. 171.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕРІЗІВ ( $\gamma, n$ ) РЕАКЦІЙ НА $p$ -ЯДРАХ $^{120}\text{Te}$ , $^{136}\text{Ce}$ В ОБЛАСТІ ГІГАНТСЬКОГО $E_1$ -РЕЗОНАНСУ

*В.М. Мазур, З.М. Біган, П.С. Деречкей*

*Інститут електронної фізики НАН України, м. Ужгород*

У фізиці нуклеосинтезу відомо, що в природі є в наявності кілька десятків нейтронно-дефіцитних стабільних ізотопів походження яких не можна пояснити захопленням нейтронів. Ці нукліди названі  $p$ -ядрами продукуються через ланцюжок фотоядерних реакцій. До  $p$ -ядер належать і ізотопи  $^{120}\text{Te}$ ,  $^{136}\text{Ce}$ .

Дана робота присвячена дослідженню характеристик перерізів реакцій  $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$ ,  $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ . Експеримент проводився на пучку гальмівних гамма-квантів мікротрону М-30 в області максимальних енергій  $E_{\gamma\text{max}}=10.0\text{--}18.0$  МеВ. Для вимірювання використовувалась активаційна методика.

Одержані перерізи, які мають односторонню форму, апроксимувалися кривою Лоренца. В результаті апроксимації одержані наступні значення параметрів: для телуру  $\sigma_0=262$  мб,  $E_0=15.4$  МеВ,  $\Gamma_0=5.73$  МеВ, для церію  $\sigma_0=302$  мб,  $E_0=15.1$  МеВ,  $\Gamma_0=3.9$  МеВ.

Для порівняння експериментальних даних з теоретичними розрахунками нами проведені обчислення перерізів реакцій  $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$ ,  $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$  за допомогою програмного пакета TALYS-1.9 [1]. При розрахунках вважалося, що ядро-мішень з кількістю протонів і нейтронів ( $Z_i$ ,  $N_i$ ) і спин-парність ( $J_c$ ,  $\pi_c$ ) поглинає гамма-квант з енергією  $E_\gamma$  і формується компаунд-ядро. Розпад збудженого ядра відбувається відповідно статистичного підходу Хаузера-Фешбаха і напівпрямого механізму. Одержано задовільне узгодження експериментальних і теоретичних результатів.

1. Koning A.J., Hilaire S. and Duijvestijn M.C. TALYS-1.0: Comprehensive nuclear reaction modeling // Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology -ND2007(Nice, France, April 22–27, 2007).

## Секция 1. Фундаментальные исследования при промежуточных и высоких энергиях

### Session 1. Basic research at intermediate and high energies

#### ВЛИЯНИЕ СИЛЫ СПАРИВАНИЯ НА ОПИСАНИЕ ЗАРЯДОВЫХ РАДИУСОВ ИЗОТОПОВ Kr, Sr, Zr, Mo И Ru В ПРИБЛИЖЕНИИ НЕРЕЛЯТИВИСТСКОГО И РЕЛЯТИВИСТСКОГО СРЕДНЕГО ПОЛЯ

*В.Н. Тарасов, В.И. Куприков, В.В. Пилипенко, Д.В. Тарасов*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

На основе метода Хартри-Фока с Силами Скирма (Ska, SkM\*, SLy4) и релятивистского метода Хартри-Боголюбова с моделями лагранжианов DD-PC1 и DD-ME2 проведено исследование изменений формы ядер в цепочках четно-четных изотопов Kr, Sr, Zr, Mo и Ru с учетом аксиальной деформации ядер. В расчетах на основе релятивистского подхода мы применили компьютерный код DIRHBZ из пакета программ DIRHB [1], где спаривание нуклонов описывалось парным взаимодействием сепарабельного типа, а для нерелятивистских расчетов методом Хартри-Фока использовалось приближение БКШ. Для расчетов методом Хартри-Боголюбова исследована зависимость вычисленных характеристик ядер от выбора силы спаривания. Проведен анализ кривых зависимости потенциальной энергии от параметра квадрупольной деформации  $\beta_2$ . Расчеты показали, что в окрестности  $N = 60$  для некоторых изотопов Sr, Zr и Mo, в зависимости от выбора параметров сил спаривания, наблюдаются большие скачки величины средних квадратов зарядовых радиусов и параметров квадрупольной деформации. Этот результат согласуется с наблюдаемым в эксперименте резким изменением величины среднеквадратичного зарядового радиуса в этой области массовых чисел для изотопов Sr и Zr.

I. T. Nikšić et al. // *Comp. Phys. Com.* 2014, **185**, 1808.

#### ОПИС ДИФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПЕРЕРИЗУ ПРУЖНОГО РОЗСІЯННЯ ПРОТОНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БАГАТОЧАСТИНКОВИХ ПОЛІВ

*І.В. Шарф, Н.О. Чудак, Д.А. Пташинський, О.С. Потієнко, К.К. Меркотан,*

*К.А. Крутоголова*

*Одеський національний політехнічний університет, Одеса, Україна*

В даній роботі застосовується метод багаточастинкових полів [1] для опису процесів розсіяння адронів, а саме взаємодіючих тричастинкового біспінорного поля і двочастинкового глюонного поля для розрахунків диференціального перерізу пружного протон-протонного розсіяння за квадратом переданого чотириімпульсу. Запропонована динамічна модель пружного розсіяння протонів, яка базується на методі багаточастинкових полів і призводить до скінченого значення амплітуди розсіяння при  $t = 0$ . Основна відмінність даної моделі від інших, що ця скінченність отримується як наслідок динамічної моделі, яка основана на теорії поля. Поява немонотонності залежності диференціального перерізу від квадрату переданого чотириімпульсу із зростанням енергії, на нашу

думку, є наслідком спінових властивостей протонів. Порівнюючи отримані нами результати з відомими експериментами [2] вдалося відтворити дані лише на якісному рівні, а не на кількісному. Для того, щоб отримати експериментальні дані на кількісному рівні, потрібно врахувати внески від непружних процесів в умову унітарності, але це потребує великої кількості обчислень.

[1] N. Chudak, M. Deliyergiyev, K. Merkotan, O. Potiienko, D. Ptashynskiyi, Y. Shabaturova, G. Sokhrannyi, A. Tykhonov, Y. Volkotrub, I. Sharph, V. Rusov. Multi-Particle Quantum Fields // Physics Journal. – 2016. – Vol. 2, No. 3. – P. 181-195.

[2] Nagy E. et al. Measurements of Elastic Proton Proton Scattering at Large Momentum Transfer at the CERN Intersecting Storage Rings // Nuclear Physics B. – 1979. - Vol. 150. – P. 221-267.

## B-TAGGING AND SEARCHES FOR NEW PHYSICS BEYOND THE STANDARD MODEL

*T.V. Obikhod, E.A. Petrenko*

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

The article is devoted to the searches for new particles predicted by physics beyond the Standard Model through the b-tagging algorithm. The dependence of b-tagging efficiency on the jet identification, impact parameter identification, secondary vertex identification, kinematic cuts is studied with the help of computer programs Pythia 8.2 and Fastjet 3.3.0. The selection criteria for kinematic parameters, their ratios for an optimal result on the reconstruction of the vertices of heavy particles are found.

[1] CMS Collaboration. Observation of Higgs boson decay to bottom quarks // Phys. Rev. Lett. 121, 121801 (2018).

[2] ATLAS Collaborations. Expected performance of the ATLAS b-tagging algorithms in Run-2 // ATL-PHYS-PUB-2015-022.

[3] Torbjorn Sjostrand, Stefan Ask, Jesper R. Christiansen, et al. An Introduction to PYTHIA 8.2 // arXiv:1410.3012 [hep-ph].

[4] David E. Kaplan, Keith Rehermann, Matthew D. Schwartz, Brock Tweedie. Top-tagging: A Method for Identifying Boosted Hadronic Tops // Phys. Rev. Lett. 101:142001, 2008.

## В-ТЭГГИНГ И ПОИСКИ НОВОЙ ФИЗИКИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ

*Т.В. Обиход, Е.А. Петренко*

*Институт ядерных исследований НАН Украины, г. Киев, Украина*

Статья посвящена поискам новых частиц, предсказанных физикой за пределами Стандартной модели с помощью алгоритмов В-тэггинга. При помощи пакетов компьютерных программ Pythia 8.2 и Fastjet 3.3.0 были изучена зависимость эффективности В-тэггинга от идентификации джетов, определения прицельного параметра, определения вторичных вершин и кинематических ограничений. Определены критерии отбора кинематических параметров для

достижения оптимальных результатов по реконструкции вершин тяжелых частиц.

[1] CMS Collaboration. Observation of Higgs boson decay to bottom quarks // Phys. Rev. Lett. 121, 121801 (2018).

[2] ATLAS Collaborations. Expected performance of the ATLAS b-tagging algorithms in Run-2 // ATL-PHYS-PUB-2015-022.

[3] Torbjorn Sjostrand, Stefan Ask, Jesper R. Christiansen, et al. An Introduction to PYTHIA 8.2 // arXiv:1410.3012 [hep-ph].

[4] David E. Kaplan, Keith Rehermann, Matthew D. Schwartz, Brock Tweedie. Top-tagging: A Method for Identifying Boosted Hadronic Tops // Phys. Rev. Lett. 101:142001, 2008.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ННЦ ХФТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА CMS С БОЛЬШОГО АДРОННОГО КОЛЛАЙДЕРА

*К.А. Клименко, А.А. Куров, Л.Г. Левчук, А.С. Приставка, Д.В. Сорока*  
ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков

Вычислительный комплекс (ВК) ННЦ ХФТИ был создан для участия в распределенной обработке данных с Большого адронного коллайдера (БАК) и в настоящее время успешно работает на 2-м ярусе (Т2) грид-инфраструктуры эксперимента CMS, являясь одним из наиболее надежных Т2-центров CMS. Высокий уровень качества работы комплекса достигнут, благодаря непрерывной поддержке его работоспособности и обеспечению отказоустойчивости всех систем. Необходимым условием при этом является также приведение ресурсных параметров ВК в соответствие с требованиями эксперимента CMS. В 2018 году была выполнена аппаратная модернизация комплекса с акцентом на оптимизации его сетевой инфраструктуры, что было обусловлено резким увеличением интенсивности обмена данными рабочих узлов ВК с дисковой подсистемой. Кроме того, увеличена суммарная вычислительная производительность комплекса с 7.4 до 7.8 kNEPspec06, а емкость массовой дисковой памяти (МДП) возросла с 723 до 868 Терабайт. Несмотря на это ВК по-прежнему существенно (в ~3-3.5 раза) отстает по своим вычислительным и дисковым ресурсам от «номинального» Т2-центра CMS. В этих условиях важным является обеспечение эффективного использования ограниченных ресурсов МДП комплекса. С этой целью разработан и реализован алгоритм поиска и удаления информации, записанной на МДП, но не востребованной в течение достаточно длительного времени. Применение этого алгоритма позволило освободить 67 Терабайт с узлов МДП. Также создан комплекс программ поиска пустых директорий в базе данных с целью формирования компактного, информативного списка для наиболее эффективного удаления их из системы, что обеспечило существенное уменьшение времени обработки запросов на перемещение данных на МДП.

Работа поддержана грантами, выделенными Национальной академией наук Украины (НАНУ) в рамках целевой комплексной программы «Грид-инфраструктура и грид-технологии для научных и научно-прикладных применений» и целевой программы научных исследований НАНУ «Фундаментальные исследования по физике высоких энергий и ядерной физике (международное сотрудничество)»

## ОЦЕНКА ФОНОВЫХ ВКЛАДОВ В АНАЛИЗЕ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА CMS С ЦЕЛЬЮ ПОИСКА СЛЕПТОНОВ И ЧАРДЖИНО ПО КОНЕЧНЫМ СОСТОЯНИЯМ С ДВУМЯ ПРОТИВОПОЛОЖНО ЗАРЯЖЕННЫМИ ЛЕПТОНАМИ

*Л.Г. Левчук, С.Т. Лукьяненко*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

С целью поиска проявлений суперсимметрии (SUSY) выполнен анализ данных эксперимента CMS (выборки протон-протонных соударений при энергии 13 ТэВ), аккумулированных в 2016 году и отвечающих интегральной светимости коллайдера LHC 35.9 фбн<sup>1</sup>. Отбирались события с большим дисбалансом поперечного импульса ( $E_T^{\text{miss}} > 150$  ГэВ), отсутствием  $b$ -струй и двумя высокоэнергетическими (с поперечными импульсами  $p_T > 25$  ГэВ) противоположно-заряженными изолированными лептонами (мюонами и/или электронами) с инвариантной массой вне области  $Z$ -пика. Такая сигнатура может отвечать прямому образованию пар SUSY-частиц – скалярных лептонов (слептонов) либо чарджино – с их последующим распадом на лептоны Стандартной модели (SM) и легчайшие нейтрино. (В нашем рассмотрении мы ограничиваемся поиском SUSY-процессов с сохранением  $R$ -четности.) При поиске таких сигналов нами рассмотрено несколько вариантов оценки фона, обусловленного процессами, описываемыми в рамках SM. Показано, что непосредственное «пошаговое» сравнение с данными гистограмм, представляющих полученные методом Монте-Карло (МК) спектры, приводит к большой систематической неопределённости оценки соответствующего фонового вклада. Существенное снижение этой ошибки достигается при использовании метода перенормировки МК-распределения на данные для контрольной кинематической области, отвечающей доминированию интересующего нас фонового процесса. При этом искомая неопределенность получается, исходя из погрешности, связанной с определением нормировочного фактора и отклонением от данных формы спектра событий, полученного МК-моделированием. Относительно небольшие величины для систематических неопределенностей могут быть также достигнуты в случае возможности непосредственного извлечения фона из анализируемых данных эксперимента. Реализацией такого варианта анализа в нашем случае явилось построение из данных симметричной относительно типа лептонов выборки событий и ее использование в качестве фона при поиске сигнала от прямого рождения пар слептонов. При этом вносимая систематическая неопределенность определяется лишь статистической ошибкой данных и погрешностью коэффициента

коррекции, учитывающего различие в эффективности регистрации пар  $e^+e^-$  и  $e^+e^- + \mu$ . Малая величина этой неопределенности позволила улучшить, по сравнению с другими методами, качество оценки фона и тем самым значительно расширить область исключения для масс искоемых слепонов и нейтралино.

Работа поддержана грантами, выделенными Национальной академией наук Украины (НАНУ) в рамках целевой комплексной программы «Гридинфраструктура и грид-технологии для научных и научно-прикладных применений» и целевой программы научных исследований НАНУ «Фундаментальные исследования по физике высоких энергий и ядерной физике (международное сотрудничество)».

### РЕАКЦИЯ $^{14}\text{N}(\gamma, \alpha\alpha)^6\text{Li}$ ПРИ $E_\gamma^{\text{max}} = 150$ МэВ

*С.Н. Афанасьев*

*НИЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Экспериментальные результаты по реакции  $^{14}\text{N}(\gamma, \alpha\alpha)^6\text{Li}$  получены с помощью диффузионной камеры в магнитном поле, совмещающей газовую мишень с детектором и облученной пучком тормозных  $\gamma$ -квантов с максимальной энергией 150 МэВ. В обработку взяты компланарные трехлучевые события с многозарядными частицами в конечном состоянии. Первичная идентификация реакции выполнена с учетом минимальности баланса импульсов при последовательной идентификации частиц. Законы сохранения энергии и импульса позволяют вычислить энергию  $\gamma$ -кванта и кинематические параметры одного из треков. В зачет брались события, у которых разница в компонентах измеренного и вычисленного трёхмерного импульса этого трека находилась в пределах измерительной погрешности. Отобранные по всем вышеперечисленным условиям события считались событиями реакции  $^{14}\text{N}(\gamma, \alpha\alpha)^6\text{Li}$ .

Выполнен анализ распределений по относительным энергиям и углам. Обнаруженная асимметрия в этих распределениях свидетельствует о нестатистическом процессе распада. Функция зависимости средней энергии частиц от энергии  $\gamma$ -кванта показала, что ядро  $^6\text{Li}$  уносит большую часть энергии системы. В распределении по энергии относительного движения двух  $\alpha$ -частиц наблюдается резонансная структура, которая может соответствовать спектру возбужденных состояний ядра  $^8\text{Be}$ . Между основным и первым возбужденными состояниями ядра  $^8\text{Be}$  обнаружен резонанс с  $E_0=0.75$  и  $\Gamma=0.80$  МэВ, идентифицированный как аномалия-призрак ядра  $^8\text{Be}$ . Определены относительные вероятности образования возбужденных состояний ядра  $^8\text{Be}$  и впервые измерены парциальные сечения каналов образования ядра  $^8\text{Be}$  в зависимости от энергии  $\gamma$ -кванта.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ АЛЬФА-ЧАСТИЦ

*А.А. Беляев, Л.Г. Левчук, Александр А. Луханин, Алексей А. Луханин,  
В.Ф. Попов, Е.А. Споров*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Проблема измерения концентрации в воздухе альфа-активных газов, таких как радон ( $^{222}\text{Rn}$ ), торон ( $^{220}\text{Rn}$ ) и актинон ( $^{219}\text{Rn}$ ), весьма актуальна в Украине ввиду радиоактивного загрязнения значительной территории в результате аварии на ЧАЭС, работы атомных блоков АЭС, а также неконтролируемого использования отходов горнорудной (в том числе ураново-рудной) промышленности. Рассмотрена возможность регистрации изотопов радона и их дочерних продуктов в воздушном потоке с помощью детектора на основе пластического сцинтиллятора UPS-923A (ИСМА, Харьков). Проведены предварительные исследования зависимости светового выхода детектора от активности источника  $\alpha$ -частиц, толщины и формы сцинтиллятора, и оценено влияние фона окружающей среды на качество регистрации  $\alpha$ -частиц. Показано, что световой выход существенно зависит от толщины используемого сцинтиллятора. Наличие  $\gamma$ - и (или)  $\beta$ -фона окружающей среды приводит к искажению формы регистрируемого  $\alpha$ -спектра, вызывая при этом значительные трудности при его анализе. При этом форма спектра не зависит от величины активности  $\alpha$ -источника. Использование тонкопленочного сцинтиллятора позволяет значительно уменьшить вклад  $\gamma$ - и (или)  $\beta$ -фона в измеряемый  $\alpha$ -спектр и таким образом повысить эффективность регистрации.

Работа выполнена в рамках ведомственной тематики ННЦ ХФТИ «Розробка детектувальних систем на основі сцинтиляторів і вивчення їх властивостей для використання в ядерній енергетиці і фізиці високих енергій (експеримент CMS, ЦЕРН)».

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПЛАСТИЧЕСКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

*Л.Г. Левчук, Александр А. Луханин, В.Ф. Попов  
Институт физики высоких энергий и ядерной физики  
ННЦ ХФТИ НАН Украины, г. Харьков*

При длительном использовании пластических сцинтилляторов в условиях интенсивного облучения электронами, фотонами и другими частицами происходит их радиационное повреждение, в частности, значительное уменьшение сцинтилляционного отклика – яркости светового выхода. Данный эффект приводит к уменьшению эффективности регистрации детекторов изготовленных на их основе. Исследована радиационная стойкость пластических сцинтилляторов EJ-260 (EJen Tech.) и UPS-923A (ISMA), возможность использования которых для активных элементов торцевых адронных калориметров модернизированного (для условий увеличенной светимости



Большого адронного коллайдера) детектора CMS (в частности, в «высокогранулированном» калориметре HGCal) рассматривается в настоящее время. Облучение образцов данных сцинтилляторов выполнено электронами с энергией  $\approx 10$  МэВ на ускорителе ЛУ-10 ННЦ ХФТИ до интегральных доз от 1 до 10 Мрад при мощности дозы  $1400 \pm 50$  Мрад/час. Изменение технического светового выхода определялось для восстановленных образцов по величине смещения положения центра  $\alpha$ -пики (источник  $^{239}\text{Pu}$ ) после облучения. Полученные результаты дают основание сделать вывод, что сцинтилляторы EJ-260 и UPS-923A при указанных параметрах облучения являются радиационно-стойкими.

Работа выполнена в рамках ведомственной тематики ННЦ ХФТИ «Розробка детектувальних систем на основі сцинтиляторів і вивчення їх властивостей для використання в ядерній енергетиці і фізиці високих енергій (експеримент CMS, ЦЕРН)», а также целевой программы научных исследований НАНУ «Фундаментальные исследования по физике высоких энергий и ядерной физике (международное сотрудничество)».

## ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА РАДИАЦИОННО СТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

*А.Ю. Бояринцев<sup>1</sup>, Н.З. Галунов<sup>1,2</sup>, Б.В. Гринев<sup>1</sup>,  
Н.Л. Караваева<sup>1</sup>, А.В. Креч<sup>1</sup>, Л.Г. Левчук<sup>3</sup>, В.Ф. Попов<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины, г. Харьков;*

<sup>2</sup>*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, г. Харьков;*

<sup>3</sup>*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

В настоящее время композиционные сцинтилляторы находят применение для решения все более широкого круга задач детектирования ионизирующих излучений, ведь композиционные сцинтилляторы имеют ряд преимуществ по сравнению с другими сцинтилляционными материалами. Ранее нами были разработаны и исследованы на радиационную стойкость композиционные сцинтилляторы на основе неорганических монокристаллических гранул, таких как:  $\text{Gd}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$  (GSO:Ce),  $\text{Gd}_2\text{Si}_2\text{O}_7:\text{Ce}$  (GPS:Ce),  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}$  (Тикор),  $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$  (YSO:Ce) и  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$  (YAG:Ce). Такие композиционные сцинтилляторы выдерживают дозы значительно превышающие 100 Мрад. Например, композиционные сцинтилляторы на основе гранул  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}$  при темпе облучения 1500 Мрад/час выдерживают дозу в 550 Мрад. Вместе с тем при достижении доз более 150 Мрад наблюдалось растрескивание сцинтилляторов. Исследованию данного эффекта и посвящена эта работа.

В работе был проведен анализ процесса облучения и изучены возможные факторы, влияющие на растрескивание сцинтилляторов. Была установлена зависимость условий облучения и окружающей среды в зоне облучения, приводившие к разрушению композиционных сцинтилляторов.

## ФОТОРАСЩЕПЛЕНИЕ ЯДРА ${}^4\text{He}$ ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ ФОТОНАМИ В ОБЛАСТИ ГИГАНТСКОГО РЕЗОНАНСА

*А.А. Перетяцько, Р.Т. Муртазин, А.Ф. Ходячих*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

В результате реконструкции событий реакций  ${}^4\text{He}(\gamma, p){}^3\text{H}$  и  ${}^4\text{He}(\gamma, pn){}^2\text{H}$ , вызванных линейно поляризованными фотонами, были измерены кинематические параметры продуктов реакций. Были получены: дифференциальные сечения, угловые и энергетические корреляции частиц, распределения по азимутальному углу и асимметрия сечений реакций. Азимутальная асимметрия сечения реакции  ${}^4\text{He}(\gamma, p){}^3\text{H}$  измерена в зависимости от полярного угла и энергии  $\gamma$ -кванта. Результаты объяснены в модели механизма прямого выбивания нуклона. Энергетические и угловые корреляции продуктов реакции  ${}^4\text{He}(\gamma, pn){}^2\text{H}$  согласуются с моделью поглощения фотона нуклонной парой. В импульсном распределении дейтрона, который в этом случае является спектатором, обнаружена структура. Максимум распределения, расположенный в интервале от 60 до 80 МэВ, объяснен в рамках полюсной, а при более высоких энергиях – треугольной диаграммой. Импульсное распределение дейтрона дало возможность оценить относительный вклад полюсной и треугольной диаграмм, который оказался равным  $0.26 \pm 0.05$  и  $0.74 \pm 0.05$  соответственно. Асимметрия сечения протона согласуется с квазидейтронной моделью. В азимутальном распределении дейтронов асимметрии не наблюдается, как и ожидается для спектатора.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ВНЕШНЕЙ СВЯЗИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ННЦ ХФТИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА CMS

*А.А. Куров, К.А. Клименко, Л.Г. Левчук, А.С. Приставка, Д.В. Сорока*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Завершившийся второй сеанс работы Большого адронного коллайдера (БАК) характеризовался значительным увеличением потока данных, передаваемых для офлайн-обработки. Соответственно, существенно повысились требования к качеству обмена данными между центрами грид-инфраструктуры CMS – одного из крупнейших экспериментов на БАК – с обеспечением передачи информации посредством совместного использования сетевых протоколов IPv4 и IPv6. Увеличение пропускной способности канала внешней связи специализированного вычислительного центра ННЦ ХФТИ для обработки данных эксперимента CMS до 10 Гигабит/с вызвало необходимость модернизации его внутренней сетевой инфраструктуры. Разработана и внедрена новая схема внутренней сети комплекса с применением нового высокопроизводительного коммутатора. В результате пропускная способность всех магистралей внутренней сетевой инфраструктуры увеличилась более чем в 2 раза, а подключений дисковых серверов – в 5 раз. Для полноценной поддержки модернизированной схемы сконфигурирован новый сервер-шлюз,

обеспечивающий должную ширину (10 Гигабит/с) и необходимое качество внешнего канала связи. Для измерения скорости обмена данными с другими сайтами грид-инфраструктуры WLCG/CMS настроен дополнительный perfSONAR-сервер, дающий возможность наблюдать реальную скорость передачи информации и корректно выявлять наиболее проблемные маршруты.

Работа поддержана грантами, выделенными Национальной академией наук Украины (НАНУ) в рамках целевой комплексной программы «Грид-инфраструктура и грид-технологии для научных и научно-прикладных применений» и целевой программы научных исследований НАНУ «Фундаментальные исследования по физике высоких энергий и ядерной физике (международное сотрудничество)»

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УЧЕТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ УКРАИНСКОЙ ГРИД-ИНФРАСТРУКТУРЫ

*К.А. Клименко, Л.Г. Левчук, А.А. Куров, А.С. Приставка*

*Институт физики высоких энергий и ядерной физики ННЦ ХФТИ, г. Харьков*

Система мониторинга использования вычислительных ресурсов национальной грид-инфраструктуры Украины (NGI-UA) работает в рамках специализированного вычислительного комплекса ННЦ ХФТИ для обработки данных с Большого адронного коллайдера и представляет собой систему сбора, хранения и анализа статистической информации. Система оформлена в виде веб-портала, доступного по адресу <https://grid-accounting.kipt.kharkov.ua>. Портал содержит актуальные данные о работе практически всех зарегистрированных в европейской грид-инфраструктуре (EGI) вычислительных комплексов NGI-UA. Основным источником информации для системы являются данные, публикуемые на портале учета использования вычислительных ресурсов EGI. Для ее получения формируется соответствующий запрос, формат которого отвечает принятому в EGI перечню параметров, характеризующих работу вычислительных ресурсов (в частности, процессорного времени, перенормированного на основе международных стандартов оценивания производительности различных систем). Результат выполнения каждого запроса представлен в виде документа в формате JSON со строгой структурой. Для работы с JSON-данными применяется специализированная утилита JQ. Применены различные технологии визуализации статистических данных на портале. В частности, используется библиотека ‘Highcharts’, которая позволяет работать с информацией в различных форматах. В качестве вспомогательного средства визуализации используется среда ‘Dashing’, с помощью которой формируются панели сокращенного представления статистических данных. В течение последнего года выполнена существенная модернизация портала. Оптимизирована база данных MySQL, хранящая историю и статистические данные, с помощью механизма секционирования таблиц. Реализовано отображение детальной статистики о состоянии ресурсов сайтов NGI-UA, выделенных для хранения информации. К отчетам об использовании

вычислительных и дисковых ресурсов добавлены результаты тестов системы perfSONAR ширины и качества каналов связи между грид-центрами. Созданный информационный ресурс характеризуется высоким уровнем наглядности и обеспечивает простой доступ к статистическим данным, характеризующих работу грид-комплексов, с предоставлением визуальных отчетов в виде динамических графиков и диаграмм. Работа поддержана грантом, выделенным Национальной академией наук Украины в рамках целевой комплексной программы «Грид-инфраструктура и грид-технологии для научных и научно-прикладных применений».

## АНАЛИЗАТОР ПОЛЯРИЗАЦИИ НЕЙТРОНОВ НА ОСНОВЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО $^3\text{He}$

*А.А. Беляев, А.А. Луханин, А.Ал. Луханин, Е.А. Споров*

*Институт физики высоких энергий и ядерной физики ННЦ ХФТИ, г. Харьков*

Поляризованные нейтроны являются эффективным инструментом для изучения фундаментальных взаимодействий, структур магнитных материалов веществ и в ряде других исследований. Анализатор поляризации нейтронов на основе поляризованного  $^3\text{He}$  имеет ряд преимуществ для пучков нейтронов с энергией 0,01–100 эВ.

В докладе представлено состояние работ по разработке стенда анализатора поляризации пучка нейтронов с использованием метода SEOP (spin-exchange optical pumping) для создания высокой поляризации ядер  $^3\text{He}$ . Представлены результаты исследований разработанной магнитной системы с величиной магнитного поля 0–40 Гс и неоднородностью  $2 \times 10^{-4}$  в объеме  $150 \times 150 \times 150 \text{ мм}^3$ , системы питания и стабилизации частоты лазерных диодов со стабилизацией температуры с точностью 0.2 °С в диапазоне – 5 – 50 °С и мощности охлаждения до 200 Ватт; вакуумно–компрессорного модуля для получения в гелиевой ячейке давления менее  $5 \times 10^{-8}$  Торг и закачки газов в оптическую ячейку до давления 7 – 10 атм.; системы измерения поляризации ядер  $^3\text{He}$ ; термостатированной камеры с ячейкой для оптической накачки поляризации и др. систем.

Анализатор поляризации нейтронов может быть использован как мишень поляризованных ядер  $^3\text{He}$  в физике высоких энергий, нейтронный спиновый фильтр для создания пучка нейтронов с поляризацией более 60% в диапазоне энергий 0.025–1 эВ и интенсивности до  $10^8$  н/сек и других приложениях.

## РАСПАД ХИГГСОВСКОГО БОЗОНА НА ПАРУ ТАУ ЛЕПТОНОВ И ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ВЕКТОРНЫЙ Z-БОЗОН В РАМКАХ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ

*В.А. Ковальчук<sup>1,2</sup>, А.Ю. Корчин<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>ИТФ им. А.И. Ахиезера ННЦ ХФТИ*

*<sup>2</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, г. Харьков*

Исследована амплитуда распада бозона Хиггса на промежуточный нейтральный Z-бозон и пару тяжелых тау лептонов в рамках эффективной

теории поля Стандартной модели с операторами вплоть до размерности шесть. Проанализировано влияние ненулевой массы тау лептона и нарушения CP-симметрии в вершинах взаимодействия бозона Хиггса с парой тау лептонов, бозона Хиггса с Z-бозоном и виртуальным фотоном (Z-бозоном), Z-бозона и фотона с парой тау лептонов, а также бозона Хиггса с Z-бозоном и парой тау лептонов на наблюдаемые. В частности, вычислена зависимость ширины и асимметрии вперед-назад распада  $h \rightarrow Z \tau^+ \tau^-$  от квадрата инвариантной массы тау лептонов.

## КРИТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*А.В. Бабич, В.Ф. Клепиков*

*Институт электрофизики и радиационных технологий НАН Украины*

Современная физика основывается на модельных лагранжианах, в составе которых, как правило, только первые производные полей. Это ограничение не позволяет рассмотреть многочисленные процессы в физике критических явлений, ядерной физике и физике частиц и полей, космологии и т.д. В последнее время в различных областях физики часто рассматриваются теории с высшими производными. Чаще всего это имеет место в таких полевых теориях где элементарные объекты имеют ненулевую размерность (струны, мембраны, D-брани и т.п.). Также, высшие производные необходимы в космологии (скрытый «темный» сектор) и в теории солитонов и взаимодействий типа Скирма - Полякова. Еще одной особенностью описания высокоэнергетических систем является необходимость учитывать возможные дополнительные пространственные измерения (например, M-теория, космология ранней вселенной) и возможную анизотропию соответствующих пространств. Нами предложена модель учитывающая такие особенности. Найдены границы применимости теории среднего поля для описания фазовых переходов в таких системах, обсуждаются различные типы их критического поведения. Также обсуждаются особенности критического поведения в двумерных моделях типа Лиувилля, которые являются кандидатами на описание двумерной гравитации.

## ОПИСАНИЕ $pA$ -РАССЕЯНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ МНОГОКРАТНОГО ДИФРАКЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ДИРАКОВСКОГО ПРОТОНА

*В.В. Пилипенко, В.И. Куприков, В.Н. Тарасов*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Теория многократного дифракционного рассеяния (ТМДР) Глаубера–Ситенко является популярным подходом для описания столкновений протонов и других адронов с ядрами в области промежуточных энергий. Однако обычная ТМДР не учитывает релятивистское поведение спина и не позволяет последовательно включить релятивистское описание ядерной структуры, в отличие от релятивистского импульсного приближения (РИП), также часто используемого для анализа  $pA$ -рассеяния и основанного на решении уравнения Дирака с микроскопическим оптическим потенциалом. В данной работе развивается

модель, подобная ТМДР и основанная, как и РИП, на уравнении Дирака. В этой модели амплитуда упругого  $pA$ -рассеяния находится из ряда многократного рассеяния Ватсона путем эйконального разложения дираковского пропагатора свободного движения протона между актами рассеяния на нуклонах ядра. При этом структура ядра-мишени описывается реалистическими плотностями нуклонов, рассчитанными на основе современных вариантов модели релятивистского среднего поля, а используемые  $pN$ -амплитуды получены из результатов фазового анализа в литературе. Проведены расчеты полного набора наблюдаемых упругого  $p^{+40}\text{Ca}$  и  $p^{+208}\text{Pb}$  рассеяния при 800 МэВ. Изучено влияние различия между скалярными и векторными плотностями нуклонов на описание наблюдаемых  $pA$ -рассеяния. Показано, что эти эффекты, особенно в спиновых наблюдаемых, являются заметными и превышают различия между результатами расчетов с разными вариантами релятивистского  $NN$ -взаимодействия.

## СХЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИЙ ОТКЛИКА

*А.Ю. Буки, И.С. Тимченко*

*ИНЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Дважды дифференциальные сечения рассеяния электронов на ядрах согласно работе [1] можно представить как сумму поперечной  $R_T$  и продольной  $R_L$  функций отклика.  $R_{T/L}$ -функции содержат более детальную информацию о ядре, чем сечения. Однако получение экспериментальных значений этих функций не простая задача, требующая тщательного планирования измерений, много времени работы ускорителя и создания ряда больших вычислительных программ для обработки результатов измерений.

Экспериментальные значения  $R_{T/L}$ -функций находят из измерений двух сечений, полученных под различными углами рассеяния  $\theta_1$  и  $\theta_2$ , но при одном переданном импульсе  $q$  и одной переданной энергии  $\omega$ . От эксперимента требуется получение протяжённых по  $\omega$   $R_{T/L}$ -функции при нескольких постоянных значениях переданного импульса  $q_{c,i}$ . Для этого необходимы интерполяции данных по переданному импульсу, что возможно только между сечениями, измеренными при одинаковых углах рассеяния. Удовлетворить этим требованиям могут измерения, в которых все спектры больших углов получены при одном значении  $\theta_2$ , а спектры малых углов при одном значении  $\theta_1$ . Располагая такими данными можно получить значения требуемых  $R_{T/L}$ -функций. По этой схеме (назовём её схемой А) проводились измерения в лабораториях Сакле, Бейтс и СЛАК.

В ХФТИ измерения под большими углами проводились как в схеме А, а под малыми углами велись при различных значениях  $\theta_1$ , но с одной начальной энергией электронов (схема Б). Сечения, измеренные под углом  $\theta_2$ , интерполировались к  $q$  и  $\omega$  сечений, измеренных под одним из углов  $\theta_1$ . Сечения, измеренные под углом  $\theta_2$ , интерполировались к  $q$  и  $\omega$  сечений, измеренных под одним из углов рассеяния  $\theta_1$ . Далее из сечений угла  $\theta_1$  и соответствующих им по

$q$  и  $\omega$  сечений из интерполяции данных угла  $\theta_2$  находились  $R_{T/L}$ -функции при этих  $q$  и  $\omega$ . После проведения таких действий с сечениями всех малых углов в пространстве  $q\omega$  образовывались массивы значений  $R_T$ -функций и  $R_L$ -функций. Интерполяции в каждом из этих массивов данных к заданным значениям  $q_{c,i}$  приводили к требуемым  $R_{T/L}$ -функциям.

Обработка данных, полученных по схемам А и Б, давали одинаковые значения  $R_{T/L}$ -функций, но при этом, в случае равенства статистических точностей  $R_{T/L}$ -функций, работа ускорителя при измерениях по схеме Б требовала времени в разы меньше, чем при использовании схемы А.

## ОЦЕНКА РАЗМЕРА $\alpha$ -КЛАСТЕРА В ЯДРАХ ${}^6,7\text{Li}$

*А.Ю. Буки, И.С. Тимченко*

*Институт физики высоких энергий и ядерной физики ННЦ ХФТИ, г. Харьков*

Кулоновская энергия ядра  $E_{\text{coul}}$ , являясь результатом кулоновского (электростатического) взаимодействия протонов в ядре, чувствительна к их взаимному расположению. В работе [1] получено уравнение, связывающее кулоновскую энергию ядра с данными эксперимента по рассеянию электронов на ядрах. В работе [2] предложено представление этого уравнения в виде  $E_{\text{coul}} = I_1 + I_2$ , где слагаемое  $I_1$  связано с пространственным распределением электрического заряда в ядре, а  $I_2$  – изменение кулоновской энергии ядра вследствие перекрытия волновых функций протонов.

Из кластерной модели ядра следует, что в случае ядер  ${}^6,7\text{Li}$  расстояние между протонами  $\alpha$ -кластера значительно меньше, чем расстояние между протонами принадлежащими разным кластерам. Поэтому можно считать, что интеграл  $I_2$  ядер  ${}^6,7\text{Li}$  полностью определяется перекрытием между протонами, принадлежащими  $\alpha$ -кластеру.

Анализ экспериментальных значений  $I_2$  ядер  ${}^4\text{He}$  [3] и  ${}^7\text{Li}$ [4] позволил сделать вывод:

отношение  $I_2$  ядер  ${}^7\text{Li}$  и  ${}^4\text{He}$ :  $I_2({}^7\text{Li})/I_2({}^4\text{He}) = 0.87 \pm 0.06$ , указывает на то, что эффективный размеры  $\alpha$ -кластера больше ядра  ${}^4\text{He}$ .

Так как ядра  ${}^6\text{Li}$  и  ${}^7\text{Li}$  по степени кластеризации близки, то и в случае  ${}^6\text{Li}$  должен был бы быть такой же вывод и, кроме того, размеры кластеров у обоих ядер должны были бы быть одинаковыми  $I_2({}^7\text{Li})/I_2({}^6\text{Li}) = 1$ .

Используя данные работ [2,3] находим

$$I_2({}^6\text{Li})/I_2({}^4\text{He}) = 0.89 \pm 0.10 \text{ и } I_2({}^7\text{Li})/I_2({}^6\text{Li}) = 0.99 \pm 0.10.$$

Эти значения не противоречат нашим предположениям. Однако нынешняя точность данных не достаточна для выводов.

1. Эфрос В.Д. Правила сумм в рассеянии электронов на ядрах // Я.Ф. – 1973. – Т.18. – С.1184-1203.

2. Буки А.Ю., Шевченко Н.Г., Эфрос В.Д., Чкалов И.И. Экспериментальное определение кулоновской энергии ядра  ${}^6\text{Li}$  // Я.Ф. – 1977. – Т.25. №2 – С.457-459.

3. Н.И. Айзацкий, С.Н. Афанасьев, А.Ю. Буки и др., Исследование атомных ядер электронами и фотонами с энергией до 300 МэВ / Харьков: ННЦ ХФТИ, 2017. – 393 с. ISBN 978-617-619-203-9

4. А.Ю. Буки, И.С. Тимченко, Кулоновская энергия ядра  ${}^7\text{Li}$  / XIV конференция по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям. Тезисы докладов 22 - 25 марта 2016 г. Харьков, с.53.

## СРАВНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ДВУХФОТОННОГО И ОДНОФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЙ ЭЛЕКТРОНА В УМЕРЕННО СИЛЬНОМ ЛАЗЕРНОМ ПОЛЕ

*В.Н. Недорешта*

*Институт прикладной физики НАН Украины, г. Сумы*

Теоретически проведена оценка вкладов процессов двухфотонного и однофотонного излучения электрона в поле импульсной лазерной волны в приближении, когда длительность электромагнитного импульса значительно больше, чем характерное время осцилляций волны. Предполагается, что электронный пучок распространяется навстречу лазерному импульсу. Также предполагается, что электроны являются ультрарелятивистскими.

В работах [1], [2] были проведены теоретические расчеты вероятности однофотонного и двухфотонного излучения электрона в поле импульсной лазерной волны соответственного. В данной работе показано, что в умеренно сильных полях, в условиях, близких к экспериментам Макдональда [3], резонансная вероятность двухфотонного излучения электрона относительно однофотонного излучения меньше на три порядка. Полученные результаты могут быть подтверждены в экспериментах по проверке квантовой электродинамики в сильных полях, например, на SLAC и ELI.

1. N.B. Narozhnyi and M.S. Fofanov // [\*Journal of Experimental and Theoretical Physics\*](#), 1996, **83**, №1, pp. 14-23.

2. V N Nedoreshta, A I Voroshilo, S P Roshchupkin and V V Dubov // *Laser Physics*, 2017, **27**, 026003.

3. Bula C. et al // [\*Physical Review Letters\*](#), 1996, **76**, 3116.

## ПОЛЯРИЗАЦИЯ ТОП КВАРКА В ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ ПРИ ЭНЕРГИИ КОЛЛАЙДЕРА SLIC

*И.В. Трутень, А.Ю. Корчин*

*ИТФ им. А.И. Ахиезера ННЦ ХФТИ, г. Харьков*

Рассмотрена задача об аннигиляции электрон-позитронной пары в пару поляризованных топ и анти-топ кварков при энергии будущего электрон-позитронного коллайдера SLIC. Для изучения свойств топ кварка и получения более полной информации об его взаимодействии с фотоном и Z-бозоном желательно исследовать поляризационные эффекты. Рассчитаны компоненты вектора поляризации топ кварка для структуры взаимодействия с фотоном и Z-бозоном, которая соответствует лагранжиану эффективной теории поля. Значения аномальных констант связи, отвечающих физике за пределами



Стандартної моделі, вибрані на основі експериментальних даних, отриманих на Теватроні та Великому адронному колайдері. Розраховано залежності вектора поляризації від кута розсіяння, а також знайдено компоненти поляризації, усереднені по кутам розсіяння, та сечення реакції як функції констант зв'язу. Досліджено екстремальні точки цих спостережуваних (максимуми, минимуми та седлові точки) та їх залежність від енергії.

## ХВИЛЬОВА ФУНКЦІЯ ДЕЙТРОНА ДЛЯ ПОТЕНЦІАЛУ ARGONNE V18 ТА БОРНІВСЬКІ ЗНАЧЕННЯ ВЕКТОРНИХ І ТЕНЗОРНИХ АСИМЕТРІЙ В ЕЛЕКТРОН-ДЕЙТРОННОМУ РОЗСІЯННІ

*В.І. Жаба*

*Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна*

Використовуючи раніше отримані коефіцієнти аналітичної форми хвильової функції дейтрона в координатному представленні для нуклон-нуклонного потенціалу Argonne v18 [1], розраховано Борнівські значення векторних  $A_B^L$ ,  $A_B^T$  і тензорних  $A_B^{LL}$ ,  $A_B^{TT}$ ,  $A_B^{LT}$  асиметрій, які необхідні для оцінки радіаційних поправок до поляризаційних спостережуваних в пружному електрон-дейтронному розсіянні в лептонних змінних [2]. В форматі 3D одержано імпульсно-кутова залежність для векторних і тензорних асиметрій. Кожна із компонент асиметрії має свою особливість форми та поведінки в залежності від значень кута розсіяння або імпульсу частинки.

[1] V.I. Zhaba, Mod. Phys. Lett. A. 31, 1650139 (2016).

[2] G.I. Gakh et al., J. Exp. Theor. Phys. 115, 212 (2012).

## ОДЕРЖАННЯ ФАЗОВОЇ, АМПЛІТУДНОЇ ТА ХВИЛЬОВОЇ ФУНКЦІЙ ДЛЯ ПОТЕНЦІАЛУ ARGONNE V18 ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ФАЗОВИХ ФУНКЦІЙ

*В.І. Жаба*

*Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна*

В роботі [1] отримано значення фазової, амплітудної і хвильової функцій для  $^1S_0$ -,  $^3P_0$ -,  $^3P_1$ - станів  $n\bar{n}$ - системи при енергії  $E_{lab}=150$  MeV для нуклон-нуклонного потенціалу Argonne v18 [2].

Аналогічно до розрахунків в роботі [1], було одержано чисельні значення фазової, амплітудної та хвильової функцій для нуклон-нуклонного потенціалу Argonne v18 з використанням методу фазових функцій [3]. Особливості поведінки цих функцій описано для координат до 7 fm і при енергіях взаємодії  $E_{lab}=1; 50; 100; 150; 250; 350$  MeV. Розглянуто  $^1S_0$ -,  $^1P_1$ -,  $^3P_0$ -,  $^3P_1$ -,  $^1D_2$ -,  $^3D_2$ -,  $^1F_3$ -,  $^3F_3$ -,  $^1G_4$ -,  $^3G_4$ - стани для  $n\bar{n}$ - системи. Отримані графічні матеріали для вказаних функцій можуть допомогти дати краще і повніше квантово-механічне представлення фази та амплітуди розсіяння для нейрон-протонного розсіяння, а також краще зрозуміти і доповнити дані для задачі пошуку скалярної амплітуди і повного перерізу нуклон-нуклонного розсіяння [4].

- [1] V.I. Zhaba, Uzhhorod Univ. Scien. Herald. Ser. Phys. 40, 106 (2016).  
[2] R.B. Wiringa, V.G.J. Stoks, R. Schiavilla, Phys. Rev. C 51, 38 (1995).  
[3] В.В. Баби́ков, Метод фазовых функций в квантовой механике (М.: Наука, 1988), 256 с.  
[4] V.I. Zhaba, Mod. Phys. Lett. A 31, 1650049 (2016).

## ГЕНЕРАЦІЯ НЕЙТРОНІВ НА МІКРОТРОНІ М-10

*І.І. Гайсак, В.О. Мартишечкін, О.Г. Окунєв, О.М. Фраджін*  
*Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна*

Мікротрон М-10 Ужгородського національного університету був використаний як джерело нейтронів. Для цього прискорений пучок електронів у вольфрамовій мішені товщиною 3 мм перетворювався у потік  $\gamma$ -квантів неперервного енергетичного спектру. На шляху потоку гамма-квантів у парафіновому сповільнювачі розташовувався берилієвий блок, який служив нейтронним конвертором. Нейтрони отримувались за рахунок ядерної реакції  $Be^9(\gamma, n)Be^8$  з порогом реакції 1.67 MeV, що істотно для даного типу мікротронів. Поперечні розміри парафінового сповільнювача  $45 \times 45 \text{ см}^2$ , берилієвого блоку -  $10 \times 14 \text{ см}^2$ , вага - 2 кг. Упритул до берилієвого блоку був розташований активаційний індикатор нейтронів  $CoCO_3 \cdot Co(OH)_2 \cdot nH_2O$ .

Дослідження енергетичного спектру нейтронів показали, що спектр нейтронів практично тепловий. Потік нейтронів залежить від струму виведених електронів з прискорювача, а тим самим від кількості  $\gamma$ -квантів. При енергії електронів 8,6 MeV і струмі виведеного пучка 5 мкА густина потоку теплових нейтронів становила  $2 \cdot 10^6 \text{ н}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ . Як показали дослідження, розподіл нейтронів практично ізотропний відносно осі пучка.

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРІВ ПАРНО-ПАРНИХ ІЗОТОПІВ ЗАЛІЗА В АДІАБАТИЧНОМУ НАБЛИЖЕННІ

*В.В. Гриньов, Р.М. Плекан, В.Ю. Пойда*  
*Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна*

У рамках адіабатичної тричастинкової моделі [1] проведено теоретичний опис енергетичного спектру парно-парних ядер, ефектів спарювання тотожних нуклонів та їх кутових і радіальних кореляцій. У запропонованій моделі парно-парне ядро розглянуто як систему, що складається із відповідного остова і двох валентних нуклонів. Середнє ядерне поле змодельовано потенціалом Вудса-Саксона, залишкова взаємодія валентних нуклонів – потенціалом нульового радіуса дії із врахуванням відштовхування нуклонів на малих віддальх. В основі моделі покладено також припущення про корельований рух валентних нуклонів, а саме відокремлення руху на швидкий рух по кутових змінних, і адіабатичний (повільний) вздовж гіперрадіусу  $R$ .

Ефективність адіабатичного наближення проілюстрована на прикладі розрахунків енергетичних спектрів парно-парних ізотопів заліза. Результати

розрахунків узгоджуються в цілому з існуючими експериментальними даними, однак одночасно вказують на необхідність врахування поляризації ядерного остова та проведенні змішування конфігурацій у незаповненій оболонці із-за кореляцій тотожних нуклонів. Проведені також чисельні розрахунки енергій спарювання, які обумовлені впливом парних кореляцій тотожних нуклонів. Доведено, за рахунок залишкової взаємодії виникає тонка структура спектру по сумарному кутовому моменту ядра і що внесок спарювання, як правило, не перевищує 2 МеВ.

1. Р.М. Плекан, В.Ю. Пойда, І.В. Хіміч // *УФЖ*. 2004, т. 49, с. 743.

## ДАННЫЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КОНСТАНТ РАСПАДА ЯДЕР $^{212,213,214}\text{Po}$

*О.Д. Петренко*

*Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, г. Харьков*

В ряде экспериментов с радиоактивными изотопами были найдены различного типа аномалии экспоненциальной формы кривой распада ядер. Так длительные измерения времени полураспада  $^{32}\text{Si}$  в Брукхейвенской национальной лаборатории путём прямого измерения скорости счета как функции времени показали наличие годовых вариаций постоянной распада на уровне  $3\sigma$  [1]. В работе [2] представлены результаты скоростей распадов бета-активных ядер, полученные в институте метрологии (Германия), в которых наблюдались статистически значимые годовые вариации констант распада.

В отличие от вышеупомянутых работ, в которых период полураспада определялся по результатам анализа зависимости от времени активности исследуемого изотопа, в нашей работе анализируются распаднe кривые, полученные из непосредственной регистрации времени жизни ядра от рождения до распада (Bi-Po-процессы). В настоящем докладе представлена методика проведенных измерений и результаты анализа временных рядов значений  $T_{1/2}$  с различным временным шагом с трёх похожих экспериментальных установок. В рядах значений констант распада обнаружены годовые вариации с амплитудой порядка  $8 \times 10^{-4}$ , солнечно-суточные вариации с амплитудами  $(11.7 \pm 5.2)$ ;  $5.3 \pm 0.1$ ;  $7.5 \pm 1.2) \times 10^{-4}$ , соответственно для  $^{212}\text{Po}$ ,  $^{213}\text{Po}$  и  $^{214}\text{Po}$ . Усреднённое значение периода полураспада составило  $294.35 \pm 0.07$  нс для  $^{212}\text{Po}$  (210 дня);  $3.705 \pm 0.001$  мкс для  $^{213}\text{Po}$  (622 дня); и  $163.47 \pm 0.03$  мкс для  $^{214}\text{Po}$  (973 дня).

1. D.E.Alburger, G.Harbottle and E.F.Norton // *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **78** (1986)168.

2. P.A.Sturrock, E.Fischbach, and J.Jenkins. // *The Astrophysical Journal*, **794** (2014) 42.

## ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ ІОНАМИ $\text{He}^+$ НА ТИПИ ПОШКОДЖЕНЬ ТАНТАЛОВИХ ПОКРИТТІВ

*В.В. Бобков, Л.П. Тищенко, Ю.І. Ковтуненко, Ю.Є. Логачов, О.Б. Цапенко,  
А.О. Скрипник, Л.О. Гамаюнова, І.С. Махотка*

*Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна*

У роботі методами термодесорбційної спектроскопії досліджено процеси, що супроводжують імплантацію прискорених іонів гелію в танталові покриття багат шарових композиційних структур. Танталові покриття завтовшки 1 мкм та 1.5 мкм, одержані за допомогою методу магнетронного розпилення Та мішені в атмосфері Ar та осадження на підкладку з неіржавіючої сталі, опромінювали іонами  $\text{He}^+$  з енергією 20 кеВ до доз  $(0.1 - 1.2) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$  при температурах мішені 290 – 870 К.

Досліджено спектри термічної десорбції гелію з танталових покриттів. Знайдено температурні інтервали виділення гелію у вакуум, піки переважної термодесорбції імплантованого газу із опромінених зразків, визначено коефіцієнти захоплення гелію у танталове покриття. Вивчено вплив дози опромінення іонами  $\text{He}^+$  та температури мішені при бомбардуванні на захоплення та виділення у вакуум імплантованого гелію і на утворення пошкоджень матриці. Зроблено зіставлення накопичення гелію у Та і W покриттях та його термодесорбції з цих покриттів. Гелій накопичується майже однаково в обох матеріалах. Зроблено припущення щодо механізмів утворення та відпаду різних типів пошкоджень при опроміненні іонами  $\text{He}^+$  покриттів. З'ясовано вплив утворених пошкоджень на структурні властивості та радіаційну стійкість досліджених покриттів перспективних багат шарових функціональних структур для установок термоядерного синтезу.

## НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ОПЕРАТОРОВ СПИНА И ОРБИТАЛЬНОГО МОМЕНТА

*Т.В. Загоскин*

*Институт теоретической физики имени А.И. Ахиезера ННЦ ХФТИ, г. Харьков*

Существует несколько подходов к определению операторов спина и орбитального момента в нерелятивистской квантовой механике (см., например, [1]). В этих подходах спин – это собственный момент импульса частицы, а орбитальный момент – её момент импульса, связанный с движением в пространстве. В этом докладе вводятся более чёткие определения операторов спина и орбитального момента, и рассматриваются следствия этих определений. Получены следующие следствия:

- коммутационные соотношения для операторов спина, орбитального и полного моментов в предлагаемом подходе такие же, как и в подходе [1];
- выведены явные угловые зависимости волновых функций для состояний с произвольными целыми или полужелыми спинами;

-матрицами оператора спина в базисе собственных волновых функций операторов квадрата спина и проекции спина на некоторую ось для спина  $1/2$  являются матрицы, зависящие от некоторого параметра  $B$ , и схожие с матрицами Паули; если  $|B| = 1$ , они совпадают с матрицами Паули;  
-уровни энергии водородоподобного атома в данном подходе с высокой точностью совпадают с уровнями энергии в подходе [1].

[1]. Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц. Квантовая механика (нерелятивистская теория) (Физматгиз, Москва, 1963 год).

[2]. J. Schwinger. Particles, Sources, and Fields, vol. 1 (Perseus Books Publishing, USA, 1998).

## МЕХАНИЗМЫ РОЖДЕНИЯ ПАР ТОП И АНТИ-ТОП КВАРКОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ УЛЬТРАРЕЛЯТИВИСТСКИХ ПРОТОНОВ

*В.В. Котляр<sup>1,2</sup>, А.С. Сафронов<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина;*

*<sup>2</sup>Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»*

Рождение пар  $t$  анти- $t$  кварков совместно со струями в столкновениях протонов моделируется при энергии  $s^{1/2} = 13$  ТэВ. Рассматриваются процессы, в которых струи порождаются глюонами,  $u$ ,  $d$ ,  $c$ ,  $s$ ,  $b$  кварками и антикварками. Партонные процессы моделируются с программами, полученными с помощью [MadGraph5\\_aMC@NLO](#), и с использованием Pythia 8 для учета ливней. В древесном приближении КХД вычисления проведены для конечных состояний, содержащих  $N$  струй с  $N = 0, 1$  и  $2$ . Выполнены также расчеты, в которых эмиссия виртуальных частиц в промежуточных состояниях учитывается с  $N = 0$  и  $1$ .

Интегральные сечения процессов вычислены в условиях эксперимента ЛНСб на ЛНС CERN. В соответствии с измерениями ЛНСб в моделирование были включены распады  $t$  кварков на  $W$  бозоны и  $b$  кварки, распады  $W$  на электроны или мюоны и нейтрино. Среди событий, содержащих  $e^\pm$ ,  $\mu^\pm$  и  $b$ -струю в конечных состояниях, были отобраны такие, которые удовлетворяют экспериментальным ограничениям на поперечные импульсы и псевдобыстроты лептонов и  $b$ -струй, и на величины  $\Delta R$ , характеризующие расстояния между ними по угловым переменным. Проведен анализ неопределенностей вычисленных сечений, которые обусловлены вариациями шкал перенормировки и факторизации, а также функций распределения партонов в протоне.

## РОЖДЕНИЕ БОТТОМ КВАРКОВ, МЕЗОНОВ И БАРИОНОВ В РАССЕЯНИИ ПРОТОНОВ ЯДРАМИ

*В.В. Котляр<sup>1,2</sup>, Р.М. Тимченко<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина;*

*<sup>2</sup>Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»*

Рождение  $W$ -мезонов и  $b$ -барионов в столкновениях протонов и ядер свинца моделируется с генератором событий Pythia 8.240. В вычислениях используется группа мягких дифракционных процессов и Angantyr модель в теории столкновений ультррелятивистских ядер. Фрагментация партонов описывается на основе модели Лундовской струны. Рассчитаны дифференциальные и интегральные сечения рассмотренных реакций при энергиях экспериментов на Большом адронном коллайдере ЦЕРН. Основной вклад в сечения вносит дифракционное рассеяние вида  $p + {}^{208}\text{Pb} \rightarrow p + X$ . Демонстрируется, как на сечения влияют партонные ливни и многократное взаимодействие партонов. Рассчитанные сечения сравниваются с результатами измерений ALICE и LHCb. Проведено также сравнение сечений рождения  $b$ -кварков в столкновениях протонов, которые были получены с Pythia для различных групп процессов в квантовой хромодинамике (КХД), и с [MadGraph5\\_aMC@NLO](#) в следующем за лидирующим порядке теории возмущения КХД.

## Секция 2. Ядерно-физические методы в смежных науках

### Session 2. Nuclear methods in allied sciences

#### ИНДЕКСЫ ОТБОРА У DROSOPHILA MELANOGASTER ПОСЛЕ ОСТРОГО $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИЯ

*Д.А. Скоробагатько, А.А. Мазилов*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Действие повышенных доз ионизирующих излучений на живые организмы может приводить к изменениям приспособленности их популяций и, таким образом, к нарушениям экологического равновесия на загрязненных территориях. Изменения в плодовитости и выживаемости отражаются на интенсивности отбора, что можно измерить с помощью индексов Кроу ( $I_{tot}$ ,  $I_m$ ,  $I_f$ ). Изменения общего показателя отбора  $I_{tot}$ , пропорции индексов дифференциальной смертности  $I_m$  и дифференциальной плодовитости  $I_f$  позволяют оценить стратегии отбора под влиянием различных факторов.

Виргинных самок, самцов или имаго обоих полов дрозофилы линии дикого типа *Oregon-R* в возрасте трех суток подвергали острому облучению тормозными  $\gamma$ -квантами на линейном ускорителе электронов ЛУЭ-10. После чего их скрещивали между собой и рассчитывали индексы отбора в потомстве на эмбриональной и постэмбриональной стадиях развития на основании показателей дифференциальной смертности и плодовитости. В работе использовали дозы облучения 8 Гр, 16 Гр и 25 Гр.

Установлено, что индексы отбора в первом поколении после облучения существенно вырастают пропорционально полученной дозе: на эмбриональном уровне в 2,0–7,2 раз, на постэмбриональном – в 1,3–7,6 раз. После облучения обоих родителей эффект был большим, чем после облучения одного из них. Во втором поколении индексы отбора уменьшаются до уровня контроля, или даже ниже.

#### ПОЛИКОНДЕНСАЦИЯ МЕТИЛЭТИЛКЕТОНА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ РАДИОФАРМПРЕПАРАТА $^{99m}\text{Tc}$

*А.И. Азаров, В.А. Бочаров*

*Научно-исследовательский комплекс «Ускоритель» ННЦ ХФТИ НАН Украины,  
г. Харьков, Украина*

Самый распространенный способ разделения молибдена и технеция это экстракционный. В качестве экстрагента используется метилэтилкетон (МЭК), аналог ацетона. Водная и органическая фазы смешиваются. Водная фаза к тому же является высококонцентрированным раствором гидроксида калия и карбоната калия, который является высаливателем. После непродолжительного контакта фазы разделяются и органический экстракт выпаривается. Сухой остаток растворяется в физиологическом растворе и таким образом получается

радиофармпрепарат. Мы заметили, что конечный препарат иногда получается мутный. Изучение литературы показало, что кетоны в щелочной среде могут конденсироваться. Образующиеся непредельные соединения подвергаются дальнейшей полимеризации с образованием смолистых веществ, обуславливающих мутность препарата. Проведены эксперименты доказывающие наличие полимеризации МЭК при нагреве в щелочной среде (гидроксид калия, карбонат калия). Для борьбы с этим явлением необходимо отгонку МЭК вести при минимальной температуре (80-82<sup>0</sup>).

#### МЕЧЕНИЕ ГЛЮКОЗЫ ИЗОТОПОМ <sup>11</sup>C КАК СРЕДСТВО ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОФАРМПРЕПАРАТА «ГЛЮКОЗА, <sup>11</sup>C»

*А.Н. Довбня, Р.Н. Дронов, В.А. Кушир, В.В. Митроченко, С.А. Пережогин, Л.И. Селиванов, В.А. Шевченко, Б.И. Шраменко*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

В мировой практике фторирование глюкозы изотопом <sup>18</sup>F и "мечение" глюкозы изотопом <sup>11</sup>C являются довольно сложными и дорогостоящими технологическими процессами синтеза радиофармпрепаратов (РФП) с использованием пучка протонов циклотрона (запатентованная технология "черный ящик"). Авторами реализован «фотоядерный способ мечения» глюкозы изотопом <sup>11</sup>C, который осуществляется путем облучения стандартной лечебной формы (глюкозы моногидрат) пучком гамма-квантов линейного ускорителя электронов с энергией 35 МэВ для образования изотопа <sup>11</sup>C в результате фотоядерной реакции <sup>12</sup>C (γ,n) <sup>11</sup>C на ядре <sup>12</sup>C, естественным образом входящем в состав молекулы моногидрата глюкозы – C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>·H<sub>2</sub>O. При этом процесс получения глюкозы, меченной изотопом <sup>11</sup>C (с достигнутой удельной активностью 110 МБк/г), существенно упрощается и удешевляется, т.к. исключаются традиционные операции синтеза РФП, меченного изотопом <sup>11</sup>C. Разработка защищена патентом Украины от 25.01.2019 г.

#### КАЛИБРОВКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ШИРОКОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

*И.В. Пилипчинец, О.А. Парлаг, В.Т. Маслюк, В.М. Головей, А.И. Лендьел, Й.Й. Гайниш, Г.Ф. Питченко, А.Н. Турховский, М.В. Гошовский*  
*Институт электронной физики НАН Украины, г. Ужгород*

Коммерчески доступные сертифицированные источники гамма-излучения, рекомендованные МАГАТЭ для калибровки п/п детекторов по абсолютной эффективности, хорошо охватывают диапазон энергий только до ~ 1840 кэВ (<sup>88</sup>Y). Для расширения энергетического диапазона вместе с гамма-излучением от стандартных источников используют высокоэнергетическое гамма-излучение от радионуклидов (например: <sup>24</sup>Na, <sup>72</sup>Ga, <sup>56</sup>Co, <sup>66</sup>Ga и др.) «наработанных» на ректорах, циклотронах. Однако их использование ограничено из-за небольших периодов полураспада и высокой стоимости изготовления, что привязывает место проведения процедуры калибровки к месту наработки радионуклидов.



Частично данная проблема может быть решена за счет применения запаздывающего гамма-излучения от продуктов деления ядер актинидов, которое охватывает широкий энергетический диапазон.

В работе представлены результаты использования запаздывающего гамма-излучения продуктов ( $^{94}\text{Y}$ ,  $^{134}\text{Te}$ ,  $^{139}\text{Ba}$ ,  $^{141}\text{Ba}$  и  $^{138}\text{Cs}$ ) фотоделения ядра  $^{238}\text{U}$ , накопленных в алюминиевой фольге, для калибровки  $\text{Ge(Li)}$ - детектора по абсолютной эффективности для широкой области энергий (до 2639.5 кеВ). Для стимуляции реакции  $^{238}\text{U}(\gamma, f)$  применялось тормозное излучение полученное на электронном ускорителе - микротроне М 30.

### КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ СТИМУЛЯЦИИ РЕАКЦИИ ФОТОДЕЛЕНИЯ ЯДЕР АКТИНИДОВ

*Е.В. Олейников, И.В. Пилипчинец, О.А. Парлаз, В.Т. Маслюк, Лендьел,*

*Й.Й. Гайниши, Г.Ф. Питченко, А.Н. Турховский*

*Институт электронной физики НАН Украины, г. Ужгород*

[zheka.net.ua@gmail.com](mailto:zheka.net.ua@gmail.com)

При исследовании характеристик реакций фотоделения ядер актинидов широко используются пучки тормозного излучения, полученные на электронных ускорителях, которые одновременно состоят из высокоэнергетических фотонов и фотонейтронов. Наличие фотонейтронов может привести к вкладу от сопутствующих (n,f)-реакций в характеристики  $(\gamma, f)$ -реакции, поскольку значения сечений (n,f)-реакций для отдельных ядер могут быть на один-два порядка выше значений сечений  $(\gamma, f)$ -реакций. Поэтому возникает потребность в количественном определении содержания фотонов и фотонейтронов в пучке тормозного излучения.

Тормозное излучение генерировалось на микротроне М-30 с использованием танталовой пластины толщиной 1 мм. С помощью активационных детекторов определялось содержание фотонейтронов (медленных и быстрых) и высокоэнергетических фотонов в пучке тормозного излучения в плоскости размещения делящейся мишени. Содержание медленных ( $E_n < 2.0$  эВ) нейтронов в пучке тормозного излучения определялся по активности радиоизотопов  $^{28}\text{Al}$ ,  $^{52}\text{V}$ ,  $^{56}\text{Mn}$ , а высокоэнергетических фотонов (энергетический диапазон: 10.23 ÷ 17.75 МэВ) - путем регистрации гамма-излучения радиоизотопа  $^{54}\text{Mn}$  и  $^{196}\text{Au}$  образованных по каналам  $(\gamma, n)$ - реакций. Суммарная погрешность измерений не превышала 20%. Основной вклад в погрешность давала неопределенность количества ядер изотопов - элементов активационных детекторов ~ 15%.

### ГАРМОНІЗАЦІЯ ЗНАЧЕНЬ ЯДЕРНИХ КОНСТАНТ ПРИ РОЗРАХУНКУ ЛАНЦЮГІВ РАДІОАКТИВНОГО РОЗПАДУ З ПІДВИЩЕНОЮ ТОЧНІСТЮ

*О.М. Пон<sup>1</sup>, К.С. Шарохін<sup>2</sup>, В.Т. Маслюк<sup>1</sup>, А.А. Саєнко<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Институт электронной физики НАН Украины, м. Ужгород;*

*<sup>2</sup>ДВНЗ «Ужгородський національний університет», м. Ужгород*

Теоретичний розрахунок активностей, використовуючи диференціальні рівняння Бейтмена, важливий для різних галузей – від ядерної енергетики,

геології, мінералогії до геохронології. Розрахунки такого роду залежать від констант розпаду або періоду напіврозпаду радіоізоотопів природних рядів  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ . Значення вказаних констант розпаду (періоду напіврозпаду) різних радіоізоотопів знаходяться у широкому діапазоні – від мільярдів років до малих часток секунди. Вказані значення фіксуються у різних базах ядерно-фізичних констант із певною точністю. Відповідно, такі розрахунки залежать від точних визначень вказаних констант розпаду. Тому будь-які зміни чи невизначеності у значеннях періоду напіврозпаду призводять до великих коливань та невизначеностей у розрахунках активностей радіоізоотопів.

При проведенні розрахунків активностей радіоактивного розпаду було встановлено, що в деяких випадках з'являються осциляції (коливання їх значень близько нульового значення), а також гладкі негативні значення. Нами, використовуючи запропонований метод стандартних множин нуклідів та методику статистичного моделювання, представлено схему гармонізації ядерно-фізичних констант нуклідів природних рядів  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ . Можливості представленої методики ілюструються на прикладі нуклідів природного ряду  $^{232}\text{Th}$ , для яких аналізуються можливі джерела похибок їх ядерних констант.

## РАДІАЦІЙНА ПОГОДА ТА РАДІАЦІЙНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДОВКІЛЛЯ ЯК НОВІ ПОНЯТТЯ СУЧАСНОЇ РАДІОЕКОЛОГІЇ

*Н.І. Сватюк<sup>1</sup>, В.Т. Маслюк<sup>1</sup>, О.І. Симканич<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород;*

*<sup>2</sup>ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород*

У роботі розглянуто поняття та параметри «радіаційної погоди», які можуть бути встановлені через процедуру радіоекологічного моніторингу. Методологія підходу базується на нових технологіях ядерної метрології низькофонових експериментів і достовірності ідентифікації вмісту ізоотопів природного та штучного походження у зразках довкілля на прикладі заповідних територій. Задача полягає у достатності вибірки ізоотопів-маркерів базових і слідових хімічних елементів для діагностики природних або геохімічних характеристик та радіаційної паспортизації довкілля. Результати досліджень дозволили отримати базу даних стандартів вмісту ГАН природного і техногенного походження для низки заповідних територій Закарпаття, що важливо для радіаційного картографування, зокрема щодо поширення U/Th/K компонентів на досліджуваній території. Наявність таких карт є необхідною умовою встановлення параметрів радіаційної погоди, для фіксації геохімічних показників та оцінки поширення компонентів  $^{220,222}\text{Rn}$ .

Приведено попередні дані радіаційного картографування та паспортизації заповідних територій і дослідження особливостей геохімічних показників ізольованих гірських районів Закарпаття.

## ФОТОЯДЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО Tc-99m ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАНОЧАСТИЦ МОЛИБДЕНИТА

Н.П. Дикий<sup>1</sup>, Н.В. Красносельский<sup>2</sup>, Ю.В. Ляшко<sup>1</sup>, Е.П. Медведева<sup>1</sup>,  
Д.В. Медведев<sup>1</sup>, В.Л. Уваров<sup>1</sup>, И.Д. Федорец<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина;

<sup>2</sup>ГУ Институт медицинской радиологии им. С.П. Григорьева, Харьков, Украина;

<sup>3</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина

Ядерная реакция  $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$  использована для получения  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Активация образцов наночастиц молибденита проведена на линейном ускорителе электронов с  $E = 13$  МэВ. Активность изотопов измерена Ge(Li)-детектором. Известно, что коэффициенты диффузии молибдена и технеция в молибдените различаются [1]. Данная особенность была использована для выделения технеция-99m с применением химических реагентов тропных к технецию [2].

Показана возможность выделения  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  из раствора NaOH. Для выделения  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  проводился электролиз в 2 N растворе едкого натра.

This work supported by IAEA Research Contract No: UKR-22435 “Production of Tc-99m on Electron Accelerators”.

[1.] Н.-Р. Komsa, A.V. Krasheninnikov Native defects in bulk and monolayer MoS<sub>2</sub> from first principles // Phys. Rev. – 2015. – vol.B91. – 125304-17p.

[2.] S.M. Bulatovic *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice: Flotation of Sulfide Ores*. “Elsevier Science & Technology Books”, 2007, 446 p.

## ТЕСТ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ ДОЗЫ $^{153}\text{Sm}$ -ОКСАБИФОРА ПРИ ЛЕЧЕНИИ БОЛЬНЫХ С КОСТНЫМИ МЕТАСТАЗАМИ

Н.П. Дикий<sup>1</sup>, Ю.В. Ляшко<sup>1</sup>, Е.П. Медведева<sup>1</sup>, Д.В. Медведев<sup>1</sup>,  
А.В. Грушка<sup>2</sup>, О.И. Паскевич<sup>2</sup>, О.Н. Астаьева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина;

<sup>2</sup>ГУ Институт медицинской радиологии им. С.П. Григорьева, Харьков, Украина

Проведены измерения динамики активности крови пациентов с костными метастазами при радионуклидной терапии (РНТ)  $^{153}\text{Sm}$ -оксабифором с помощью Ge(Li)-детектора с разрешением 3,2 кэВ по линии 1333 кэВ. Такое сопровождение пациентов позволяет оптимизировать индивидуальную дозу  $^{153}\text{Sm}$ -оксабифора при проведении паллиативной РНТ болевого синдрома. Это будет способствовать предотвращению осложнений на критические органы и ткани (плазма крови, печень, почки, мочевой пузырь). Из ряда клинических исследований следует, что динамика формирования лучевых нагрузок на критические органы индивидуальна для разных пациентов.

Проведенные измерения активности крови пациентов, которые проходили курс РНТ, подтверждают значительные различия в динамике накопления  $^{153}\text{Sm}$ -оксабифора у разных пациентов. Введенная активность

радиофармпрепарата колебалась от 966,0 МБк до 4202 МБк (средняя  $2630,0 \pm 970,0$  МБк) массы тела больного.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСХОДНЫХ И АКТИВИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ СОРБЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ

*Н.П. Дикий<sup>1</sup>, Ю.В. Ляшко<sup>1</sup>, Е.П. Медведева<sup>1</sup>, Д.В. Медведев<sup>1</sup>,  
Ю.Г. Пархоменко<sup>1</sup>, В.Л. Уваров<sup>1</sup>, И.Д. Федорец<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина;

<sup>2</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина

Проведен сравнительный анализ фазового состава, состояния кристаллической структуры и характера решеточных колебаний Fe-O-связей в образцах исходных и  $\gamma$ -активированных наночастиц оксидов железа: гематита ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и магнетита (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), размер наночастиц ~40 нм. Изучение характеристик наночастиц оксидов железа и использование их в качестве селективных сорбентов для радионуклидов связано с их радиационной резистентностью, термоустойчивостью, а также минимизацией риска загрязнения окружающей среды.

В работе показана высокая сорбционная емкость от 5 до 9 мг-экв/г для активированных наночастиц железа в отношении U, Th, Am из жидкой среды в интервале pH=5-8, относительно более низких значений для исходных наночастиц.

Эта работа частично поддержана МОН Украины (пр. №0118U002031).

## ИЗОТОПНОЕ ОТНОШЕНИЕ <sup>44</sup>Ca/<sup>48</sup>Ca ПРИ ТРАВМАТИЧЕСКОМ НИЖНЕЧЕЛЮСТНОМ ОСТЕОМИЕЛИТЕ

*Н.П. Дикий<sup>1</sup>, С.Н. Григоров<sup>2</sup>, Ю.В. Ляшко<sup>1</sup>, Е.П.Медведева<sup>1</sup>, Д.В. Медведев<sup>1</sup>,  
Л.П. Рекова<sup>2</sup>, И.Д. Федорец<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина;

<sup>2</sup>Харьковский национальный медицинский университет, Харьков, Украина;

<sup>3</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина

Целью работы явилось определение изотопного отношения <sup>44</sup>Ca/<sup>48</sup>Ca в волосах больных, у которых развивался остеомиелит в результате челюстно-лицевой травмы.

Проведен сравнительный анализ показателей, влияющих на развитие этой патологии: 89% больных – мужчины, 80% – моложе 50 лет, 69% – наличие Staphylococcus species и Staphylococcus aureus, иммунологические дисфункции, выявление данной патологии не раньше 3-7 дней после травмы.

Изотопное отношение <sup>44</sup>Ca/<sup>48</sup>Ca у пациентов с развитием остеомиелита в результате челюстно-лицевой травмы было снижено относительно группы контроля.

Эта работа частично поддержана МОН Украины (пр. №0118U002031).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕСЯТИЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА ОСТЕОПЕНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ У ДЕТЕЙ ВОСТОЧНОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ

*Н.П. Дикий<sup>1</sup>, Ю.В. Ляшко<sup>1</sup>, Е.П. Медведева<sup>1</sup>, Д.В. Медведев<sup>1</sup>, Т.А. Пархоменко<sup>1</sup>, В.Л. Уваров<sup>1</sup>, И.Д. Федорец<sup>2</sup>, Т.В. Фролова<sup>3</sup>, И.Р. Синяева<sup>3</sup>, Н.Ф. Стенковая<sup>3</sup>, И.И. Терещенкова<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина;

<sup>2</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина;

<sup>3</sup>Харьковский национальный медицинский университет, Харьков, Украина

Такие заболевания, как остеопения и остеопороз у детей, являются сложной проблемой в области педиатрии, т.к. до настоящего времени остаются трудно диагностируемыми и быстро растущими.

В данной работе приводится анализ результатов десятилетнего мониторинга нарушений патогенетических аспектов формирования этих патологий и их связь с минеральным профилем детей, проживающих на востоке Украины.

У 96,5% детей с первичными проявлениями остеопении и остеопороза отмечаются минеральные нарушения, которые характеризуются изменениями кальциевого обмена на фоне умеренного повышения накопления Pb и Sr в организме.

Эта работа частично поддержана МОН Украины (пр. №0118U002031).

## ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД НАНОТЕХНОЛОГИИ, УВЕЛИЧИВАЮЩИЙ ВРЕМЯ ХРАНЕНИЯ ДОНОРСКОЙ КРОВИ ЗА СЧЕТ СТАБИЛИЗАЦИИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ БЕЛКОВ И ЛИПИДОВ МЕМБРАН КОНСЕРВИРОВАННЫХ ЭРИТРОЦИТОВ

*Е.П. Березняк<sup>1</sup>, Е.П. Медведева<sup>1</sup>, Ю.С. Ходырева<sup>1</sup>, А.Н. Белоусов<sup>2</sup>, Е.Ю. Белоусова<sup>2</sup>, Е.И. Малигон<sup>2</sup>, В.В. Яворский<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина;

<sup>2</sup>Харьковский областной центр службы крови, Харьков, Украина

Проблема сохранения устойчивости функциональной активности консервированных эритроцит-содержащих компонентов (ЭСК) в процессе их хранения, на сегодняшний день, остается крайне актуальной для служб крови, клинической трансфузиологии и гематологии. Исследование посвящено изучению изменений структуры мембран эритроцитов на уровне молекулярных связей при их хранении при положительной температуре с помощью метода инфракрасной спектроскопии (ИК). Объектами исследований являлись ЭСК в мешках, содержащих консервант CPD, и ЭСК в мешках, содержащих консервант CPDA-1. В качестве мембранопротектора использовался физиологический раствор NaCl, ранее обработанный наночастицами магнетита (ИКНБ) по методу Белоусова. Анализ изменений, происходящих в ИК-спектрах контрольных и тестовых образцов в различных вариантах консервирующих сред, показал, что в тесте, где применялась нанотехнология, существенно ингибировался процесс разрушения структуры мембран эритроцитов в суспензиях. Было выявлено, что начало разрушения структуры мембран эритроцитов происходит на семь дней

позже, чем в контроле. Кроме того, в тесте, с консервантом CPDA-1 полного разрушения структуры липидов и белков мембран эритроцитов не наблюдалось и на 49-й день исследования. В целом результаты наглядно показали, что представленный способ применения нанотехнологий значительно увеличивает время хранения ЭСК в различных вариантах консервантов за счет механизмов снижения нарушений молекулярной структуры белков и липидов в мембранах эритроцитов.

## ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ СОРБЦИИ ЦЕЗИЯ И СТРОНЦИЯ

*Н.П. Дикий<sup>1</sup>, Ю.В. Ляшко<sup>1</sup>, Е.П. Медведева<sup>1</sup>, Д.В. Медведев<sup>1</sup>, В.Л. Уваров<sup>1</sup>,  
И.Д. Федоренко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина;

<sup>2</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина

Селективность ионообменных свойств природных алюмосиликатов используется для сорбции радионуклидов из отходов на АЭС, удаления аммиака из сбросных вод, промышленных выбросов аминов и тяжелых металлов. Данные о радиационно-модифицированных свойствах алюмосиликатов, перспективных для захоронения радионуклидов, практически отсутствуют. Измерение спектров выщелачивания радионуклидов из алюмосиликатов под действием ионизирующего излучения является актуальным направлением исследований.

Проведенное сравнение оптических спектров растворов после выщелачивания из исходных и облученных алюмосиликатов со спектрами примесных соединений Na, Ca, Mn, K и спектром аниона  $MnO_4^-$  показало их соответствие. Рассматривается возможный механизм и общность геологических условий минералообразования алюмосиликатных и марганцевых минералов, которые могут быть использованы в качестве промежуточных барьеров при захоронении радиоактивных отходов.

Эта работа частично поддержана МОН Украины (пр. №0118U002031).

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН МЕТАЛУ ГЦТ ДУ-850 АЕСУ

*С.В. Гоженко, В.В. Петухов, І.М. Шаповал*

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

Напружено-деформований стан (НДС) основного металу та зварних з'єднань є одним із важливих параметрів трубопроводів і конструктивних елементів обладнання, що дозволяють контролювати рівень безпеки обладнання, і тим самим визначають безпечну експлуатацію енергоблоків АЕС. НДС визначає у великій мірі умови виникнення дефектної структури в матеріалі та її подальший характер еволюції.

Методом кінцевих елементів досліджено вплив динамічних навантажень під час пуску реактора ВВЕР 1000 для гарячої та холодної гілок головного

циркуляційного трубопроводу (ГЦТ) Ду-850. Отримано розподіли поля напружень і деформацій, що виникають під час змін температури і тиску за нестационарних умов в процесі виходу реакторної установки на усталений режим, вказано на ділянки трубопроводу, які можуть стати потенційно небезпечними щодо появи та прискореного розвитку дефектів.

## ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ И $\gamma$ -КВАНТАМИ НА СТРУКТУРУ ПРИРОДНЫХ КВАРЦИТОВ

*Е.П. Березняк, Н.П. Дикий, И.В. Колодий, Ю.В. Ляшко, А.В. Мазилев,  
Ю.С. Ходырева*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина*

Объектом исследования в данной работе явились природные кварциты, перспективные для сооружения в них геологического хранилища РАО в Украине. С целью прогнозирования устойчивости структуры кварцита к радиационному воздействию со стороны РАО проведены имитационные эксперименты по его облучению ускоренными электронами на ЛУЭ «КУТ-1» с  $E=7$  МэВ и тормозными  $\gamma$ -квантами с  $E=12$  МэВ.

Элементный состав кварцитов измерен методом гамма-спектрометрии с использованием Ge(Li)-детектора. Регистрируются  $\gamma$ -линии, соответствующие радионуклидам из семейств  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{40}\text{K}$ . С помощью рентгеноструктурного анализа, ИК-спектроскопии и кристаллооптического анализа изучена структура исходного кварцита и проведен сравнительный анализ структурно-фазовых преобразований, происходящих в результате разных видов радиационного воздействия. Установлено, что исходный кварцит состоит из зерен  $\alpha$ -кварца, связанных полуаморфным кремнеземистым цементом. В результате облучения как электронами, так и  $\gamma$ -квантами до доз  $10^8$  Гр и  $3,5 \cdot 10^8$  Гр, соответственно, структура кварцита становится более упорядоченной в результате радиационного отжига дефектов исходной структуры и кристаллизации аморфного цемента. При облучении  $\gamma$ -квантами этот процесс протекает гораздо интенсивнее и начинается уже при дозе  $10^6$  Гр.

Кварциты обладают высокой радиационной устойчивостью и могут быть использованы в природной геологической среде для долговременного хранения РАО.

## НАКОПИЧЕННЯ МЕДИЧНОГО РАДІОНУКЛІДУ $^{103}\text{Pd}$ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ ПРОТОНІВ ТА ДЕЙТРОНІВ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ІЗОТОПАМИ СРІБЛА (ПРОПОЗИЦІЯ)

*С. Карпуть, Є. Скакун*

*ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, м. Харків*

Паладій-103 ( $^{103}\text{Pd}$ ,  $T_{1/2}=17$  діб) – це медичний радіоактивний ізотоп, особливі властивості розпаду якого роблять його майже ідеальним для застосування у внутрішньо-тканинній терапії злоякісних пухлин. Постійне зростання у всьому

світі потреб цього терапевтичного радіонукліду спонукає до пошуку додаткових шляхів його виробництва. Дослідження того чи іншого методу накопичення бажаного радіоізоотопу означає визначити ядерну реакцію його утворення, виміряти (або теоретично обчислити) переріз реакції в певному діапазоні енергій бомбардування, з перерізів розрахувати інтегральний вихід продукту в товстій мішені та порівняти його з виходами в інших реакціях. Важливою інформацією вважається також визначення вмісту в опроміненій мішені утворених супутніх радіонуклідів, які можуть відігравати негативну роль при клінічному застосуванні продукту.

На сьогоднішній день для накопичення  $^{103}\text{Pd}$  досліджено реакції, індуковані нейтральними (нейтрони та  $\gamma$ -кванти) та зарядженими (протони, дейтрони, геліони) частинками прискорювачів. Найбільш поширеними реакціями для виробництва  $^{103}\text{Pd}$  є (p,n) та (d,2n)-реакції. Проте на даний час рекордне значення виходу  $^{103}\text{Pd}$  отримано при використанні взаємодії  $^{nat}\text{Ag}+p$  [1] при енергії протонів 62 МеВ (вихід в товстій мішені складає 22 МБк·мкА $^{-1}$ ·год $^{-1}$ ).

Використовуючи базу даних TENDL-2015 [2] ми дослідили передбачення статистичною теорією перерізів всіх реакцій на пучках протонів та дейтронів для кожного стабільного ізотопу срібла окремо, що призводять до радіоактивного  $^{103}\text{Pd}$  та сусідніх радіонуклідів. Розраховані інтегральні виходи при енергіях протонів та дейтронів до 200 МеВ показали, що застосування в експерименті мішені срібла, збагаченого ізотопом  $^{107}\text{Ag}$ , дозволяє досягти виходів 310 МБк·мкА $^{-1}$ ·год $^{-1}$  на пучку протонів та 630 МБк·мкА $^{-1}$ ·год $^{-1}$  на пучку дейтронів. Оцінено рівень вмісту домішок побічних радіоізоотопів.

1. M. Fassbender, et al., *Radiochim. Acta.* 87, 87 (1999).
2. A.J. Koning, et al., TENDL-2015 Nuclear data library.

## ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ ФОТОЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ $^{114}\text{Sn}(\gamma,n)^{113}\text{Sn}$ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ $\gamma$ -ПРОЦЕССА ЗВЁЗДНОГО НУКЛЕОСИНТЕЗА

*А.В. Чеховская<sup>1,2</sup>, Е.А. Скакун<sup>1</sup>, И.Л. Семисалов<sup>1</sup>, В.И. Касилов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина;

<sup>2</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина

Одним из направлений ядерной астрофизики является изучение различных сценариев образования в звёздах стабильных изотопов химических элементов, из которых состоит материя. Для моделирования процесса образования так называемых *p-ядер* требуются сечения большого массива фотоядерных реакций в припороговой области энергий. В настоящей работе представлены результаты измерений сечений ( $\gamma,n$ )-реакции на магическом *p*-ядре  $^{114}\text{Sn}$ .

Эксперимент проводился с использованием тормозного спектра  $\gamma$ -квантов от танталового конвертора, который облучался пучком линейного ускорителя электронов ННЦ ХФТИ (ЛУЭ-300). Для измерения наведенной активности использовался гамма-спектрометр высокого разрешения на базе детектора из сверхчистого германия HPGe фирмы Canberra. Сечения реакции  $^{114}\text{Sn}(\gamma,n)^{113}\text{Sn}$



определялись из интенсивностей  $\gamma$ -лучей  $E_\gamma=392$  кэВ, сопровождающих распад радиоактивного ядра-продукта  $^{113}\text{Sn}$  ( $T_{1/2}=115$  дн.).

Результаты экспериментальных измерений сравниваются с имеющимися в литературе данными, которые были получены методом регистрации излучаемых нейтронов, и с расчетами статистической теории ядерных реакций, имплементированной в компьютерные коды NON-SMOKER [2] и TALYS [3]. Были проведены расчеты с различными моделями плотности уровней ядра и радиационной силовой функции. С экспериментальными результатами лучше согласуются предсказания статистической теории с моделями постоянной температуры для плотности уровней ядра и лоренциана Бринка-Акселя для радиационной силовой функции.

[1] E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, W. A. Fowler and F. Hoyle. Rev. Mod. Phys. v.29, p. 547-650 (1957).

[2] T. Rauscher, F.-K. Thielmann, ADNDT 80, 1 (2004).

[3] A.J. Koning, S. Hilaire and M.C. Duijvestijn, "TALYS-1.9" (2018).

## ФОТОАКТИВАЦИЯ ЛАНТАНОИДОВ ТОРМОЗНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ С ЭНЕРГИЕЙ 12,5 МэВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ Yb-175 И Sm-153

*Н.П. Дикий<sup>1</sup>, Н.В. Красносельский<sup>2</sup>, Ю.В. Ляшко<sup>1</sup>, Е.П. Медведева<sup>1</sup>,  
Д.В. Медведев<sup>1</sup>, В.Л. Уваров<sup>1</sup>, И.Д. Федорец<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина;*

<sup>2</sup> *ГУ Институт медицинской радиологии им. С.П. Григорьева, Харьков, Украина;*

<sup>3</sup> *Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина*

Наночастицы оксидов иттербия, самария, а также наночастицы клиноптилолита были облучены в течение 2-х часов тормозным  $\gamma$ -излучением с энергией 12,5 МэВ на ЛУЭ. Для получения изотопов  $^{153}\text{Sm}$  и  $^{175}\text{Yb}$  были использованы фотоядерные реакции  $^{154}\text{Sm}(\gamma,n)^{153}\text{Sm}$  и  $^{176}\text{Yb}(\gamma,n)^{175}\text{Yb}$ . Активность радионуклидов, содержащихся в оксидах лантаноидов и клиноптилолите, была измерена Ge(Li)-детектором. По интенсивностям линий  $\gamma$ -спектров получены оценки содержания элементов в образцах и показано, что их концентрация, например, в клиноптилолите, примерно совпадает с распространенностью этих элементов в земной коре. Оксиды лантаноидов обладали почти 95% чистотой.

Наночастицы оксидов  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  и  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  были использованы в качестве доноров для получения изотопов  $^{175}\text{Yb}$  и  $^{153}\text{Sm}$ , а наночастицы клиноптилолита – в качестве акцепторов. Кристаллохимические особенности клиноптилолита, способность к катионному обмену, потеря и поглощение воды без разрушения структурного каркаса, позволяют рассматривать клиноптилолит в качестве подходящего носителя для данных изотопов.

В работе показано, что с уменьшением размера наночастиц оксидов лантаноидов и клиноптилолита удельная активность  $^{153}\text{Sm}$  и  $^{175}\text{Yb}$  в клиноптилолите за счет ядер отдачи пропорционально возрастает.

Эта работа частично поддержана МОН Украины (пр. №0118U002031).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КИСЛОРОДА С ПОВЕРХНОСТЬЮ СПЛАВА-НАКОПИТЕЛЯ ВОДОРОДА $\text{LaNi}_5$

*И.И. Оксенюк, В.А. Литвинов, Д.И. Шевченко, В.В. Бобков  
Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина*

В настоящей работе методом масс-спектрометрии вторичных ионов проведено исследование химического состава поверхностных слоев сплава - накопителя водорода  $\text{LaNi}_5$  при взаимодействии с кислородом.

Анализ результатов показал, что с ростом парциального давления кислорода в камере мишени в масс-спектрах вторичных ионов, распыленных с поверхности образца, наблюдается увеличение количества ионов  $\text{La}_n\text{O}_m^{\pm}$ ,  $\text{Ni}_n\text{O}_m^{\pm}$  (где  $n$  и  $m$  принимают различные значения в случае положительных и отрицательных ионов), а также ионов  $\text{LaNiO}_m^{\pm}$ . Наличие таких эмиссий является прямым свидетельством того, что кислород на поверхности образует прочные химические связи с обоими компонентами сплава как лантаном, так и никелем.

Зависимости интенсивностей эмиссий кислородсодержащих вторичных ионов от парциального давления кислорода в большинстве случаев проходят через максимум при разных давлениях кислорода. Это свидетельствует о том, что по мере увеличения парциального давления кислорода на поверхности формируется окисная структура, в которой отношение количества атомов кислорода на атом матрицы увеличивается. Судя по разнообразию состава наблюдаемых вторичных ионов, такое окисное покрытие не является однородным, а представляет собой суперпозицию окисных структур с различными стехиометрическими соотношениями.

## ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗРАСТА УРАНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАЛИБРОВКИ ПО «ВНУТРЕННЕЙ» ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕТЕКТОРА

*Д.Д. Бурдейный, Д.В. Кутний, С.А. Ванжа, А.А. Захарченко  
ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г Харьков*

В ядерной криминалистике возраст урановых материалов (время с момента их производства или химической очистки) является одной из характеристик для установления происхождения ядерных материалов, изымаемых из незаконного оборота.

Гамма-спектрометрическое определение возраста урановых материалов основано на измерении отношения активностей изотопов  $^{214}\text{Bi}/^{234}\text{U}$  путем калибровки детектора по «внутренней» (intrinsic) эффективности. Относительное содержание изотопа  $^{214}\text{Bi}$  ( $E_{\gamma}=609.3\text{кэВ}$ ) может быть оценено с помощью высокоэнергетической калибровки по основным пикам фотоэлектрического поглощения  $^{234\text{m}}\text{Pa}$  (560.30; 766.37; 1000.99; 1193.69; 1510.20, 1737.73 и 1831.36кэВ), аналогично для  $^{234}\text{U}$  ( $E_{\gamma}=1\ 20.90\text{кэВ}$ ) используются низкоэнергетические линии  $^{235}\text{U}$  (143.80; 163.30; 185.70; 205.30кэВ).

Для проведения экспериментальных исследований использовали наборы сертифицированных стандартных образцов урановых материалов SRM969 и CRM146 (химическая очистка выполнена в период 1977...1990г.г). Предложен способ аппроксимации относительной эффективности детектора функцией вида  $\Sigma_i \ln^i(E)$ , как для области высоких энергий, так и для низкоэнергетической части гамма-спектра. Неопределенность результатов определения возраста не превышала 10%.

## СЕЧЕНИЕ И АСИММЕТРИЯ СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ $^{12}\text{C}(\gamma, p)^{11}\text{B}$ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 55...62 МэВ

*Д.Д. Бурдейный<sup>1</sup>, В.Б. Ганенко<sup>1</sup>, J. Brudvik<sup>3</sup>, K. Fissum<sup>2</sup>, K. Hansen<sup>3</sup>, L. Isaksson<sup>3</sup>, K. Livingston<sup>4</sup>, M. Lundin<sup>3</sup>, B. Nilsson<sup>2</sup>, B. Schroder<sup>2,3</sup>*

*<sup>1</sup>Kharkov Institute of Physics and Technology, Kharkov, Ukraine;*

*<sup>2</sup>Department of Physics, Lund University, Lund, Sweden;*

*<sup>3</sup>MAX-Lab, Lund University, Lund, Sweden;*

*<sup>4</sup>Department of Physics and Astronomy, University of Glasgow, Glasgow, Scotland, UK*

В работе представлены результаты анализа данных по расщеплению ядер углерода линейно поляризованными фотонами в интервале энергий 55-62 МэВ. Приведены абсолютные значения сечения и асимметрии сечения реакции  $^{12}\text{C}(\gamma, p)^{11}\text{B}$ , когда ядро  $^{11}\text{B}$  находится в основном или одном из низко-лежащих возбужденных состояний.

Пучок линейно поляризованных фотонов был получен при взаимодействии электронов с энергиями 192МэВ с кристаллом алмаза толщиной 50мкм. Максимальная поляризация в области когерентного максимума (при энергии фотонов ~60МэВ) составляла ~40% при использовании коллиматора диаметром 5.4мм. Регистрация протонов осуществлялась с помощью  $\Delta E$ -E CsI/SSD-телескопа под углом  $90^\circ$  к фотонному пуску.

Результаты измерений показали, что асимметрия сечения реакции  $^{12}\text{C}(\gamma, p)^{11}\text{B}$  при энергии фотонов ~60МэВ существенна, как для основного так и для возбужденных состояний и достигает значения 0.8.

## Пленарное заседание 2. Ядерно-физические методы в области атомной энергетики, промышленности и медицины

## Plenary meeting 2. Nuclear physics methods in the field of nuclear energy, industry and medicine

### IN-LINE PHASE CONTRAST IMAGING (PCI) FOR MATERIAL SCIENCE

*A.I. Kul'ment'ev, A.V. Polishchuk*

*Institute of Applied Physics, National Academy of Sciences of Ukraine*

The basis of using X-rays for nondestructive visualization of internal structure of an object is the imprint that the substance of this object leaves upon the X-ray wave passing through it and consists in changing both the amplitude and the phase of X-ray wave. Direct measurement of the phase in the experiment is impossible, and therefore for a long time its changes were not taken into account. However, since the relative phase change can be several orders of magnitude greater than the similar amplitude changes, taking such changes into account can significantly increase the spatial sensitivity of the analysis. The report examined the prospects and applications of X-ray phase-contrast imaging methods in materials science. A review is given of existing approaches for transforming phase changes into detectable intensity changes. It is concluded that in-line PCI is optimal for recording both a two-dimensional projection of an object and for reconstructing its three-dimensional structure. In addition, the simplicity of the in-line PCI optical scheme imposes almost no restrictions on the type of material science experiment and allows of dynamic studies. The high spatial sensitivity of in-line PCI makes it possible to successfully investigate mesoscopic vacancy structural defects (pores, cracks, etc.), as well as to separate areas in different phase states (solid - liquid). Adequate interpretation of experimental results requires proper consideration of the relative contribution of both absorption and phase change and in general case can be performed only within the framework of the general theory of ill-posed problems. There are several such regularization approaches, which in reports are presented as particular realization of some general scheme.

### РЕНТГЕНІВСЬКИЙ ФАЗОВИЙ КОНТРАСТ (РФК) НА ОСНОВІ ВІЛЬНОГО ПОШИРЕННЯ ДЛЯ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

*О.І. Кульмент'єв, А.В. Поліщук*

*Інститут прикладної фізики НАН України*

Основою використання рентгенівських променів для неруйнівної візуалізації внутрішньої структури об'єкта є відбиток, який речовина цього об'єкта залишає на рентгенівській хвилі після їх взаємодії і полягає у зміні амплітуди і фази початкової хвилі. Пряме вимірювання фази в експерименті неможливе, і тому протягом тривалого часу її зміни не враховувалися. Проте, оскільки відносна зміна фази може бути на кілька порядків більше, ніж аналогічні зміни амплітуди, врахування таких змін може значно збільшити просторову чутливість аналізу. У доповіді розглянуті перспективи та застосування методів РФК у

матеріалознавстві. Проведено огляд існуючих підходів для перетворення фазових змін у вимірювані зміни інтенсивності. Зроблено висновок, що РФК на основі вільного поширення є оптимальним для запису як двовимірної проекції об'єкта, так і для реконструкції його тривимірної структури. Крім того, простота оптичної схеми даної реалізації фазового контрасту практично не накладає обмежень на тип матеріалознавчого експерименту і дозволяє проводити динамічні дослідження; мезоскопічні, структурні і вакансійні дефекти (пори, тріщини тощо); а також відокремлювати ділянки з різними фазовими станами (тверда речовина - рідина). Адекватна інтерпретація експериментальних результатів вимагає належного врахування відносного внеску як поглинання, так і зміни фази, і в загальному випадку може бути виконана тільки в рамках загальної теорії некоректних задач. Існує кілька таких регуляризаційних підходів, які в доповіді представлені як частинні реалізації загальної схеми.

### НАПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ННЦ ХФТИ

*С.Н. Утенков, Н.П. Дикий, А.С. Качан, Н.А. Кочнев, И.В. Кургуз, В.В. Селюкова,  
Е.А. Скакун, К.В. Шебеко, В.Н. Бондаренко, А.Н. Морозов,  
В.И. Журба, В.И. Сухоставец*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

В настоящее время в лаборатории ядерной спектроскопии (ЛЯС) отдела ядерной физики ННЦ ХФТИ (нач. отдела доктор физ.-мат. наук Дикий Н.П.) развиваются следующие направления:

1. Изучение свойств магнитного дипольного резонанса в ядрах *sd*-оболочки (руководитель кандидат физ.-мат. наук Качан А.С.).
2. Исследование энергетической зависимости радиационных силовых функций в ядрах *pf*-оболочки (научный руководитель ЛЯС Утенков С.Н.).
3. Роль реакций радиационного захвата протонов ядрами среднего атомного веса в звёздном нуклеосинтезе (руководитель кандидат физ.-мат. наук Скакун Е.А.).
4. Ядерно-физическая методика определения водорода в металлах на установке СКИФ ИФТТМТ ННЦ ХФТИ (руководители кандидат физ.-мат. наук Морозов А.Н., научный руководитель ЛЯС Утенков С.Н.).
5. Измерение дифференциальных сечений (*p, γ*)-реакции на ядрах *pf*-оболочки для базы ядерных данных IBANDL. Работа производится совместно с ИФТТМТ ННЦ ХФТИ (руководители кандидат физ.-мат. наук Бондаренко В.Н., науч. руководитель ЛЯС Утенков С.Н.).

## УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ РЕАКТОРА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ РАДИАЛЬНОГО РЕФЛЕКТОРА НЕЙТРОНОВ

*М.С. Маловица<sup>1</sup>, В.В. Пилипенко<sup>2</sup>, С.П. Фомин<sup>1,2</sup>, Н.Ф. Шульга<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>ХНУ им. В.Н. Каразина;*

*<sup>2</sup>ИТФ им. А.И. Ахиезера ННЦ ХФТИ, г. Харьков*

Возможность изменения мощности работающего ядерного реактора является важным требованием для его практического использования. Особый интерес представляет изучение возможности управления мощностью быстрого реактора, работающего в режиме волны ядерного горения [1-5]. Это связано с тем, что такой реактор обладает особым механизмом отрицательной обратной связи по реактивности [5], который обеспечивает автоматическое поддержание реактора в критическом состоянии без использования управляющих стержней.

В данной работе исследовался вопрос о влиянии эффективности радиального рефлектора нейтронов на мощность реактора. Расчеты проводились на основе методики, развитой ранее в работах [3, 4]. Волна горения распространялась в аксиальном направлении в двух зонах наработки по обе стороны от зоны запала, содержащих металлический  $^{238}\text{U}$ . Предполагалось, что радиальный рефлектор на 90% состоит из Pb-Bi и на 10% из Fe. Запуск реактора происходит автоматически за счет нейтронов спонтанного деления  $^{240}\text{Pu}$  в зоне запала, обогащенной на 10% Pu. Результаты расчетов показывают возможность значительного (в несколько раз) изменения мощности реактора при использовании рефлектора разной толщины.

[1] Feoktistov L.P., Sov. Phys. Doklady, 34 (1989) 1071.

[2] Teller E., Preprint UCRL-JC-129547, LLNL, Livermore, CA, USA, 1997.

[3] Fomin S.P., et al., Prog. Nucl. Energy, 50 (2008) 163; 53 (2011) 800.

[4] Fomin S.P., et al., Int. conf. "Global 2009", Paris, France, 2009, paper 9456.

[5] Fomin S.P., et al., Int. conf. "FR-13", Paris, France, 2013, paper CN-199-457.

**Секция 3. Физические и экологические вопросы эксплуатации и модернизации ядерно-физических установок. Структура ядра в реакциях на заряженных частицах, нейтронах и гамма-квантах**

**Section 3. Physical and Environmental problems of operation and modernization of nuclear facilities. Nuclear structure in charge particles, neutron and photon reactions**

### ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЯПУ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ»

*А.В. Мазилев*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Система радиационного контроля (СРК) ЯПУ «Источник нейтронов» предназначена для решения следующих задач:

– Радиационный технологический контроль (РТК)

(контроль объемной активности (ОА) и активности выбросов альфа- и бета-аэрозолей, радионуклидов йода (I-131) и инертных радиоактивных газов; контроль суммарной ОА гамма-нуклидов в жидких технологических средах; контроль ОА инертных газов; контроль мощности поглощенной дозы (МПД) гамма-излучения от технологического оборудования).

– Радиационный контроль помещений (РКП)

(контроль мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма- и нейтронного излучения в помещениях и по контуру здания ЯПУ, а также контроль ОА альфа- и бета- аэрозолей в помещениях).

– Радиационный контроль загрязнений (РКЗ)

(контроль радиоактивных загрязнений кожных покровов и спецодежды персонала).

– Радиационный дозиметрический контроль (РДК)

(контроль индивидуальных доз внешнего и внутреннего облучения персонала автоматизированными комплексами на основе термолуминесцентных и прямопоказывающих дозиметров).

Технические средства (ТС) РДК образуют автоматизированную систему индивидуального дозиметрического контроля (АСИДК).

### СОДЕРЖАНИЕ ВРЕДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ННЦ ХФТИ

*А.В. Мазилев, В.Н. Ткаченко, Ю.А. Гордиенко, В.Я. Никулина*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Работы, проводимые ННЦ ХФТИ в области ядерной физики представляют собой потенциальный источник воздействия на окружающую среду.

На протяжении многих лет аккредитованная Лаборатория радиационных исследований и охраны окружающей среды, находящаяся на территории ННЦ

ХФТИ, проводит комплексный радиационно-экологический контроль на основных объектах ННЦ ХФТИ в динамике.

Особое внимание при этом уделяется контролю над содержанием вредных химических веществ, включая вещества I класса химической опасности, к которым относится бериллий. Целью такого санитарно-экологического мониторинга является предупреждение отрицательного воздействия деятельности ННЦ ХФТИ на окружающую среду и здоровье населения.

Объектом исследования в данной работе являлись сточные воды. Были проведены исследования сточных вод на содержание бериллия, минерализацию, содержание взвешенных веществ, хлоридов, сульфатов, хрома (+6), железа общего, СПАВов, меди, нитратов, азота аммония и нефтепродуктов.

Полученные в работе результаты свидетельствуют о том, что содержание в исследуемых сточных водах вредных химических веществ не превышает предельно допустимых концентраций и находится под контролем, что позволяет сделать вывод об отсутствии неблагоприятного влияния деятельности института вообще и его технологических процессов, в частности, на состояние окружающей среды, включая территорию жилого массива «Пятихатки».

## СТРУКТУРА И ПОЛНАЯ СИЛА МАГНИТНОГО ДИПОЛЬНОГО РЕЗОНАНСА НА ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЯХ В ЯДРЕ $^{22}\text{Na}$

*А.С. Качан, И.В. Кургуз, С.Н. Утенков*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Изучен  $\gamma$ -распад резонансноподобной структуры (РПС), наблюдающейся в реакции радиационного захвата протонов ядрами  $^{21}\text{Ne}$  в области энергий ускоренных протонов 0,8-3,0 МэВ. Измерения проводились на ускорителе ЭСУ-5 ННЦ ХФТИ. Получено распределение магнитных дипольных  $\gamma$ -переходов на основном и возбужденных состояниях ядра  $^{22}\text{Na}$ . Полученные дискретные распределения М1-переходов имеют резонансный характер. Идентифицирован магнитный дипольный резонанс (МДР) на основном и возбужденных состояниях ядра  $^{22}\text{Na}$ . Изучаемая РПС имеет сложную структуру, т.е. состоит из состояний, принадлежащих как М1-резонансу на основном состоянии, так и М1-резонансу, «построенному» на возбужденных состояниях. Определено положение центра тяжести (ЦТ) и значение полной силы МДР на основном и возбужденных состояниях в ядре  $^{22}\text{Na}$ . Из полученных данных следует, что положение ЦТ на первом возбужденном состоянии практически совпадает с таковым, которое предсказано гипотезой Бринка-Акселя. С ростом энергии возбужденного состояния, на котором «построен» М1-резонанс, отклонение положения ЦТ начинает отличаться от такового предсказанного гипотезой Бринка-Акселя. Значение полной силы МДР на возбужденных состояниях близко к значению полной силы на основном состоянии для ядра  $^{22}\text{Na}$  [1], и значительно меньше таковой для ядра  $^{23}\text{Na}$  [2], что может свидетельствовать о влиянии валентной пр-пары на формирование МДР на возбужденных состояниях так же, как и для основного состояния [1].

1. А.С. Качан и др. // ЯФ. 1989, т. 49, №2, с. 367.

2. А.С. Качан и др. // Известия РАН Сер. Физ. 2011, т. 77, №2, с. 234.



## РАЗРАБОТКА, АНАЛИЗ И МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА ПИКОВ В $\gamma$ -СПЕКТРАХ

*А.Ю. Бережной, Ю.В. Ляшко*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Для обработки  $\gamma$ -спектров с целью определения сечений реакций, РСФ и других важных физических параметров ядерных реакций, разрабатывается программа обработки спектров «ГАММАPEAKS». В последней версии этой программы использовался модифицированный метод поиска пиков в спектре. Для определения положения пиков в исходном спектре строился так называемый «поисковый спектр», по которому можно было определить положения пиков в исходном спектре. При построении поискового спектра сначала проводилась свёртка участков исходного  $\gamma$ -спектра с отрицательной сглаженной второй производной, имеющей вид ступеньки. Затем рассчитывались отношения значений свёртки к значениям стандартного отклонения для этой же свёртки. Если в поисковом спектре встречался локальный максимум, то канал, соответствующий ему, определялся как центр пика, если локальный минимум – то как левая или правая его граница, что является критерием принадлежности канала пику. После поиска происходила фильтрация пиков, в ходе которой пики, характеристики которых не соответствовали критериям отбора (фильтрам), удалялись из числа найденных. Фильтрационные значения характеристик пиков (минимальная высота пика, минимальная и максимальная ПШПВ, погрешность и др.) задаются пользователем. Анализ результатов разметки пиков в  $\gamma$ -спектрах при использовании этого метода показал, что он хорошо размечает пики в  $\gamma$ -спектрах.

## АКТИВАЦИЯ ИЗОТОПНЫХ МИШЕНЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ НА ЛУ-40 НИК «УСКОРИТЕЛЬ»

*А.Н. Водин, А.С. Деев, С.Н. Олейник*

*НИК «Ускоритель» ННЦ ХФТИ НАН Украины, г. Харьков*

Сечения фотоядерных реакций рассчитывались в TALYS 1.9. Спектры тормозного  $\gamma$ -излучения электронов средних энергий (30÷100 МэВ) рассчитывались в GEANT 4. Проведена свертка сечения одно- и многочастичных реакций с тормозными гамма-спектрами и оптимизированным вычетом («спектр разницы фотонов»). Это процедура дает численное значение  $\gamma$ -активности облученных мишеней.

Проведено сравнение вкладов в  $\gamma$ -активность мишеней  $\gamma$ -квантов низкоэнергетического распределения и собственно вычета. Показано, что вклад  $\gamma$ -квантов низкоэнергетического распределения в  $\gamma$ -активность может доминировать над вычетом в случае одночастичной реакции с низкой энергией порога реакции (область ГДР), поэтому требуется оптимизация формы вычета и минимизация вклада низкоэнергетического «хвоста» при определении сечения реакции.  $\gamma$ -Активность мишени в случае многочастичных реакций менее

чувствительна к низким энергиям  $\gamma$ -квантов, т.к. реакции имеют более высокий порог реакции и иной ход сечения с ростом энергии тормозных  $\gamma$ -квантов.

## ДЕФОРМАЦИЯ АТОМНОГО ЯДРА КАК НЕСОРАЗМЕРНАЯ ФАЗА В ТЕОРИИ ЛАНДАУ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВТОРОГО РОДА

*А.Н. Водин<sup>1</sup>, Л.П. Корда<sup>1</sup>, В.Ю. Корда<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> НИК «Ускоритель» ННЦ ХФТИ НАН Украины, г. Харьков;

<sup>2</sup> Институт электрофизики и радиационных технологий НАН Украины,  
г. Харьков

Предложено представление о деформации атомных ядер как о несоразмерной фазе в теории Ландау фазовых переходов второго рода с пространственно неоднородным параметром порядка. Период модуляции формы эквипотенциальной поверхности ядра несоразмерен ни с размером нуклона, ни с расстоянием между нуклонами. Из экспериментальных данных для ядер  $2s1d$ -оболочки извлечена информация о коллективных силах, порождающих стабильную деформацию этих ядер, как в основных, так и в низколежащих одночастичных возбужденных состояниях. Для ядер  $2s1d$ -оболочки доминирующими деформациями являются  $Y_{20}$ ,  $Y_{40}$  и  $Y_{60}$ .

## ОБРАЗОВАНИЕ ИЗОМЕРНЫХ ПАР В РЕАКЦИИ $^{115}\text{In}(\gamma,3n)^{112\text{m.g}}\text{In}$ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ ОТ 31 ДО 93 МэВ

*О.А. Бешейко<sup>1</sup>, А.Н. Водин<sup>2</sup>, Л.А. Голинка-Бешейко<sup>1</sup>, И.Н. Каденко<sup>1</sup>,  
А.В. Котенко<sup>1</sup>, В.А. Кушнир<sup>2</sup>, Т.В. Повар<sup>1</sup>, В.В. Митроченко<sup>2</sup>, С.Н. Олейник<sup>2</sup>,  
С.А. Пережогин<sup>2</sup>, Б.И. Шраменко<sup>2</sup>, С. Vallerand<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, г. Киев;

<sup>2</sup> НИК «Ускоритель» ННЦ ХФТИ НАН Украины, г. Харьков;

<sup>3</sup> Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL), Orsay, France

Проведено измерение изомерных отношений для ядра  $^{112\text{m.g}}\text{In}$ , которое образуется в реакции  $(\gamma,3n)$  при облучении  $^{115}\text{In}$  тормозными  $\gamma$ -квантами с граничными энергиями в диапазоне 31 ÷ 93 МэВ. Облучение проводилось  $\gamma$ -квантами тормозного спектра на ЛУЭ-40 НИК “Ускоритель” ННЦ ХФТИ с Та-конвектором, толщиной 1,05 мм. Для измерения наведенной  $\gamma$ -активности образцов использовался спектрометр на основе полупроводникового HPGe-детектора с относительной эффективностью 20 % и энергетическим разрешением 1,9 кэВ для  $\gamma$ -линии 1332 кэВ  $^{60}\text{Co}$ . Для калибровки детектора использовались стандартные  $\gamma$ -источники из набора ОСГИ.

Проведено сравнение полученных экспериментальных величин изомерных отношений с теоретическими значениями, рассчитанными с использованием кода TALYS [1]. При расчете учитывались как статистические механизмы протекания фотоядерных реакций, так и предравновесные. Наблюдается удовлетворительное согласие теории с экспериментом.

Совместное сотрудничество Киевского национального университета имени Тараса Шевченко и LAL проводилось в рамках международной ассоциированной лаборатории LIA IDEATE.

[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>.

## ИЗОМЕРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ ДЛЯ ПРОДУКТОВ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ С МНОЖЕСТВЕННЫМ ВЫЛЕТОМ НЕЙТРОНОВ НА ИЗОТОПАХ СУРЬМЫ

*О.А. Бесшейко<sup>1</sup>, А.Н. Водин<sup>2</sup>, Л.А. Голинка-Бесшейко<sup>1</sup>, И.Н. Каденко<sup>1</sup>, А.В. Котенко<sup>1</sup>, В.А. Кушир<sup>2</sup>, Т.В. Повар<sup>1</sup>, В.В. Митроченко<sup>2</sup>, С.Н. Олейник<sup>2</sup>, С.А. Пережогин<sup>2</sup>, Б.И. Шраменко<sup>2</sup>, С. Vallerand<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, г. Киев

<sup>2</sup> НИК «Ускоритель» ННЦ ХФТИ НАН Украины, г. Харьков

<sup>3</sup> Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL), Orsay, France

Проведено исследование процессов возбуждения изомерных состояний дочерних ядер, полученных в результате фотонейтронных реакций на изотопах сурьмы <sup>121</sup>Sb и <sup>123</sup>Sb с вылетом трех, пяти и семи нейтронов. Измерение изомерных отношений выходов исследуемых ядер проводилось на выведенном пучке тормозного  $\gamma$ -излучения ЛУЭ-40 НИК «Ускоритель» ННЦ ХФТИ в диапазоне энергий  $E_{\text{торм}} = 30 \div 95$  МэВ. Изменение энергии ускоренных электронов осуществлялось путем изменения амплитуды и фазы СВЧ-сигнала, подаваемого в 1 и 2-ю секцию ускорителя с шагом 2-3 МэВ и неопределенностью  $\Delta E_e = 200$  кэВ. Тормозная мишень представляла собой Та-пластину, толщиной 1,05 мм.

Исследовалась зависимость значений изомерных отношений в реакциях типа  $A(\gamma, xn)(A-xn)^{m.g}$  от энергии тормозных  $\gamma$ -квантов в области энергии за ГДР, начиная от порога соответствующей реакции  $(\gamma, xn)$ . Проведенный анализ полученных экспериментальных данных позволяют судить о различных механизмах протекания фотонейтронных реакций на исследуемых ядрах и об изменении их относительного вклада в зависимости от  $E_{\text{торм}}$ .

Совместное сотрудничество Киевского национального университета имени Тараса Шевченко и LAL проводилось в рамках международной ассоциированной лаборатории LIA IDEATE.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ СЕЧЕНИЙ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ НА ЛУ-40 ННЦ ХФТИ

*А.Н. Водин, А.С. Деев, С.Н. Олейник*

*НИК “Ускоритель” ННЦ ХФТИ НАН Украины, г. Харьков*

Проведена модернизация экспериментальных методик, необходимых для измерения сечений фотоядерных реакций с множественным вылетом частиц, реализованных на базе линейного ускорителя электронов ЛУЭ-40 НИК

«Ускоритель» ННЦ ХФТИ. В экспериментах потоки тормозных  $\gamma$ -квантов, в диапазоне энергий 30÷100 МэВ, были получены при бомбардировке ускоренными электронами Та-конвертора, толщиной 1,05 мм. После прохождения через Al-поглотитель электронов, пучок  $\gamma$ -квантов падал на изотопную мишень, которая, с помощью уникальной пневмотранспортной системы, могла перемещаться из измерительного зала в камеру реакций (бункер ускорителя) и обратно.

Сечение фотоядерной реакции определялось по методу наведенной  $\gamma$ -активности конечного ядра реакции. Для измерения  $\gamma$ -активности использовался спектрометр на базе полупроводникового HPGe-детектора с относительной эффективностью 20 % и энергетическим разрешением 1,9 кэВ для  $\gamma$ -линии 1332 кэВ  $^{60}\text{Co}$ .

С помощью программного кода GEANT 4 рассчитывалось количество  $\gamma$ -квантов, упавших на мишень. Входными данными для этих расчетов являлись - геометрия эксперимента, интенсивность и спектр пучка электронов, а также пространственное распределение интенсивности  $\gamma$ -квантов в плоскости перпендикулярной оси пучка. В связи с этим, использовалось оригинальное 2-х координатное устройство, с помощью которого измерялась интенсивность пучка  $\gamma$ -квантов.

## ИЗОМЕРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ ДЛЯ ПРОДУКТОВ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ( $\gamma,5n$ ) И ( $\gamma,7n$ ) НА ИНДИИ

*О.А. Бесшейко<sup>1</sup>, А.Н. Водин<sup>2</sup>, Л.А. Голинка-Бесшейко<sup>1</sup>, И.Н. Каденко<sup>1</sup>,  
А.В. Котенко<sup>1</sup>, В.А. Кушнир<sup>2</sup>, Т.В. Повар<sup>1</sup>, В.В. Митроченко<sup>2</sup>, С.Н. Олейник<sup>2</sup>,  
С.А. Пережогин<sup>2</sup>, Б.И. Шраменко<sup>2</sup>, С. Vallerand<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, г. Киев;*

<sup>2</sup> *НИК «Ускоритель» ННЦ ХФТИ НАН Украины, г. Харьков;*

<sup>3</sup> *Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL), Orsay, France*

Проведены измерения изомерных отношений продуктов реакций ( $\gamma,5n$ ) и ( $\gamma,7n$ ) на природном индии и индии, обогащенным изотопом  $^{115}\text{In}$ . Облучение проводилось на пучке тормозных  $\gamma$ -квантов на ЛУЭ-40 НИК «Ускоритель» ННЦ ХФТИ в диапазоне энергий  $E_{\text{торм}} = 33 \div 97$  МэВ. В качестве тормозной мишени использовался тантал, толщиной 1,05 мм. Для измерения наведенной  $\gamma$ -активности образцов использовался спектрометр на базе полупроводникового HPGe-детектора с эффективностью 20 % и энергетическим разрешением 1,9 кэВ для  $\gamma$ -линии 1332 кэВ  $^{60}\text{Co}$ . Проведено сравнение полученных экспериментальных данных по изомерным отношениям с результатами расчетов, выполненных с использованием кода TALYS. Выявлено хорошее согласие теоретических и экспериментальных значений изомерных отношений.

Совместное сотрудничество Киевского национального университета имени Тараса Шевченко и LAL проводилось в рамках международной ассоциированной лаборатории LIA IDEATE.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ВЫЧЕТОВ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ 30...100 МэВ

*А.Н. Водин, А.С. Деев, С.Н. Олейник  
НИК «Ускоритель» ННЦ ХФТИ НАН Украины, г. Харьков*

В GEANT4 рассчитывались спектрально-угловые характеристики тормозного  $\gamma$ -излучения электронов средних энергий (30...100 МэВ) для Та – конверторов различной толщины. Вычислялись разности двух спектров  $\gamma$ -излучения («спектры разницы фотонов», «вычеты»), отличающиеся начальной энергией электронов на величину  $\Delta E_e = 1 \dots 10$  МэВ.

Определялся оптимум между полным количеством  $\gamma$ -квантов в «спектре разницы», которое прямо пропорционально толщине мишени, и хорошей формой «вычета», которая ухудшается с ростом толщины мишени и определяется отношением площади пика «спектра разницы» к сумме  $\gamma$ -квантов низкоэнергетического распределения. Оценки показывают, что для энергий электронов 30...100 МэВ хороший вид «спектров разницы» тормозного  $\gamma$ -излучения при одновременно высоком количестве гамма-квантов имеет место при толщине Та-конвертера  $< 1$  мм.

Рассчитаны пространственные и угловые распределения выхода  $\gamma$ -излучения из Та-конверторов в реальной геометрии. Показано, что поток тормозных  $\gamma$ -квантов полностью перекрывает место расположения мишени.

## ФАЗОВІ ПЕРЕХОДИ 2-ГО РОДУ ПРИ ПОДІЛІ АКТИНІДНИХ ЯДЕР

*В.Т. Маслюк, О.О. Парлаг, М.І. Романюк, О.І. Лендєл  
Інститут електронної фізики НАН України, м. Ужгород, Україна*

Після подільне наближення (ППН) в теорії поділу атомного ядра дозволяє вивчати виходи уламків поділу із аналізу статистичних ядерних конфігурацій, що реалізується в точці розділення вихідного ядра. Такий підхід трактує ядра як особливий вид конденсованого стану речовини, який може бути описаний відомими термодинамічними параметрами ( $P$ ,  $V$ ,  $T$ ) та функціями стану, чи потенціалами. І хоч відомою є умовність такого підходу для систем, що мають 100–300 частинок, отримані в рамках нього результати є важливими, наприклад, у задачах систематизації уламків поділу атомних ядер. ППН зводить задачу знаходження масових, чи зарядових спектрів уламків поділу до вивчення ансамблю постійного тиску, що містить всі 2-х уламкові фрагменти поділу ядра та дозволяє досліджувати процеси його температурного упорядкування. Запропонована для цього «кольорова» статистика дозволяє трактувати як статистично нееквівалентні нуклони, що містяться у різних уламках та нейтрони поділу. В рамках цього підходу масові / зарядові спектри уламків поділу, а також характеристики нейтронної множинності отримуються із умови мінімуму термодинамічного потенціалу Гіббса такого ансамблю 2-х уламкових кластерів. Є також можливість дослідити його температурну еволюцію та енергетику процесу поділу.

В даній роботі на прикладі дослідження температурної еволюції масових / зарядових спектрів уламків та енергетики поділу актинідних ядер показана можливість симетричних фазових переходів, що супроводжуються аномаліями термодинамічних функцій. У фізиці твердого тіла такі переходи називаються 2-го роду і також пов'язуються із зміною симетрії речовини. Розрахунок показує можливість аномалії термодинамічних параметрів, зокрема, теплоємності  $C(T)$  ансамблів уламків поділу ядер  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{241}\text{Am}$  в діапазоні ядерних температур 1-2 МеВ. Вказана особливість обумовлена втратою статистичної нееквівалентності нуклонів у різних уламках, що пов'язано із ослабленням впливу заповнених ядерних оболонок та квантових поправок у формуванні їх енергії зв'язку. На макрорівні це приводить до зміни типології виходів уламків поділу таких ядер у вказаному температурному діапазоні від асиметричної (2-х горбової) до симетричної, або односторонньої, коли ядро ділиться як рідка капля. Обговорюються умови експерименту по поділу ядра для підтвердження можливості проявлення фазового переходу 2-го роду при «нагріванні» його в області 1-2 МеВ.

## ПАРЦИАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА ПРОТОНОВ И РАДИАЦИОННЫЕ СИЛОВЫЕ ФУНКЦИИ В НЕЧЁТНО-НЕЧЁТНЫХ ЯДРАХ $pf$ -ОБОЛОЧКИ

*С.Н. Утенков, К.В. Шебеко*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Экспериментальные измерения парциальных сечений (ПС)  $(p,\gamma)$ -реакции, проведенные в лаборатории ядерной спектроскопии (ЛЯС) отдела ядерной физики ННЦ ХФТИ на ускорителе ЭСУ-5 в диапазоне энергий налетающих протонов 1...3 МэВ, позволили произвести расчёты энергетической зависимости экспериментальных радиационных силовых функций (РСФ) для нечётно-нечётных ядер  $pf$ -оболочки.

Для тех ядер, на которых невозможно провести данные эксперименты, были выполнены теоретические расчёты ПС и РСФ с помощью компьютерного кода TEREL, разработанного в ЛЯС.

Полученные экспериментальные данные и теоретические оценки ПС и энергетической зависимости РСФ в нечётно-нечётных ядрах  $pf$ -оболочки направлены для размещения в ядерной базе данных NNDC.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ДАННЫХ ПО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ СЕЧЕНИЯМ $(p,\gamma)$ -РЕАКЦИИ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ БАЗЫ IBANDL

*С.Н. Утенков, В.Н. Бондаренко, В.И. Сухоставец, К.В. Шебеко*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

При частичной поддержке МАГАТЭ (проект CRP No 16698) в лаборатории ядерной спектроскопии на ускорителе ЭСУ-5 ННЦ ХФТИ в диапазоне энергий протонов 1...3 МэВ для угла регистрации  $90^0$  были измерены

дифференциальные сечения  $(p, \gamma)$ -реакции на ядрах титана, ванадия, хрома и никеля. Полученные экспериментальные данные были включены в базу ядерных данных IBANDL для использования в элементном анализе на пучках ускоренных ионов.

В представляемой работе проанализированы перспективы получения новой информации о дифференциальные сечения  $(p, \gamma)$ -реакции на других ядрах  $pf$ -оболочки, в частности на ядрах марганца, железа и кобальта.

Работа производится ИФВЭЯФ и ИФТТМТ ННЦ ХФТИ.

## РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО СТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПИТАНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНЫХ НАСОСОВ

*Н.А. Кочнев, С.Н. Утенков, А.Н. Морозов, В.И. Журба, В.В. Селюкова  
ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

В настоящее время происходит массовый выход из строя статических преобразователей частоты типа СПЧ-10М и им подобных, применяемых для питания асинхронных электродвигателей турбомолекулярных насосов (ТМН). Анализ современного состояния электроники показал, что проще и дешевле разработать и изготовить превосходящий по своим параметрам аналог устройства, чем отремонтировать вышедший из строя СПЧ.

На современной элементной базе разработана принципиальная схема и изготовлен статический преобразователь частоты (СПЧ-К). СПЧ-К преобразует однофазное напряжение 220 В частотой 50 Гц в трехфазное напряжение от 50 В до 220 В частотой от 50 Гц до 300 Гц. Применение широко-импульсного управления позволяет значительно снизить пусковые токи. Разработанная нами микроконтроллерная программа обеспечивает плавный запуск и разгон асинхронного двигателя насоса до выхода на заданный режим в течение 15 – 20 минут. Реализована программная и аппаратная защита от перегрузки по току.

## ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ДЕЙТЕРИЯ В ГИДРИДНЫХ ФАЗАХ ЦИРКОНИЯ

*А.Н. Морозов, В.И. Журба, Н.А. Кочнев, В.В. Селюкова, С.Н. Утенков  
ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

С помощью метода ядерной реакции  $(d, d)$  выполнены измерения концентрации дейтерия в гидридных фазах циркония, образующихся в процессе имплантации ионов  $D^+$  при температурах 110 К и 300 К.

Уровень накопления дейтерия при температуре образца  $\sim 110$  К с ростом дозы облучения возрастает по линейному закону и выходит на насыщение в пределах доз  $2.1 \dots 2.3 \times 10^{18} \text{ D} \cdot \text{см}^{-2}$ . Оценки концентрации дейтерия, удерживаемого в имплантационном слое, показали, что при этом сформировалось стехиометрическое соотношение  $D/Zr = 2/1$ , что свидетельствует об образовании гидроксида  $ZrD_2$ .

Измерения уровня удержания/накопления дейтерия, имплантированного в образцы циркония при температуре  $\sim 300$  К показали, что уровень насыщения циркония достигается в пределах доз  $1.1 \dots 1.2 \times 10^{18}$  D·см<sup>-2</sup>. Учитывая, что в этом случае уровень удержания/накопления дейтерия в два раза меньше от величины этой же зависимости для образцов, облучаемых при температуре 110 К, можно сказать, что концентрация дейтерия в имплантационном слое в два раза ниже, что свидетельствует о формировании гидрида ZrD. Показано, что распад гидрида ZrD происходит при температуре  $\sim 550$  К.

С помощью ядерно-физической методики измерена концентрация дейтерия в образующихся гидридных фазах циркония при температурах 110 К и 300 К.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ В КАЧЕСТВЕ ИМИТАТОРОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЗАКТИВИРУЮЩИХ СРЕДСТВ И СОРБЕНТОВ ФИЛЬТРОВ ВОЗДУХООЧИСТКИ

*В.В. Левенец, А.Ю. Лонин, А.П. Омельник, И.В. Шевченко, А.А. Щур  
ННЦ «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков*

Для решения задач определения эффективности дезактивирующих свойств моющих средств и сорбентов фильтров воздухоочистки АЭС применялся элементный анализ по характеристическому рентгеновскому излучению в двух вариантах: при возбуждении излучения от анализа пучком протонов или гамма-излучением от радиоактивного источника. При выполнении исследований вместо радиоактивных изотопов <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>60</sup>Co, <sup>131</sup>I использовались имитаторы со стабильными изотопами.

Для проведения исследований были разработаны аналитическая установка и методики. Выполнено сравнение результатов определения различными методиками.

По результатам определения эффективности различных типов исследуемых материалов даны рекомендации по выбору материалов с требуемыми характеристиками.

### ОТРИМАННЯ ПУЧКІВ Н<sup>+</sup> ТА Н<sub>2</sub><sup>+</sup> З ДЖЕРЕЛА ТИПУ ПЕННІНГА

*С. Карпусь, В. Кузьменко, Л. Глазунов, Р. Муртазін  
ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, м. Харків*

Представлено експериментальні результати з отримання пучків іонів атомарного (Н<sup>+</sup>) та молекулярного водню (Н<sub>2</sub><sup>+</sup>) з компактного джерела типу Пеннінга[1] з холодним катодом при високовольтній формі розряду. Отримані дані показали, що в діапазоні розрядних напруг (1...4,5) кВ, при напуску водню в джерело (4,7·10<sup>-5</sup> ... 1·10<sup>-4</sup>) м<sup>3</sup>·Па/с відношення струмів (Н<sup>+</sup>/Н<sub>2</sub><sup>+</sup>) складає  $\sim 0.06$ . Проведено аналіз утворення іонів водню в джерелі і встановлено, що відношення струмів (Н<sup>+</sup>/Н<sub>2</sub><sup>+</sup>) у витягнутому пучку пропорційне відношенню відповідних перерізів утворення іонів (Н<sup>+</sup>) та (Н<sub>2</sub><sup>+</sup>) електронним ударом, а саме, для Н<sup>+</sup>: (Н<sub>2</sub> + e → Н<sup>+</sup> + Н + 2e) та (Н<sub>2</sub> + e → Н<sup>+</sup> + Н<sup>+</sup> + 3e); для



$H_2^+:(H_2 + e \rightarrow H_2^+ + 2e)$ . Порівняння даних виходу іонів ( $H^+$ ) та ( $H_2^+$ ) [2] з даного типу іонних джерел з результатами розрахунків свідчить про те, що низький вихід іонів ( $H^+$ ) обумовлено малим часом утримання іонів ( $H_2^+$ ) в розряді (<1 мкс).

[1]. Glazunov L.S., Zats A.V., Karpus S.G., Kuz'menko V.V., Pistryak V.M. Multi-charged ion source // Problems of atomic science and technology. Ser.: Nuclear Physics Investigations (55). 2011. № 3 (73). P.68–74.

[2]. Zhang H. Ion sources. Berlin, Beijing: Springer, Science Press. 1999. 476 P.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКОВ НЕЙТРОНОВ С РАСТВОРАМИ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ

*А.Ю. Буки<sup>1</sup>, С.П. Гоков<sup>1</sup>, В.Н. Горбач<sup>2</sup>, Ю.Г. Казаринов<sup>1,2</sup>, С.Г. Карпусь<sup>1,2</sup>,  
С.А. Каленик<sup>1</sup>, В.В. Кантемиров<sup>1</sup>, В.И. Касилов<sup>1</sup>, С.С. Кочетов<sup>1</sup>, Е.А. Люхман<sup>2</sup>,  
Е.В. Рудычев<sup>1</sup>, М.А. Хажмурадов<sup>1</sup>, В.В. Цяцько<sup>1</sup>, Е.В. Цяцько<sup>1</sup>, О.А. Шопен<sup>1</sup>  
О.И. Ярьсько<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков;  
<sup>2</sup> Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, г. Харьков, Украина

В работе проводилось исследование процессов взаимодействия быстрых, тепловых и эпитепловых нейтронов с водным и спиртовым растворами органических красителей: метиленовый синий –  $C_{16}H_{18}N_3C_1$  и метиловый оранжевый –  $C_{14}H_{14}N_3O_3SNa$ . Облучение проводилось на ускорителе электронов ЛУЭ-300. Вольфрамовая мишень облучалась пучком электронов линейного ускорителя с энергией 15 МэВ и мощностью 300 Вт. Пробирки с растворами органических красителей устанавливались перпендикулярно оси прохождения электронного пучка на расстоянии 10 см от нейтронопроизводящей мишени. При этом, в месте расположения облучаемых объектов был получен поток нейтронов плотностью  $10^7$  н/(см<sup>2</sup>·с), Полный поток нейтронов в эксперименте составлял  $10^{11}$  н/см<sup>2</sup>. Облучаемые объекты устанавливались без свинцовой защиты, с 5-ти сантиметровой свинцовой защитой без отоплителя и с 5-ти сантиметровой свинцовой защитой с 4 см полиэтиленовым отоплителем. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что при облучении объектов без свинцовой защиты и отоплителя происходит полное разрушение молекул красителя, в основном, за счет их взаимодействия с рассеянными электронами и гамма – квантами. При установке свинцовой защиты наблюдалось 10 – процентное разрушение молекул красителя за счет их взаимодействия с потоками быстрых нейтронов. При установке после свинцовой защиты 4 см полиэтиленового отоплителя разрушения молекул красителя на тепловых нейтронах практически не наблюдалось. При добавлении в растворы 4% борной кислоты при взаимодействии с потоками тепловых и эпитепловых нейтронов наблюдалось 30 % разрушение молекул красителя.

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ ПОТОКІВ НЕЙТРОНІВ НА ЛІНІЙНОМУ ПРИСКОРЮВАЧІ ЕЛЕКТРОНІВ

*С. Гоков<sup>1</sup>, В. Горбач<sup>2</sup>, С. Каленик<sup>1</sup>, Ю. Казарінов<sup>1,2</sup>, С. Карпусь<sup>1,2</sup>, В. Касілов<sup>1</sup>,  
С. Кочетов<sup>1</sup>, Е. Люхтан<sup>2</sup>, В. Цяцько<sup>1</sup>, Е. Цяцько<sup>1</sup>, О. Шопен<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут», м. Харків;*

*<sup>2</sup>Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, м. Харків*

Створено математичну модель, для оптимізації геометричних параметрів відбивача нейтронів, який призначений для підвищення густини потоку нейтронів від джерела в заданому напрямку. В подальшому виготовлення цього відбивача дасть можливість збільшити потоки нейтронів на зразках, що досліджуються, а також вдосконалити конструктивні параметри активної зони і формувача джерела нейтронів на лінійному прискорювачі електронів ЛПЕ – 300.

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ

*А. Буки, С. Гоков, С. Каленик, Ю. Казаринов, С. Карпусь, В. Касилов,  
Е. Рудычев, М. Хажмурадов, В. Цяцько, Е. Цяцько*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков*

Моделирование процессов взаимодействия ионизирующего излучения с веществом позволяет решать целый ряд прикладных и фундаментальных задач в области радиационной физики, химии и биологии. В данной работе с помощью кода GEANT-4 рассчитаны потоки нейтронов в области расположения облучаемых образцов. Источником нейтронов была выбрана вольфрамовая мишень, которая облучалась пучком электронов линейного ускорителя с энергией 15 МэВ и мощностью 300 Вт. Облучаемые объекты располагались в объеме ограниченном свинцовой защитой с толщиной стенки 5 мм перпендикулярно оси пучка электронов на расстоянии 10 см от нейтронопроизводящей мишени. Расчет потока нейтронов производился как без теплителя, так и с ним для диапазона толщин 1-5 см. Получены расчетные значения потоков нейтронов и их энергетические характеристики.

## АНАЛИЗ РАБОТЫ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЛУЭ-300 В 2018 ГОДУ И ПРОГРАММА ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*А.Ю. Буки, С.П. Гоков, С.А. Каленик, Ю.Г. Казаринов, С.Г. Карпусь,  
В.И. Касилов, В.Г. Кириченко, С.С. Кочетов, Г.И. Ледовской, Ю.П. Ляхно,  
Л.Д. Салий, И.Л. Семисалов, А.В. Твердохвалов, И.С. Тимченко, В.М. Хвастунов,  
В.В. Цяцько, Е.В. Цяцько, О.А. Шопен*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков*

Приведены данные по эксплуатации линейного ускорителя электронов ЛУЭ 300 и обзор проведенных на нем ядерно-физических и прикладных исследований в 2018 г. Большое внимание уделялось проведению технических работ по совершенствованию ряда систем ускорительного комплекса. Проведен ряд работ по оптимизации параметров пучка инжектора для накопителя Н-100М

(«НЕСТОР») на энергию 60.- 90 МэВ. На базе канала вывода пучка на энергию 30 МэВ сдан в наладку макет источника быстрых, тепловых и эпитепловых нейтронов для нейтрон - захватной терапии.

Приведен краткий анализ основных видов неисправностей систем, обсуждаются планы предполагаемых работ по дальнейшему усовершенствованию и модернизации систем ускорителя. Разработана и обсуждается программа экспериментальных исследований на всех каналах вывода пучка электронов.

## МАКЕТ ДЖЕРЕЛА ШВИДКИХ, ТЕПЛОВИХ ТА ЕПІТЕПЛОВИХ НЕЙТРОНІВ ДЛЯ НЕЙТРОНЗАХВАТНОЇ ТЕРАПІЇ

*С. Гоков, С. Каленик, С. Карпусь, В. Касілов, С. Кочетов,  
В. Цяцько, Е. Цяцько, О. Шопен*

*ІНЦ «Харківський фізико-технічний інститут», м. Харків*

Створено макет джерела нейтронів призначений для відпрацювання та вдосконалення методики генерації нейтронів, що спрямована на отримання максимальної густини потоку нейтронів зі зниженням супутнього фону гамма-випромінювання і швидких нейтронів. Що дає змогу дослідити конструктивні параметри активної зони і формувача для використання їх при створенні в подальшому діючого повномасштабного джерела нейтронів на базі потужного лінійного прискорювача електронів.

## ВЫХОДЫ ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ ОТ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ МИШЕНИ ИЗ ДЕЛЯЩЕГОСЯ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В НЕЙТРОННОЙ И НЕЙТРОНОЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ

*С. Гоков, С. Каленик, С. Карпусь, В. Касілов, С. Кочетов,  
В. Цяцько, Е. Цяцько О. Шопен*

*ІНЦ «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков*

Пригодными для использования в нейтронозахватной терапии (НЗТ) считаются плотности потоков замедленных нейтронов  $>10^9 \text{ н}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$  [1]. При этом необходимо знать первичные потоки быстрых запаздывающих нейтронов, которые будут замедляться после выхода из активированной мишени, содержащей делящийся материал. С этой целью в настоящей работе измерены выходы запаздывающих нейтронов деления в зависимости от энергии активации электронным пучком мишени из делящегося материала. Исследования проводились на ускорительном комплексе ЛУЭ-300. Результаты этих измерений позволят определить оптимальные энергетические параметры линейного ускорителя электронов для генерации замедленных нейтронов с плотностью потоков пригодных для проведения НЗТ.

[1]. Thermal and epithermal neutron generation for nuclear medicine using electron linear accelerator. V.I. Kasilov, S.P. Gokov, East European Journal of Physics. Vol.3 No.3 (2016) 64-72

## Секция 4. Компьютерные технологии в физических исследованиях

### Session 4. Computer technologies in physical research

#### COMPLEXITY IN THE ASSESSMENT OF THE CONFORMITY OF THE SYSTEM OBJECT WITH THE EXAMPLE OF "ORGANISM – THE ENVIRONMENT"

*T.V. Kozulia, M.M. Kozulia*

*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine*

The relationship between the systems "organism – environment" with the homeostatic object state support as a whole is controlled by two criteria components of steady state – human health (living system) and environmental health.

The use of the complex information-entropy evaluation "organism – environment" in the impossibility conditions to take into account all the factors that determine the functioning of the physiological organism and man systems as a whole in the micro- and macroeco-mediums, allows us to get closer to the objective situation perception results and provide a weighted, well-founded decision on stabilization organism systems functioning within the limits of health, optimum conditions creation for human interaction with ecological environments [1–3].

Thus, the system formation quality assessment is carried out by grouping methods, their complex application in the study of interaction "system – environment", which is determined by the corporate relationship between the components. As a result, information and methodological support was proposed as a complex of methods that allows consistently solving the problems of complex structured objects (SRO) quality assessment.

1. Т. В. Козуля Основы методологии комплексной оценки экологичности системных объектов (Теоретико-практические основы методологии комплексной оценки экологичности территориальных и объектовых систем.) Монография. – Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2014. – 298 с.

2. T. Kozulia, M. Kozulia Determining the object structure of ecological and economic research and knowledge base for decision support Problems of atomic science and technology, 2017, N3(109). Series: Nuclear Physics Investigations (68), p.85-89.

3. T. V. Kozulia, M. M. Kozulia Integrated information system assessment of complex objects safety level Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – X. : НТУ «ХПІ», 2017. – Харків, НТУ «ХПІ», – 2017. – №55(1276) – С.39–45

# КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ЯКІСНОМУ СТАНУ СИСТЕМНОГО ОБ'ЄКТА НА ПРИКЛАДІ «ОРГАНІЗМ – НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ»

*Т.В. Козуля, М.М. Козуля*

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
м Харків, Україна*

Взаємозв'язок між системами «організм – навколишнє середовище» з підтримкою гомеостатичного стану об'єкта в цілому контролюється пріоритетна двома критеріями стійкого стану його складових – здоров'я людини (живої системи) і здоров'я екосередовища.

Використання комплексного інформаційно-ентропійного оцінювання «організм – НС» в умовах неможливості врахувати всі фактори, які визначають функціонування фізіологічних систем організму й людини в цілому в мікро- і макроекосередовищах, дозволяє наблизитися до об'єктивних результатів сприйняття ситуації і надати зважене обґрунтоване рішення щодо стабілізації функціонування систем організму в межах економії здоров'я, створення оптимальних умов взаємодії людини з екосередовищами [1–3].

Таким чином, оцінка якості системного утворення здійснюється за рахунок групування методів, комплексного їх застосування при дослідженні взаємодії «система – НС», яка визначається корпоративністю зв'язків між складовими. У результаті запропоновано інформаційно-методичне забезпечення як комплекс методів, що дозволяє послідовно розв'язувати задачі оцінки якості складноструктурованих об'єктів (ССО).

1. Т. В. Козуля Основы методологии комплексной оценки экологичности системных объектов (Теоретико-практические основы методологии комплексной оценки экологичности территориальных и объектовых систем.) Монография. – Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2014. – 298 с.

2. T. Kozulia, M. Kozulia Determining the object structure of ecological and economic research and knowledge base for decision support Problems of atomic science and technology, 2017, N3(109). *Series: Nuclear Physics Investigations* (68), p.85-89.

3. T. V. Kozulia, M. M. Kozulia Integrated information system assessment of complex objects safety level Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – X. : НТУ «ХП», 2017. – Харків, НТУ «ХП», – 2017. – №55(1276) – С.39–45.

## ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНЕРЦИАЛЬНЫЙ ТЕРМОЯД

*В.А. Тарасов, С.А. Чернеженко, В.П. Смоляр, С.И. Косенко*

*Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина*

В [1] представлена теоретическая модель газодинамического термоядерного источника (ГДТИ) нейтронов, образующихся в результате термоядерных реакций синтеза при сжатии дейтериево-тритиевого (Д-Т) газа кумулятивными взрывными ударными волнами (КВУВ). В [1] также предлагается модель ГДТИ,

в которой КВУВ инициируется лазерным излучением малой мощности. Представленная в [1] теоретическая модель может рассматриваться также как базовая модель для практической реализации энергетического термоядерного реактора (ЭТР) – газодинамический термояд. В таком ЭТР сжимаемая мишень должна содержать значительно меньшее количество Д-Т газа и взрывчатки, по сравнению с [1]. А вариант такого ЭТР, в котором КВУВ в мишени инициируется лазерным излучением [1], можно отнести к ЭТР, разрабатываемым на принципах инерциального термояда. Однако в таком реакторе сжатие мишени может быть реализовано наложением ударной волны сжатия, инициированной излучением мощного лазера или пучком ускоренных частиц, и КВУВ, вызванной детонацией взрывчатки, входящей в мишень и инициированной лазером меньшей мощности. ЭТР, реализованный на таком новом подходе, – газодинамический инерциальный термояд.

1. Русов В.Д., Тарасов В.О., Чернеженко С.А. и др. Імпульсне джерело нейтронів з високою енергією, що випускаються реакціями синтезу при стиску D-T газу кумулятивними детонаційними хвилями. // Журн. фізичн. досліджень. – 2019. - Т. 23, № 1; arXiv: 1712.02340v.1 [physics.plasm-ph]. – 2017. – Р. 1-10.

## СПЕКТРЫ НЕЙТРОНОВ В УРАН-УГЛЕРОДНЫХ СРЕДАХ И УРАН-УГЛЕРОДНОЕ ДИСПЕРСИОННОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ НАДТЕПЛООВОГО ВОЛНОВОГО РЕАКТОРА

*В.А. Тарасов, С.А. Чернеженко, В.П. Смоляр, А.А. Какаев*

*Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина*

Приведены графики энергетических спектров замедляющих нейтронов в водородных и уран-углеродных однородных средах. Графики получены с помощью компьютерного расчета с использованием теоретического выражения из [1,2] и кода GEANT4 [3]. Сравнительный анализ полученных нейтронных спектров для уран-углеродных замедляющих сред демонстрирует хорошее согласие между спектрами, рассчитанными по аналитическому выражению разработанной теории замедления, и спектрами, рассчитанными методом Монте-Карло. Спектры также показывают, что перспективными для топливной среды надтеплового ядерного реактора, работающего в режиме автоволнового нейтронно-ядерного горения, могут рассматриваться дисперсионное топливо с керамическим топливом в графитовой матрице, шаровые твэлы и керметы.

1. Rusov V.D., Tarasov V.A., Chernenchenko S.A., et al. The neutron moderation theory, taking into account thermal motions of moderating medium nuclei. // European Physical Journal A - Hadrons and Nuclei. – 2017. - No.53:179. – Р. 1-13.

2. Rusov V.D., Tarasov V.A., Chernenchenko S.A., et al. Neutron moderation spectrum considering inelastic scattering. // arXiv:1801.06142v.1 [nucl-th]. – 2018. – Р. 1-24.

3. Agostinelli S. Geant4 - a simulation toolkit. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2003. – Vol. 506. – Issue 3. – Р. 250-303.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ЗАМЕДЛЕНИЯ НЕЙТРОНОВ В ТЕРМОЯДЕРНОЙ ПЛАЗМЕ

*В.А. Тарасов, С.А. Чернеженко, В.П. Смоляр*

*Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина*

В данной работе с помощью аналитической теории замедления [1] для источника нейтронов неподвижной дейтериво-тритиевой (Д-Т) плазмы [2] получены расчетные энергетические спектры нейтронов с учетом их замедления для неподвижной плазмы. Впервые показано, что спектры замедления нейтронов для термоядерных реакций Д-Т синтеза имеют два максимума, высокоэнергетический максимум (14,1 МэВ) и низкоэнергетический (3,0 кэВ) максимум, который можно назвать температурным максимумом, так как он соответствует температуре плазмы. Причем, основная часть нейтронов имеет энергию вблизи низкоэнергетического (температурного) максимума, а не вблизи высокоэнергетического, и это результат замедления нейтронов в среде плазмы. Это представляется важным новым выводом, так как во всех работах, в которых рассматривается спектр нейтронов, рождаемых в реакциях синтеза, рассматривается именно высокоэнергетический максимум, то есть, не учитывается процесс замедления нейтронов в среде плазмы.

1. Rusov V.D., Tarasov V.A., Cherezhenko S.A., Kakaev A.A., Smolyar V.P. The neutron moderation theory, taking into account thermal motions of moderating medium nuclei. // The European Physical Journal A. – 2017. - No.53:179. – P. 1-13; <https://doi.org/10.1140/epja/i2017-12363-9>.

2. Brysk H. Fusion neutron energies and spectra. // Plasma Phys. – 1973. - Vol. 15. – P. 611-617.

## МЕТОДИ ОТРИМАННЯ НЕЙТРОНОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

*С.І. Прохорець, Є.В. Рудичев, М.А. Хажмурадов*

*ІНЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, м. Харків*

В загальному випадку метод нейтронної радіографії (НР) має достатню чутливість для усіх матеріалів, з якими інтенсивно взаємодіють нейтрони. Особливо ефективним є його застосування для дослідження обладнання, в якому використано декілька матеріалів, що сильно відрізняються один від одного за коефіцієнтом послаблення нейтронів.

Розглянуто різні методи отримання нейтроннографічного зображення, зокрема метод прямого експонування, метод перенесення, метод проєкції переданого зображення, та проаналізовано їх переваги та недоліки. Наведено результати моделювання отримання зображень об'єкта дослідження з використання нейтронів різних енергій.

## МОДЕЛЮВАННЯ РАДІАЦІЙНО-ЗАХИСНИХ КОНТЕЙНЕРІВ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЇХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ЗАХОРОНЕННІ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

*С.В Рудичев, С.І. Прохорець, Д.В. Федорченко, М.А. Хажмурадов  
ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, м. Харків*

Розроблено тривимірні геометричні моделі контейнерів для зберігання радіоактивних матеріалів, а саме: стандартної зварної бочки типу 1A1 (ГОСТ 13950-91) обсягом 200 л, контейнера транспортно-захисного КТЗВ-0,2 і контейнера НЗК-150-1,5П. На базі побудованих геометричних моделей були побудовані тривимірні твердотільні моделі для 16 видів бетонів, компаунду на базі фенольної смоли с наповнювачем із скловолокна, однофазної кераміки, складу  $ZrO_2$  (3 мол %  $Y_2O_3$ ) та гетерофазної кераміки, що представляє собою композит з керамічною матрицею складу  $V_4C + (50\% TiB_2 + 50\% W_2B_5)$  в різних об'ємних співвідношеннях. З побудованими моделями проведено моделювання випромінювання РАО для розрахунку спектрів на поверхні контейнерів та для розрахунку потужності еквівалентної дози (ПЕД) опромінення. Було проведено комплексний аналіз радіаційних властивостей контейнерів з урахуванням критеріїв: мінімальна ПЕД, маса контейнера, максимальна активність РАВ, габаритні розміри, та економічна доцільність. Запропоновано новий компаунд складу 59,5% (фенольної смоли с наповнювачем із скловолокна) +40,5% боридів титану та вольфраму складу  $(50\% TiB_2 + 50\% W_2B_5)$  та проведено моделювання його радіаційних властивостей. Показано, що запропонований нами матеріал має на 49% кращий радіаційний захист від гамма-квантів та у 11,6 рази кращий захист від нейтронів, ніж важкий бетон з заповнювачем з заліза марки Portland. Також цей компаунд у 2 рази легше ніж типова кераміка складу  $50\% TiB_2 + 50\% W_2B_5$ . Крім того, можливо виготовляти цей матеріал за допомогою холодної полімеризації, що не потребує значних енергетичних затрат.

## КОЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ САПР СТЕЛЛАРАТОРНЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

*С.А. Мартынов, А.А. Лучанинов, В.П. Лукьянова, М.А. Хажмурадов  
ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Представлены модели, методы и технологии расчета основных характеристик разрабатываемых систем. К ним относятся вопросы геометрического моделирования основных подсистем физических установок данного класса, определение параметров вакуумной конфигурации магнитного поля, расчет напряженно-деформированного состояния подсистем, оценка параметров теплообмена в элементах конструкции.



## ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АКТУАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ

*М.А. Хажмурадов<sup>1</sup>, В.П. Лукьянова<sup>1</sup>, И.В. Хасамбиев<sup>2</sup>, Л.К. Хаджиева<sup>2</sup>*  
<sup>1</sup>ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков;  
<sup>2</sup>Грозненский государственный нефтяной технический университет,  
г. Грозный, Россия

Рассмотрен эвристический метод обучения, способствующий активизации учебно-познавательной деятельности, более глубокому усвоению учебного материала студентами высшей школы, который заключается в организации активного поиска решения познавательных задач, как под руководством педагога, так и на основе эвристических программ и указаний. В контексте такого обучения изучение каждой темы выглядит следующим образом – мотивация; актуализация базовых знаний; основные теоретические факты; изучение базовых эвристик (решение базовых задач по теме); эвристические задачи; индивидуальные задачи; контрольные работы по теме. Для актуализации базовых знаний полезно включать такие задачи как: найти ошибку в решении; выбрать правильное обоснование для решения задачи, и т.д. В качестве домашней работы можно предложить решить кроссворд, состоящий из основных понятий ранее изученного материала, которые будут использоваться при изучении новой темы. Правильно подобранные эвристические задачи и тесты, входящие в подсистему задач повторения ранее усвоенных знаний, дают прочную основу для более глубокого усвоению учебного материала и формируют у обучающегося творческое мышление.

## TARGET OPTIMIZATION METHOD FOR MOLYBDENUM-99 PRODUCTION

*A. Tsechanski<sup>a</sup>, D.V. Fedorchenko<sup>b</sup>*

*<sup>a</sup>Ben-Gurion University of the Negev, Department of Nuclear Engineering, P.O. Box 653, Beer-Sheva 84105, Israel;*

*<sup>b</sup>National Science Center “Kharkov Institute of Physics and Technology”,  
1 Akademicheskaya St., Kharkiv 61108, Ukraine*

In this paper we considered <sup>99</sup>Mo radioisotope production method using linear electron accelerator via the <sup>100</sup>Mo( $\gamma$ ,n)<sup>99</sup>Mo reaction on bremsstrahlung photons. Using Monte Carlo simulations we compared specific yields of <sup>99</sup>Mo isotope for the setup with a single molybdenum target-converter and conventional setup with tungsten bremsstrahlung converter and molybdenum target.

Calculations using PHITS particle transport code showed that setup with single molybdenum target-converter tungsten converter provides higher values of <sup>99</sup>Mo production for entire energy range. Specific yield of <sup>99</sup>Mo isotope in this case is 1.8-2.4 times higher than from setup with converter thickness of 2 radiation lengths, and about 1.2-1.3 times higher than from converter with optimized thickness.

Monte Carlo simulation provided information on the location and size of the core of molybdenum production within the target and location of the ‘dead’ zone in the front part of the target where no production occurs. Using these results we developed procedure for target geometry optimization that eliminates such ‘dead zones’. The

simulations proved the optimized geometry to significantly increase the specific yield of  $^{99}\text{Mo}$  radionuclide under same irradiation conditions. The calculated values of  $^{99}\text{Mo}$  yield for 40-50 MeV beam energies are 2.2–2.8 times higher than for conventional cylindrical target.

## МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ МІШЕНІ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МОЛІБДЕНУ-99

*А. Цеханській<sup>а</sup>, Д.В. Федорченко<sup>б</sup>*

*<sup>а</sup>Університет ім. Бен-Гуріона в Негеві, факультет ядерної інженерії, ПС 653,  
Беер-Шева 84105, Ізраїль;*

*<sup>б</sup>Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»,  
вул. Академічна, 1, Харків 61108, Україна*

В роботі розглянуто виробництво радіоізоотопу  $^{99}\text{Mo}$  за допомогою лінійного прискорювача електронів з використанням реакції  $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$  на фотонах гальмівного випромінювання. З використанням метода Монте-Карло порівнювався питомий вихід ізоотопу  $^{99}\text{Mo}$  для конфігурацій з єдиною мішенню-конвертером та традиційною конфігурацією з вольфрамовим конвертером та молібденовою мішенню.

Розрахунки з використанням програмного коду PHITS показали, що конфігурація з єдиною мішенню-конвертером забезпечує більше виробництво  $^{99}\text{Mo}$  для всього діапазону енергій. Питомий вихід ізоотопу  $^{99}\text{Mo}$  в цьому випадку в 1,8-2,4 рази вищий чим для конфігурації з конвертером товщиною в 2 радіаційні довжини та в 1,2-1,3 рази вищий чим для конвертера з оптимальною товщиною.

Моделювання методом Монте-Карло дозволило одержати інформацію про розташування та розміри осередку виробництва молібдену всередині мішені та розташування “мертвої зони” в передній частині мішені, де виробництво молібдену відсутнє. З використанням цих результатів було розроблено методику оптимізації геометрії мішені, яка дозволяє позбутися таких “мертвих зон”. Моделювання довело, що оптимізована геометрія дозволяє істотно збільшити питомий вихід радіонукліду  $^{99}\text{Mo}$  за тих же самих умов опромінення. Розрахункові значення виходу  $^{99}\text{Mo}$  для енергій пучка 40-50 MeV у 2,2-2,8 разів вищі за вихід у випадку стандартної циліндричної мішені.

## СОЗДАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ БИБЛИОТЕК КЛАССОВ, СФОРМИРОВАННЫХ ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА АБСТРАКТНЫХ КЛАССОВ И ЧИСТЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ.

*В.А. Дудник, В.И. Кудрявцев, С.А. Ус, М.В. Шестаков*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Описано формирование динамических библиотек классов, инкапсулированных внутри DLL за счёт использования интерфейса абстрактных классов и чистых виртуальных методов. Рассмотрены способы как динамической загрузки модулей классов и получения доступа к их полям и

методам, так и метод статического разрешения внешних связей инкапсулированный в DLL классов. Выполнено сравнение и описаны особенности использования динамической и статической загрузки классов. Приведены демонстрационные примеры использования динамических библиотек классов в программах на языке C++.

## АНАЛИЗ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИСТИРОЛ-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Е.М. Прохоренко<sup>1</sup>, В.В. Литвиненко<sup>1</sup>, В.Ф. Клепиков<sup>1</sup>, А.А. Захарченко<sup>2</sup>,  
М.А. Хажмурадов<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Институт электрофизики и радиационных технологий НАН Украины;*

*<sup>2</sup>ИФВЭЯФ ННЦ ХФТИ НАН Украины*

Для защиты от ионизирующего излучения разработана методика производства композиционных материалов с основой из полистирола. При создании матрицы композита применяли порошковый алюминий. Порошковый вольфрам или порошковая сталь являлись радиационно-защитной добавкой. Моделирование процессов поглощения ионизирующего излучения осуществлялось посредством использования пакета Geant4 v 4.9.6p02. Выполнены исследования эффективности защитных свойств композиционных материалов нескольких типов. Эффективность ослабления гамма-излучения, образцами композитных материалов, оценивалась по изменению площади фотопика 59,54 кэВ источника излучения <sup>241</sup>Am по сравнению с измерением без защитного материала. Применение методов математического моделирования позволило оптимизировать выбор параметров композиционных материалов. Изготовлены образцы композиционных материалов, которые позволяли получить 70 % снижение интенсивности гамма-излучения в интервале энергии до 300 кэВ, при толщине слоя 10 мм.

## MODIFICATION EFFECTS OF MICROSECOND HIGH CURRENT ELECTRON BEAM EXPOSURE ON TITANIUM VT22 ALLOY

*S.E. Donets<sup>1</sup>, V.F. Klepikov<sup>1</sup>, V.V. Lytvynenko<sup>1</sup>, Yu.F. Lonin<sup>2</sup>, A.G. Ponomarev<sup>2</sup>,  
O.A. Startsev<sup>1</sup>, R.I. Starovoytov<sup>3</sup>, V.T. Uvarov<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Institute of Electrophysics and Radiation Technologies;*

*<sup>2</sup>NSC “Kharkov Institute of Physics and Technology”;*

*<sup>3</sup>V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine*

Titanium VT22 alloy was irradiated in the TEMP-A accelerator with the high current electron beam with the energy of 350 keV, beam current of 2 kA, pulse length around 4  $\mu$ s, and beam diameter of 45 mm. The irradiation was performed for three samples with 1 to 3 pulses separately. Numeric simulations of the temperature distributions in the targets were conducted using the thermoelastic ablation model. The microstructural and mechanical properties of the irradiated alloy were studied using microhardness testing, metallography and fractography analysis. The irradiation resulted in formation of a layer with a dendritic microstructure after solidification

compared to the martensitic non-irradiated metal. The quenched zone of the melted layer has the quasi-ductile fracture character compared to the ductile character of the base metal. The heat-affected zone shows a quasi-ductile fracture mechanism, it also has some elements of dimpled ductile fracture at microscale. The melted layer has a reduced microhardness compared to the non-irradiated metal caused by the dendritic microstructure.

#### МОДИФІКАЦІЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ VT22 ПІД ДІЄЮ ОПРОМІНЕННЯ МІКРОСЕКУНДНИМ СИЛЬНОСТРУМОВИМ ЕЛЕКТРОННИМ ПУЧКОМ

*С.С. Донець<sup>1</sup>, В.Ф. Клепиков<sup>1</sup>, В.В. Литвиненко<sup>1</sup>, Ю.Ф. Лонін<sup>2</sup>, А.Г. Пономарьов<sup>2</sup>,  
О.А. Старцев<sup>1</sup>, Р.І. Старовойтов<sup>3</sup>, В.Т. Уваров<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України;*

*<sup>2</sup>ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут»;*

*<sup>3</sup>Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна*

Сплав титану VT22 опромінювався в прискорювачі ТЕМР-А сильнострумовим електронним пучком з енергією 350 кЕВ, струмом пучка 2 кА, довжиною імпульсу близько 4 мкс і діаметром пучка 45 мм. Опромінення проводили для трьох зразків 1 - 3 імпульсами. Чисельне моделювання розподілів температур у мішенях проводилося з використанням моделі термопружної абляції. Досліджено мікроструктурні та механічні властивості опроміненого сплаву з використанням вимірювання мікротвердості, металографічного та фрактографічного аналізів. В результаті опромінення утворюється дендритна мікроструктура після затвердіння порівняно з мартенситною неопроміненою структурою. Зона переконаденсації та зона переплаву має більш в'язкий характер руйнування у порівнянні з початковою структурою. Зона теплового впливу має квазі-пластичний характер зламу на макрорівні. Переплавлений шар має менше значення мікротвердості в порівнянні з неопроміненим, що пояснюється утворенням дендритної структури.

#### ЗАСТОСУВАННЯ РАДІАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

*М.І. Базалєєв<sup>1</sup>, В.В. Брюховецький<sup>1</sup>, С.С. Донець<sup>1</sup>, В.Ф. Клепиков<sup>1</sup>,  
В.В. Литвиненко<sup>1</sup>, Ю.Ф. Лонін<sup>2</sup>, А.Г. Пономарьов<sup>2</sup>, Є.М. Прохоренко<sup>1</sup>,  
О.А. Старцев<sup>1</sup>, В.Т. Уваров<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України;*

*<sup>2</sup>ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут»*

На теперішній час є актуальною проблема подовження ресурсу роботи та надійності газотурбінних двигунів. З огляду на це постає задача створення методів та інструментів для вирішення задач екстремального тестового навантаження на лопатки турбін, які б відтворювали можливі високотемпературні, ударні та опромінювальні впливи. Розроблено підхід, що ґрунтується на використанні сильнострумового релятивістського електронного пучка. На підставі цього створено методіку проведення тестових та

ідентифікаційних випробувань лопаток газотурбінних двигунів. Методика містить алгоритм проведення матеріалознавчих процедур з аналізу поведінки матеріалу лопатки під впливом аварійних теплових навантажень, які імітуватимуться інтенсивним електронним пучком. Комплекс також містить експериментальний стенд для вимірювання динаміки розподілу температурного поля на поверхні лопатки та відповідні алгоритми і програмне забезпечення для проведення необхідних розрахунків.

## ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ОБ'ЄКТІВ З ВПРОВАДЖЕННЯМ ГРАФОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ

*Т.В. Козуля, М.О. Білова*

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
м Харків, Україна*

Актуальність теми визначається необхідністю розробки моделей об'єкта дослідження для інформаційної підтримки оцінювання його стану при розв'язанні задач оцінки якості.

Використання сучасних інформаційних технологій є необхідним при створенні комплексного методичного забезпечення дослідження стану і процесів при взаємодії соціально-економічних систем з навколишнім природним середовищем (НПС). Комплексність вивчення об'єктів «система – НПС» базується на теорії системного аналізу, сучасних методичних підходах визначення відповідності стану системи прийнятному рівню якості. Особливого значення при цьому набуває інформаційно-методична складова підтримки комплексного оцінювання стану складних систем і НПС людини з метою визначення ефективних засобів забезпечення природного розвитку.

У роботі удосконалено GL-моделі з позиції розгляду складності об'єкта виду «система – НПС», який вважається системним утворенням.

Методичне забезпечення комплексної оцінки стану складних об'єктів з використанням методів топологічного та когнітивного моделювання дозволить аналізувати слабоструктуровані об'єкти будь-якого рівня дослідження. Інформаційна підтримка запровадження об'єктивної основи виявлення факторів дестабілізації стану складних систем дасть змогу сформулювати зважене управлінське рішення.

## САМОСОГЛАСОВАННИЙ АНАЛІЗ РЕЗОНАТОРОВ ГИРОТРОНОВ С КОНВЕРСИЕЙ МОД

*А.В. Максименко, В.И. Щербинин, В.И. Ткаченко*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Для эффективного расчета рабочих параметров гиротрона необходим учет взаимного влияния пучка электронов и электромагнитной волны. Для традиционных резонаторов гиротрона со слабой продольной неоднородностью, расчет основных параметров (стартовый ток, частота, КПД, мощность) можно провести, используя хорошо известную самосогласованную систему уравнений

[1-2]. Однако эти уравнения неприменимы для резонаторов гиротрона с заметными продольными неоднородностями, которые приводят к конверсии мод. В рамках приближения фиксированной структуры поля влияние конверсии мод на стартовые токи было исследовано в [3].

В данной работе рассмотрены два альтернативных самосогласованных подхода, которые позволяют корректно учитывать связь мод ТЕ и ТМ поляризаций. Получены зависимости стартовых токов от значений внешнего магнитного поля для резонатора гиротрона с большим выходным углом. Проведено сравнение расчетов с результатами в [3]. Одним из подходов рассчитаны мощность и КПД данного гиротрона.

[1] V.L. Bratman, M.A. Moiseev, M.I. Petelin, and R.E. Erm, Radiophysics and Quantum Electronics, vol. 16, no. 4, pp. 474-480, 1973.

[2] V.I. Shcherbinin, A.V. Hlushchenko, A.V. Maksimenko, and V.I. Tkachenko, IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 64, no. 9, pp. 3898-3903, 2017.

[3] A.V. Maksimenko, V.I. Shcherbinin, A.V. Hlushchenko, V.I. Tkachenko, K.A. Avramidis, and J. Jelonnek, IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 66, no. 3, pp. 1552-1558, 2019.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ МАТЕРИАЛЬНЫХ ТОЧЕК НА ГЛАДКИХ НЕ ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ МНОГООБРАЗИЯХ В ЕВКЛИДОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

С.С. Зуб<sup>1</sup>, В.В. Семенов<sup>1</sup>, Н.И. Ляшко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, г. Киев;

<sup>2</sup>Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины, г. Киев

Данная задача относится к оптимизации, но при этом использует физический аппарат и методы. Среди множества методов оптимизации, направленных на поиск минимума функции, есть метод, использующий физическую аналогию, так называемый метод тяжелого шарика для поиска минимума функции.

В работе [1] мы предложили метод поиска ближайших пар на двух гладких кривых в евклидовом пространстве, которые не пересекаются. Этот метод, также как и метод тяжелого шарика, основан на физической аналогии, которая использует модель физического взаимодействия материальных точек с заданной потенциальной энергией для моделирования их динамики.

Получены уравнения движения материальных точек в форме Лагранжа и Гамильтона. Их приближенное интегрирование дает алгоритм аппроксимации ближайшей пары.

Приведены конкретные математические модели гладких не пересекающихся многообразий для получения соответствующих алгоритмов оптимизации и их исследования.

Проведены вычисления, подтверждающие работоспособность предложенного метода для достаточно широкого круга приложений.

[1] S.S. Zub Dynamic systems for finding best approximation pairs relative to two smooth curves in euclidean space / S.S. Zub, N.I. Lyashko, V.V. Semenov // Journal of Numerical & Applied Mathematics. – 2017. – №1 (124). – P. 43–51.

## МОДЕЛЮВАННЯ РАДІАЦІЙНО-ІНДУКОВАНОЇ СЕГРЕГАЦІЇ В СПЛАВАХ Fe-Cr-Ni ПІД ДІЄЮ ІОННОГО ОПРОМІНЕННЯ

*Р.В. Скороход, О.В. Коропов, В.Л. Денисенко, В.Ю. Сторіжко  
Інститут прикладної фізики НАН України, Суми, Україна*

Для вивчення радіаційної стійкості матеріалів ядерної енергетики в приповерхневих шарах зразків широко використовують іонне опромінення. Потужність дози такого опромінення може перевищувати нейтронне на декілька порядків, що дає можливість досягати високих доз опромінення (понад 100 зна) за відносно короткий проміжок часу. Особливістю моделювання радіаційно-індукованих процесів під дією іонного опромінення є врахування імплантованих атомів, які викликають додатковий перерозподіл компонентів сплаву [1].

В даній роботі для моделювання радіаційно-індукованої сегрегації під дією іонного опромінення розроблений комп'ютерний код, який базується на запропонованому раніше [2]. Розраховані концентраційні профілі компонентів та точкових дефектів сплавів складу Fe-Cr-Ni, які опромінюється іонами Fe при різних початкових температурах. Розрахунки проведені для різних доз опромінення.

Одержані результати є складовою частиною наукової роботи №III-107-18.

1. K. Vörtler et al. // J. Nucl. Mater. 2016, v. 479, p. 23-35.
2. R.V. Skorokhod, O.M. Buhay, V.M. Bilyk, V.L. Denysenko, O.V. Koropov // East European Journal of Physics. 2018, v. 5(1), p. 61-69.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАВШИХ ТВЭЛОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

*Е.Я. Банникова<sup>1</sup>, А.С. Задворный<sup>2</sup>, Т.В. Малыхина<sup>1</sup>, А.Д. Мерная<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Харьковський національний університет ім. В.Н. Каразіна, г. Харків;*

*<sup>2</sup> ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, г. Харків*

Проведена оцінка величини активності гамма-випромінювання з ТВЭЛа на предмет використання цього випромінювання в пристроях радіаційної обробки. Представлені характеристики продуктів делення, даючих найбільший вклад в активність отработавшого палива в течение нескольких лет после выгрузки ОЯТ. Особое внимание уделено продуктам деления с большими периодами полураспада. На основании предварительных расчетов сделан вывод о возможности использования ОЯТ в качестве источника гамма-излучения в радиационных технологиях.

# ТЕРМІЧНИЙ АНАЛІЗ КОНВЕРТОРА ГАЛЬМІВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА $^{18}\text{F}$ НА ЛІНІЙНОМУ ПРИСКОРЮВАЧІ ЕЛЕКТРОНІВ

*А.В. Тільний, Т.В. Малихіна*

*Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна,  
майдан Свободи, 4, Харків, 61022, Україна*

В представленій роботі проведено моделювання термічних навантажень, яким піддаються матеріали конвертора гальмівного випромінювання для виробництва медичних ізотопів фотоядерним способом. Мета роботи полягала у визначенні деяких технічних параметрів електронного пучка під час експерименту, що планується. Моделювання було здійснено за допомогою двох програмних засобів: SolidWorks та COMSOL Multiphysics. У якості досліджуваного були обрані три матеріали конвертора, для яких отримано максимальну кількість ізотопу  $^{18}\text{F}$ . Для проведення термічного аналізу матеріалу конвертора було здійснено кілька модельних експериментів та визначено оптимальну потужність пучка електронів, при котрій конвертор гальмівного випромінювання витримає теплові навантаження, і при цьому не відбувається зменшення кількості отриманого ізотопу  $^{18}\text{F}$ .

Виходячи з отриманих результатів термічного дослідження для конвертора зі свинцю, можна зробити висновок, що під час опромінення експериментальної установки пучком електронів з енергією 30 МеВ та потужністю 1мкА, конвертер не розплавиться і витримає теплові навантаження.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И ТОРМОЗНЫХ ГАММА-КВАНТОВ В ТАНТАЛОВОМ КОНВЕРТЕРЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 36.7 МЭВ

*В.В. Лисовская, Т.В. Малихина, Я.А. Малаяр*

*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, г. Харьков*

Данная работа посвящена исследованию возможности усовершенствования методов получения медицинских изотопов  $^{18}\text{F}$  и  $^{11}\text{C}$  с использованием линейного ускорителя электронов. В работе [1] проводились экспериментальные исследования наработки фотоядерным способом изотопов  $^{18}\text{F}$  и  $^{11}\text{C}$  в различных мишенях, при облучении потоком тормозного излучения целевых мишеней. Экспериментальные исследования проведены в диапазоне энергий от 10 до 40 МэВ.

В данной работе проводятся вычисления двумя способами углового распределения электронов и тормозных гамма-квантов с целью выяснения возможностей получения максимально достижимых уровней активности медицинских изотопов  $^{18}\text{F}$  и  $^{11}\text{C}$ .

В результате выполнения работы получены угловые характеристики пучка первичных электронов и тормозных гамма-квантов непосредственно перед целевой мишенью, что позволит оптимально разместить сборки целевых мишеней для наработки медицинских изотопов фотоядерным способом.



1. Dovbnya A.N. et al. Production of  $^{11}\text{C}$  and  $^{18}\text{F}$  isotopes. Getting the «glucose,  $^{11}\text{C}$ » radiopharmaceutical / A.N. Dovbnya, R.N. Dronov, V.A. Kushnir, V.V. Mitrochenko, S.A. Perezhugin, L.I. Selivanov, V.A. Shevchenko, B.I. Shramenko // East European Journal of Physics. 2018, №4, PP.77-86.

## ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ МАГНЕТРОННО-РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ЦИФРОВЫМИ СЪЕМОМ И ОБРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИИ

*И.А. Афанасьева<sup>1</sup>, С.Н. Афанасьев<sup>1,2</sup>, В.В. Бобков<sup>1</sup>, В.В. Грицына<sup>1</sup>, Ю.Е. Логачев<sup>1</sup>, И.И. Оксенюк<sup>1</sup>, А.А. Скрипник<sup>1</sup>, Д.И. Шевченко<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина*

*<sup>2</sup>ННЦ «ХФТИ» НАН Украины*

Работа посвящена разработке диагностического комплекса, основанного на методе оптической спектрометрии (ОС) и предназначенного для экспресс-анализа элементного состава твердых тел. В качестве источника исследуемого оптического излучения используется разряд в скрещенных  $\text{E} \times \text{H}$  полях, что существенно повышает эффективность метода ОС.

Для регистрации излучения возбужденных частиц выбрана пленочная запись экспериментальной информации с помощью устройства с зарядовой связью (ПЗС-матрица). Для получения качественных и количественных характеристик спектра плазмы разряда на языке программирования Python создано многофункциональное диалоговое GUI-приложение OSA (Optical Spectrum Analyzed).

Предложенная методика дает возможность существенно ускорить процесс получения физической информации и повысить точность в определении параметров спектра. Полученные в цифровом виде снимки спектров свечения эталонных объектов, дополненные данными их обработки программным приложением OSA, позволяют создать базу данных, включающую в себя как атласы спектров свечения различных элементов в электронном виде, так и количественные параметры этих спектров.

## СЕЛЕКЦИЯ МОД ОМИЧЕСКИМИ ПОТЕРЯМИ В ГОФРИРОВАННЫХ РЕЗОНАТОРАХ ГИРОТРОНА НА ВТОРОЙ ЦИКЛОТРОННОЙ ГАРМОНИКЕ

*Т.И. Ткачева, В.И. Щербинин, В.И. Ткаченко*

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»*

В настоящее время терагерцовое излучение находит широкое применение в различных областях науки и техники, включая физику ускорителей. Одними из наиболее перспективных источников ТГц излучения является гиротроны на второй циклотронной гармонике. Это объясняется их высокой мощностью и сравнительно небольшими габаритами. Однако практическая реализация таких гиротронов часто сопряжена с проблемой конкуренции рабочей моды с паразитными модами на фундаментальном циклотронном резонансе.

Для подавления паразитных мод предложено использовать омические потери в резонаторе гиротрона с продольной гофрировкой. Известно [1], что эти потери зависят от частоты моды и параметров гофрировки. Для 0.4-ТГц гиротрона на второй циклотронной гармонике найдена глубина гофров резонатора, соответствующая максимуму омических потерь для фундаментальных паразитных мод. Для данной глубины гофров определены число гофров и их ширина, при которых отношение потерь рабочей моды к потерям паразитных мод достигает минимума, а конверсия рабочей моды в азимутальные сателлиты является пренебрежимо малой. При этом положительный эффект такой селекции мод преобладает над нежелательными потерями в резонаторе. Найденные параметры гофрировки резонатора гиротрона могут быть реализованы на практике.

[1] T.I. Tkachova, V.I. Shcherbinin, and V.I. Tkachenko, "Eigenvalues and eigenfields of a corrugated gyrotron cavity with conducting walls," Problems of Atomic Science and Technology. Ser.: Plasma Physics, vol. 6 (118), pp. 67-70, 2018

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ ПРАВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ НА КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ

*А.К. Курьшин, М.А. Хажмурадов*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

В условиях стремительного развития ИТ-отрасли в мире и Украине сделан обоснованный вывод об изменении характера проведения научных исследований в научно-технологической сфере и в области физики, в частности. В силу ряда объективных причин, уменьшилась доля натуральных научных экспериментов в пользу проведения моделирования физических процессов с помощью компьютерных технологий. При этом, используемое для исследований специализированное программное обеспечение (ПО) совершенствуется учеными, подвергается модификации, дополняется новыми программами и даже комплексами программ, что требует значительных интеллектуальных и временных затрат. В современных условиях капитализации знаний возникает необходимость в защите прав на результаты такой интеллектуальной деятельности (РИД). Известно, что компьютерные программы (КП) традиционно принято защищать нормами авторского права (АП). Однако в силу своего двойственного характера, дуализма самой природы программного обеспечения, в этом объекте интеллектуальной собственности (ОИС) тесно переплетены программный код, который рассматривается законодательством Украины и др. стран, как литературное произведение, и алгоритмы исполнения этого кода, защита которых близка к патентному праву. Алгоритм (т.е. способ, процесс) более присущ изобретению и полезной модели. Приведены достоинства и недостатки каждого из двух методов. Предложен комплексный подход к защите КП в области проведения научных исследований: регистрация кода программы, как объекта авторского права, регистрация алгоритма работы программы (получение патента на идею), регистрация уникального названия программы, бренда-торговой марки. Предложенный подход позволит ученым иметь

достаточную защиту РИД с целью дальнейшего вовлечения разработанных КП в коммерческий хозяйственный оборот реального сектора экономики.

## ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ СЛУЖЕБНЫХ ИЗОБРЕТЕНИЙ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

*А.К. Курьшикин, М.А. Хажмуратов*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Обобщены положения действующего законодательства Украины и международной практики по созданию служебных изобретений (СИ) в результате научно-технической деятельности сотрудниками научно-исследовательских организаций (НИО). Обоснована актуальность темы СИ обусловленная тем, что отношения между работодателем и работником-автором диктуют различные возможности права пользования и распоряжения этими объектами. Изобретение признается служебным, если оно создано автором, являющимся сотрудником НИО, в связи с выполнением трудовых обязанностей или конкретного задания работодателя. В случае СИ работодатель получает право подать заявку и получить патент, или передать право, или сохранить в тайне изобретение, а у работника появляется право на вознаграждение. Уточнены способы и пути вовлечения служебных изобретений в реальный сектор экономики, в хозяйственный (деловой) оборот. При этом указаны режимы такого вовлечения с помощью договоров: договор поставки научно-технического продукта (НТП), договор на создание (передачу) НТП, договором использования НТП. Даны рекомендации заказчикам, работодателям и авторам в процессе создания СИ и защиты прав на него. Предложенный алгоритм позволяет максимально избежать конфликтов и обеспечить баланс интересов авторов и работодателя, авторов, работодателя и заказчика в процессе создания, защиты и использования СИ. Реализация такого подхода позволит создать сбалансированный портфель объектов интеллектуальной собственности в НИО и эффективно управлять результатами интеллектуальной деятельности в современных условиях коммерциализации знаний.

## RADIONUCLIDE IDENTIFICATION THROUGH GAMMA-RADIATION SPECTRA: THEORY AND PRACTICE

*A.I. Skrypnyk<sup>1</sup>, D.V. Fedorchenko<sup>1</sup>, M.A. Khazhmuradov<sup>1</sup>, V.V. Yehorov<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Institute of High-Energy Physics and Nuclear Physics of NSC KIPT NAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine;*

*<sup>2</sup>Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine*

In this work we determined radioactive sources composition through gamma-radiation spectra. Using Geant4 software package we developed models of standard source and CsI(Tl) scintillation detector and simulated interaction of the gamma-radiation with this detector. To simulate the detector response we used the dependency of energy resolution of CsI(Tl) detector from energy of gamma-quanta. This

dependency was determined from the gamma-radiation spectra of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  obtained on the experimental stand. We created a set of model spectra to build and train a model of mixed sources classification. The classification problem was treated as a multi-label classification problem and transformed to a set of single-label classification problems. The latter were solved with using k-nearest neighbors, naive Bayes classifier, support vector machines and decision trees.

We checked the efficiency of the isotopic composition determination using experimental data. Experimental gamma-radiation spectra were measured in the turbine hall Chernobyl NPP using of gamma-radiation spectrometer SEG-04K. Isotopic composition was determined from the experimental gamma-radiation spectra of radioactive sources that included  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$ .

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПО СПЕКТРАМ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

*А.И. Скрыпник<sup>1</sup>, Д.В. Федорченко<sup>1</sup>, М.А. Хажмурадов<sup>1</sup>, В.В. Егоров<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Институт физики высоких энергий и ядерной физики ННЦ ХФТИ  
НАН Украины, Харьков, Украина;*

*<sup>2</sup>Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль, Украина*

В данной работе определялся состав радиоактивных источников по спектрам гамма-излучения. С помощью программного комплекса Geant4 были созданы модели образцового спектрометрического гамма-источника и сцинтилляционного детектора CsI(Tl) и проведено моделирование взаимодействия гамма-излучения с веществом данного детектора. Для моделирования отклика детектора использована зависимость энергетического разрешения детектора CsI(Tl) от энергии гамма-квантов, определенная на основе спектров гамма-излучения  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ , полученных на экспериментальном стенде. Создан набор модельных спектров для построения и обучения моделей классификации смешанных источников. Поставленная задача была рассмотрена как задача многометочной классификации, преобразованная в набор задач однокметочной классификации. Полученные задачи решены с помощью метода k ближайших соседей, наивного байесовского классификатора, метода опорных векторов и деревьев принятия решений.

Эффективность методики определения изотопного состава была проверена на практике. Экспериментальные спектры гамма-излучения были измерены в машинном зале Чернобыльской АЭС с помощью спектрометрической установки SEG-04K. Определение изотопного состава проводилось по экспериментальным спектрам гамма-излучения радиоактивных источников, в состав которых входили  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$ .

## МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЛИЗА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ВОДНОЙ КОНВЕКЦИОННОЙ ПЕТЛЕ ННЦ ХФТИ ПОД ОБЛУЧЕНИЕМ НА УСКОРИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ ЛУЭ-10

*М.И. Братченко, С.В. Дюльдя*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Анализ имитационных экспериментов по исследованию перспективных конструкционных материалов для реакторов SCWR IV поколения на Сверхкритической Водной Конвекционной Петле (СВКП) ННЦ ХФТИ под облучением на ускорителе электронов ЛУЭ-10 требует детального описания всех условий эксперимента, влияющих на коррозионное поведение исследуемых образцов, к которым относится и химический состав водного теплоносителя. В работе выполнявшиеся ранее расчеты тепловых и радиационных полей в камере облучения (КО) СВКП дополнены согласованными с ними расчетами концентраций продуктов радиолиза воды методом многомасштабного моделирования. Для этого методом компьютерного моделирования основанным на пакете geant4 оригинальным кодом RaT рассчитаны выходы первичных продуктов радиолиза воды на единицу поглощенной дозы (g-факторы) для осредненного по КО СВКП спектра электронов. Для полученных g-факторов, рассчитана временная эволюция объемной концентрации продуктов радиолиза на масштабе времен эксперимента путем решения связанной системы уравнений химических реакций, протекающих между ними. Показано, что для стационарного режима циркуляции СВКП стационарное распределение продуктов радиолиза устанавливается за несколько оборотов теплоносителя. При этом радиолиз практически не влияет на уровень pH, но приводит к накоплению  $O_2$ ,  $H_2$  и  $H_2O_2$  до уровня, зависящего от мощности поглощенной дозы и плотности теплоносителя.

### **Пленарное заседание 3. Исследования и разработки ускорителей и накопителей заряженных частиц**

#### **Plenary meeting 3. Research and development of charged particles accelerators and storage rings**

##### **РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ 100 МэВ/100 кВ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ – ДРАЙВЕРА ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ» В 2018 ГОДУ**

*А. Андреев, В. Андросов, А. Бездетко, А. Быхун, А. Выродов, П. Гладких, А. Гвоздь, А. Гордиенко, В. Гревцев, А. Зелинский, А. Золочевский, В. Иващенко, А. Каламайко, И.И. Карнаузов, И.М. Карнаузов, В. Лященко, М. Моисеенко, А. Мыцыков, А. Резаев, И. Субботенко, Д. Тарасов, В. Троценко, А. Черкашин, И. Ушаков, С. Шейко*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

В ННЦ ХФТИ ядерная подкритическая установка «Источник нейтронов» сооружена и находится в подготовки к физическому пуску. Установка использует 100 МэВ/100 КВ линейный ускоритель электронов в качестве драйвера. Ускоритель был разработан и изготовлен в ИФВЭ, Пекин, Китай. В течение 2018 года все технологические системы были подготовлены к индивидуальным испытаниям, были успешно проведены Государственные индивидуальные испытания, проведена подготовка к Государственным комплексным испытаниям и успешно проведены комплексные испытания ЯПУ «Источник нейтронов». В настоящее время проводится подготовка к физическому пуску ЯПУ «Источник нейтронов».

В докладе описываются результаты работы ускорителя в 2018 году, достигнутые параметры электронного пучка, план работ на 2019 год.

##### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ»**

*Б.В. Борц, В.Т. Быков, А.В. Быхун, П.И. Гладких, А.Ю. Зелинский, И.М. Карнаузов, В.Н. Лященко, А.О. Мыцыков, В.Н. Ридозуб, В.Л. Стомин, И.В. Ушаков, В.М. Шершнев*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина*

Рассмотрены вопросы безопасности ядерной подкритической установки «Источник нейтронов», которые являются приоритетными для ННЦ ХФТИ, как эксплуатирующей организации, при сооружении и вводе установки в эксплуатацию.

Поскольку проект данной установка является инновационным, а сама установка по отдельным показателям не имеет аналогов в мире, при анализе ее безопасности использовался консервативный подход по всем ключевым направлениям: нейтронно-физические процессы; радиационная защита; прочность и надежность конструкций; анализ аварийных ситуаций; обращение с РАО и др.

## УЧАСТОК ПРОИЗВОДСТВА НЕЙТРОНООБРАЗУЮЩИХ МИШЕНЕЙ ИЗ СПЛАВА УРАНА ДЛЯ ИСТОЧНИКА НЕЙТРОНОВ.

*Б.В. Борц, А.А. Вакуленко, А.Ф. Ванжа, И.А. Воробьёв, Л.И. Глуценко, М.П. Домнич, А.А. Лопата, И.М. Карнаухов, Е.В. Луценко, Ю.А. Марченко*  
*ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина*

Из используемых в ядерной энергетике сплавов урана одним из наиболее перспективных сплавов является  $\gamma$ -фазный сплав U 7-10% Mo, являющийся однофазным в области рабочих температур мишени. Проведенные ранее исследования этого сплава показали большую радиационную стабильность и коррозионную стойкость при температурах до 600°C [1].

Для получения нейтронообразующих мишеней из сплава урана для источника нейтронов был создан участок по их изготовлению, с применением следующих технологических операций: подготовка шихты для плавки сплава урана (очистка и химическое травление шихты), вакуумная индукционная выплавка слитков сплава урана, механическая обработка и порезка слитка на заготовки под деформирование, высокотемпературная деформация заготовок, термомеханическая обработка заготовок, порезка заготовок на сердечники урановых мишеней, окончательная подготовка поверхности сердечников урановых мишеней под упаковку (очистка и химическое травление сердечников), сборка урановых сердечников с алюминиевой упаковкой, диффузионная сварка алюминиевой упаковки, проверка урановых мишеней на герметичность.

Для выполнения операций при производстве урановых мишеней спроектированы и изготовлено следующее технологическое оборудование: индукционная вакуумная плавильная печь, установка высокотемпературной деформации слитков; машина для порезки урана и другое технологическое оборудование.

В настоящее время ведутся работы по вводу оборудования в эксплуатацию и на участке получения урановых мишеней и получению по согласованию с контролирующими органами (МОЗ Украины и ГИЯР Украины) разрешительных документов на работы с ураном и его сплавами в НИК ЯУС.

## Секция 5. Исследования и разработки ускорителей и накопителей заряженных частиц

### Section 5. Research and development of charged particles accelerators and storage rings

#### РЕЛЯТИВИСТСЬКИЙ ПІДХІД ДО ТУНЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОНІВ З КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИСКОРЮВАЧІВ

*С.О. Лебединський, Р.І. Холодов*

*Інститут прикладної фізики НАН України, м. Суми*

Теорія польової емісії створена у 1928 році Фаулером та Нордгеймом [1] до цих пір залишається основною теорією, що використовується для розрахунків струму польової емісії електронів. Проте, на даний час технічні можливості та потреби для проведення різного роду експериментів невпинно збільшуються. Легко переконатися, що у випадку міжелектродного проміжку порядку 1 см та напруженості зовнішнього електричного поля близько  $E=100$  MV/m рух електрона стає релятивістським:  $\gamma=\varepsilon/mc^2\approx 2$ . Тому розрахунки коефіцієнту проходження потенціального бар'єру та відповідно струму польової емісії потребують доповнення, яке б враховувало релятивізм.

Для знаходження хвильових функцій електрона, що рухається з релятивістськими швидкостями використовувалось рівняння Клейна-Гордона-Фока замість рівняння Шрьодінгера. Це дало змогу врахувати не лише вплив релятивізму, а і присутність зовнішнього однорідного магнітного поля, паралельного поверхні металу у випадку  $E^2-c^2B^2>0$ . В результаті отримано коефіцієнти проходження потенціального бар'єру на межі метал-вакуум у присутності сильного електричного поля з врахуванням релятивістських поправок та зовнішнього магнітного поля паралельного поверхні металу.

[1] R. H. Fowler, L. Nordheim, [Proc. Roy. Soc. London A 119, 173](#) (1928).

#### ВПЛИВ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНІ МЕТАЛУ НА СТРУМ ПОЛЬОВОЇ ЕМІСІЇ У ВИПАДКУ БАГАТОСТУПЕНЕВИХ БАР'ЄРІВ

*І.І. Мусієнко, Р.І. Холодов*

*Інститут прикладної фізики НАН України, м. Суми*

Розглянуто модельний потенціальний бар'єр системи метал-вакуум в межах теорії Фаулера-Нордгейма [1] з врахуванням впливу вакансій і пор, утворених опроміненням іонами поверхні мідного зразка. Проведено аналіз впливу ефективної товщини модифікованої поверхні металу на струм польової емісії за допомогою введення додаткового приповерхневого дипольного шару. Враховано процес рекомбінації вакансій [2], утворених протягом часу опромінення, за допомогою пакету прикладних програм MATLAB. Чисельно одержано величину густини струму польової емісії з модифікованого шару міді.

1. R.H. Fowler, L. Nordheim, *Electron Emission in Intense Electric Fields // Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, Vol. 119, No. 781. (May 1, 1928), pp. 173-181.



2. G.S. Was. *Fundamentals of Radiation Materials Science: Metals and Alloys*. – New York: University of Michigan, Springer, 2007. – 828 p.

## МАГНЕТРОН С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ КАК ИСТОЧНИК ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО УСКОРИТЕЛЯ

*С.А. Черенцов*

*Радиоастрономический институт НАН Украины, г. Харьков*

Применение магнетронов для питания линейных ускорителей привлекает внимание из-за высокой эффективности и низкой стоимости. Благодаря использованию опорного СВЧ сигнала и цифровой системе обратной связи удается преодолевать недостатки магнетронных генераторов: плохие стабильность и управляемость [1]. Использование вторично-эмиссионного катода позволяет преодолеть еще один существенный недостаток магнетронов – малый срок службы [2]. Для запуска такого катода удобно использовать внешний СВЧ сигнал. Однако оптимальная частота запуска не совпадает с частотой генерации. Использовать опорный источник СВЧ и для запуска позволит применение в магнетроне системы быстрой перестройки частоты.

1. H. Wang et al., Magnetron R&D toward the amplitude modulation control for SRF accelerator, in Proceedings of IPAC'18, Vancouver, Canada, p. 3988. 2018.

2. Д. М. Ваврив, В. Д. Науменко, В. А. Марков. Магнетроны на пространственных гармониках с холодным вторично-эмиссионным катодом: современное состояние развития (обзор) // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2018. – Т. 61, № 7(673). – С. 371–382.

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ ВЫСОКОВАКУУМНЫХ СТРУКТУР С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОБОВ

*В.А. Батулин, А.Ю. Карпенко, С.А. Ерёмин*

*Институт прикладной физики НАН Украины, г. Сумы*

Представлены результаты экспериментов по влиянию обработки поверхности медных образцов на возникновение высоковольтных высоковакуумных пробоев в двухэлектродной системе. Исследования проводились на установке для изучения высоковакуумных пробоев, созданной в ИПФ НАН Украины [1]. Доклад посвящен изучению влияния тонких покрытий нанесенных на поверхность меди, используемой в электродах ускорительных структур, на вероятность возникновения пробоев. Приводятся результаты исследования пред пробойных токов и пробивных напряжений для медных образцов с покрытиями из различных материалов, нанесенными методом магнетронного распыления.

Работа выполнена в коллаборации ИПФ НАН Украины и Европейского Центра Ядерных Исследований (CERN) по проекту CLIC (Compact Linear Collider) // CLEAR, при финансовой поддержке программы "Фундаментальні дослідження з фізики високих енергій та ядерної фізики (міжнародна співпраця)" (грант №11-32-18).

1. V.A. Baturin, A.Yu. Karpenko, V.E. Storizhko, V.A. Shutko / Investigation of copper samples with ion-plasma treatment on the high voltage breakdowns // Problems of Atomic Science and Technology. - 2018. №4(116), P. 297-301

#### ИСТОЧНИК ИОНОВ ВОЛЬФРАМА

*П.А. Литвинов, В.А. Батурин, С.А. Пустовойтов, О.Ю. Роенко  
Институт прикладной физики НАН Украины, г. Сумы*

Благодаря своей стабильности и надежности вольфрам является наиболее перспективным материалом для диверторных пластин токамаков. Распыленные атомы и ионы вольфрама, попадая в плазму, приводят к значительным потерям её энергии. Для надежной оценки этих потерь при моделировании нужны пучки ионов W. В ИПФ НАНУ разработан распылительный источник ионов вольфрама и проведены его испытания. При распылении вольфрамовых вставок в аргоновой плазме из источника с эмиссионным отверстием  $\varnothing 1.5$  mm получен ток ионов вольфрама  $\sim 30$   $\mu$ A и экстрагирующем напряжении 30 kV. Ионный источник работал в непрерывном режиме.

#### ИСПЫТАНИЕ И ПОДГОТОВКА К ВВОДУ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ 100 МэВ/100 кВт ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ –ДРАЙВЕРА ЯПУ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ» ННЦ ХФТИ

*А. Зелинский, Д. Тарасов, В. Лященко*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

В ННЦ ХФТИ ядерная подкритическая установка «Источник нейтронов» сооружена и находится в подготовки к физическому пуску. Установка использует 100 МэВ/100 КВ линейный ускоритель электронов в качестве драйвера. Поскольку Нейтронный источник является ядерной установкой, все технологические системы установки находятся в ведении Государственной инспекции ядерного регулирования Украины, которая работает в соответствии с международным законодательством о ядерном регулировании. Это положение требует определенных требований к проектированию и реализации системы управления объектом, для обеспечения условий безопасной эксплуатации. Описаны особенности системы управления линейного ускорителя в составе ядерной установки ННЦ ХФТИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ», представлены результаты предварительных и комплексных испытаний, предложены технические и программные решения для модернизации системы управления.

#### ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО СОСТАВА И МОЩНОСТИ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ»

*В.К. Волошин, И.М. Карнаухов, А.П. Масалитина, А.В. Невара, В.Л. Стомин,  
А.В. Тертычный, Г.Э. Туллер, И.В. Ушаков, В.О. Шпазина  
ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины*

Проведены измерения радионуклидного состава и мощности поглощенной дозы гамма-излучения образцов технологического происхождения ядерной подкритической установки «Источник нейтронов».

Определение радионуклидного состава осуществлялось анализом спектров гамма-излучения, измеренных с помощью германиевого гамма-спектрометра фирмы Canberra в составе многоканального анализатора спектра DSA-LX, полупроводникового германиевого детектора BE3830 и персонального компьютера с базовым программным обеспечением Genie-2000.

Определен радионуклидный состав трех образцов демонтированного оборудования ускорителя (1-й коробка с медной стружкой после обработки детали на станке, 2-й обрезок волновода, 3-й фланец).

Радионуклидный состав первого образца, идентифицировано 8 нуклидов (K-40, Sc-46, Cr-51, Mn-54, Mn-56, Co-57, Co-58, Co-60), у второго образца идентифицировано 11 нуклидов (K-40, Sc-46, Cr-51, Mn-54, Mn-56, Co-57, Co-58, Co-60, Rb-88, Y-88, Nb-95), у третьего образца идентифицировано 9 нуклидов (Na-22, K-40, Sc-46, Cr-51, Mn-54, Mn-56, Co-57, Co-58, Co-60).

Представлены результаты измерения мощности поглощённой дозы гамма-излучения образцов, описанных выше, в различной геометрии (вплотную, на расстоянии 10 см, и на расстоянии 30 см) с помощью переносного дозиметра-радиометра МКС АТ1117М с блоком детектирования БДКГ-01.

#### ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ВЫГОРАНИЕ УРАНОВОЙ МИШЕНИ ЯДЕРНОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ»

*Б.В. Борц, А.Ф. Ванжа, И.А. Воробьев, В.Т. Быков, А.В. Быхун, А.Ю. Зелинский, И.М. Карнаухов, А.А. Лопата, Е.В. Луценко, Ю.А. Марченко, А.О. Мыцьков, А.А. Пархоменко И.В. Паточкин, В.Н. Ридозуб, В.Л. Стомин, И.В. Ушаков, В.М. Шеринев*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина*

Использование урана в качестве материала пластин для нейтронно-образующей мишени ядерной подкритической установки «Источник нейтронов» позволяет значительно увеличить выход первичных нейтронов, размножающихся в активной зоне подкритической сборки, и таким образом, повысить эффективность ее работы.

С точки зрения металлофизики наиболее подходящим материалом мишени должен быть сплав U-(7-9%)Mo, который при сохранении в нем структуры высокотемпературной  $\gamma$ -фазы в ходе эксплуатации имеет ряд преимуществ по термической и структурной стабильности по сравнению с другими сплавами урана. Вместе с тем, проведенные с помощью кода MCNPX 2.40 расчеты показали, что при анализе работы установки с урановой мишенью необходимо учитывать, что выход нейтронов будет уменьшаться примерно на один процент на каждый процент Mo.

При этом, величина суточного выгорания урановой мишени на высокоэнергетических фотонейтронах сравнима с величиной выгорания от тепловых нейтронов из подкритической сборки.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПЕРСОНАЛА ЯПУ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ»

*В.К. Волошин, И.М. Карнаухов, А.П. Масалитина, А.В. Невара, В.Л. Стомин, И.В. Ушаков, В.О. Шпагина*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины*

Приведены результаты индивидуального дозиметрического контроля сотрудников ЯПУ «Источник нейтронов» за 2018 год.

Контроль профессионального облучения является одной из основных частей системы обеспечения радиационной безопасности персонала установки. Целью контроля является достоверное определение доз облучения персонала для установления соответствия условий труда и подтверждения того, что радиационная безопасность персонала обеспечена должным образом, а техногенный источник излучения находится под контролем. Контроль профессионального облучения на ЯПУ «Источник нейтронов» осуществляется с помощью автоматизированной системы индивидуального дозиметрического контроля и заключается в определении индивидуальных эффективных доз внешнего облучения персонала. Значение индивидуальной дозы приписывается сотруднику по результатам дозиметрического контроля.

## ВИКОРИСТАННЯ Pu-Be ДЖЕРЕЛА ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ ДЕТЕКТОРІВ НЕЙТРОНІВ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РЕАКТИВНОСТІ ЯДЕРНОЇ ПІДКРИТИЧНОЇ УСТАНОВКИ «ДЖЕРЕЛО НЕЙТРОНІВ»

*В.Т. Биков, В.Л. Стомін, А.В Тертичний, Г.Е. Туллер, І.В. Ушаков  
ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України*

Розглянуто можливість використання Pu-Be джерела для калібрування детекторів нейтронів системи контролю реактивності ядерної підкритичної установки «джерело нейтронів».

Для цього було розроблено модель, яка складається з парафінового циліндру та поліетиленової півсфери. Метою використання даної геометрії було отеплення нейтронів спектру Pu-Be та радіаційний захист персоналу, що буде проводити калібрування.

Розрахунок виконувався за допомогою коду MCNPX і був проведений для різних варіантів розташування ізотопного джерела всередині заданої геометрії.

Також був проведений розрахунок контейнеру для проведення калібрування за допомогою більш потужного ізотопного джерела нейтронів. Розрахунок проводився за допомогою коду MCNPX. Були отримані просторові розподілення потоку нейтронів зовні заданого контейнера.

## ПРОХОДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ НЕЙТРОНІВ КРИЗЬ КАБЕЛЬНУ ПРОХОДКУ ДЕТЕКТОРІВ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РЕАКТИВНОСТІ ЯПУ «ДЖЕРЕЛО НЕЙТРОНІВ»

*Г.Е. Туллер, А.В. Тертичний, В.Л. Стомін  
ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України*

Розраховано проходження теплових нейтронів уздовж кабельної проходки, яка використовується задля проходження кризь біологічний захист кабелів від детекторів нейтронів системи контролю реактивності ядерної підкритичної установки «Джерело нейтронів».

Проходка являє собою алюмінієву трубку d29x1 довжиною 100 мм, яка з обох боків закрита поліетиленовими пробками 10 мм завтовшки. Між пробок розташована засипка з гідриду титану TiH<sub>2</sub> щільністю 3,76 г/см<sup>3</sup>. Уздовж осі проходить залізний стержень діаметром 4 мм.

Розрахунки виконувалися незалежно за допомогою програмних кодів GEANT3 та MCNPX для теплових монохроматичних нейтронів з енергією  $E_n = 0.0253$  еВ та для нейтронів зі спектром плутоній-берилієвого джерела. Результати розрахунків показують, що кабельна проходка забезпечує необхідний рівень послаблення нейтронного потоку.

## РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЯДЕРНОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ»

*В.К. Волошин, И.М. Карнаухов, А.В. Мазилев, А.П. Масалитина, А.О. Мьцьков,  
А.В. Невара, В.Н. Ридозуб, В.Л. Стомин, И.В. Ушаков, В.О. Шпагина  
ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины*

Для обеспечения радиационной безопасности персонала и населения на всех этапах эксплуатации ядерной подкритической установки «Источник нейтронов» разработана и внедрена система радиационного контроля установки.

Для осуществления радиационного контроля выполнен ряд мероприятий: разработан и согласован в установленном порядке полный перечень документов для обеспечения радиационной безопасности; создана служба обеспечения ядерной и радиационной безопасности; введены в действие автоматизированные системы радиационного контроля и индивидуального дозиметрического контроля. Радиационная безопасность установки обеспечивается: реализованными техническими решениями для безопасной эксплуатации, включая неперевышение пределов доз, установленных для нормальных условий эксплуатации источников ионизирующего излучения; минимизацией доз облучения персонала и населения выбросами и сбросами при эксплуатации установки; достаточным объемом радиационного контроля для безопасной эксплуатации установки в режиме нормальной и при нарушении нормальной эксплуатации. Система радиационного контроля установки интегрирована в систему радиационного контроля ННЦ ХФТИ.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ $\gamma$ -АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ В ИСТОЧНИКАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ»

*В.К. Волошин, И.М. Карнаухов, И.М. Короткова, А.П. Масалитина, А.В. Невара,  
В.Л. Стомин, А.В. Тертичный, Г.Э. Туллер, И.В. Ушаков, В.О. Шпагина  
ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины*

Разработана методика измерений активности гамма-излучающих радионуклидов в источниках технологического происхождения ядерной подкритической установки «Источник нейтронов».

В качестве источников гамма-излучающих радионуклидов технологического происхождения на установки могут быть демонтированное оборудование, не подлежащие дезактивации средства индивидуальной защиты, приспособления и отходы из различных материалов, пробоотборные фильтры, фильтры системы спецвентиляции, ионообменные смолы контуров спецводоочистки, жидкие технологические среды установки. Для проведения измерений использовался германиевый гамма-спектрометр фирмы Canberra в составе цифрового анализатора спектра DSA-LX, полупроводникового германиевого детектора BE 3830 и персонального компьютера с программным обеспечением Genie-2000 и ISOCS. Представлены результаты калибровки использованного гамма-спектрометра произведена по трем калибровочным источникам  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{152}\text{Eu}$  и результаты контрольных измерений.

## ОРГАНИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЯДЕРНОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ»

*В.К. Волошин, И.М. Карнаухов, А.В. Мазилев, А.П. Масалитина, А.В. Невара,  
В.Л. Стомин, И.В. Ушаков, В.О. Шпагина  
ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины*

Радиационная безопасность персонала ННЦ ХФТИ и населения, а также контроль за соблюдением норм и правил радиационной безопасности при эксплуатации ядерной подкритической установки «Источник нейтронов» обеспечивается за счет средств автоматизированных систем радиационного контроля и индивидуального дозиметрического контроля с применением разработанного регламента радиационного контроля и методик проведения дозиметрических измерений на установке. Представлены результаты исследования эффективности биологической защиты установки в ходе проведенных пуско-наладочных работ и комплексных испытаний.

## ВАКУУМНЫЕ CVD-ПОКРЫТИЯ Ta НА W ПЛАСТИНАХ МИШЕНИ ИСТОЧНИКА НЕЙТРОНОВ

*Б.В. Борц, Ю.И. Поляков, С.Г. Руденький, Ю.В. Лукирский, И.А. Воробьев,  
А.А. Лопата*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины*

Для защиты вольфрамовой мишени от коррозии под облучением необходимо нанести защитное покрытие из тантала. Та оболочка толщиной 250 мкм

вольфрамовых пластин размером 6х66мм, с толщинами 10; 6; 4; 3 мм должна иметь твердофазное соединение по всей поверхности вольфрама и быть герметичной. Указанное достигается путём осаждения тантала в вакууме на нагретой до 1700К поверхности пластины с использованием реакции термической диссоциации паров пентахлорида тантала. Практически реализованы упомянутые покрытия на макетных, а также натуральных вольфрамовых пластинах вышеперечисленных размеров. Покрытия характеризуются высокой адгезией, отсутствием газопроницаемости, и плотностью, близкой к теоретической. Натурные пластины вольфрама с нанесёнными покрытиями тантала с заданными свойствами, использованы в установке «Источник нейтронов» ННЦ ХФТИ.

### МЕХАНИЗМЫ СТРУКТУРИРОВАНИЯ И МАССОПЕРЕНОСА ВБЛИЗИ ГРАНИЦ РАЗДЕЛА РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОЕДИНЯЕМЫХ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ

*Б.В. Борц, А.А. Пархоменко, И.А. Воробьев, А.А. Лопата, В.И. Ткаченко  
ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины*

Получить соединение сваркой плавлением разнородных материалов невозможно из-за образования интерметаллидов приводящих к хрупкому разрушению слоев, и не возможности использования их для эксплуатации этих соединений в широком диапазоне температур от -180 до +700 °С. Возможность соединения разнородных материалов обеспечивается сваркой их, в твердой фазе, методом горячей вакуумной прокатки. Исследования показали, что граница соединения разнородных материалов всегда прочнее менее прочного материала. Были получены и исследованы композиции из титан-нержавеющая сталь, и другие композиции с материалами циркония, алюминия и низкоуглеродистых сталей со сталями типа AISI 304 через барьерные и демпфирующие прослойки Cu, Nb, Ni, Ta. Авторами работы впервые установлена последовательность структурных уровней волновых процессов, протекающих на макро-, микро- и нано-уровнях, на границах раздела материалов, соединяемых в твердой фазе высокотемпературной вакуумной прокаткой: показано, что на *макро-уровне* возникают поверхностные волны типа Кельвина-Гельмгольца, на *микро-уровне* установлен факт взаимного периодического массопереноса атомов контактирующих материалов с помощью дислокаций от границы раздела; на *нано-уровне* обнаружено протекание динамической нанорекристаллизации, и эффект образования квазипериодического волнового фронта деформации кристаллической решетки, связанный появлением ротационных мод деформации – частичных нано-дисклинаций и нано-дисклинаций кручения.

## Секція 6. Фізика і техніка детекторів излучений

### Session 6. Physics and technics of radiation detectors

#### DESIGN-TECHNOLOGICAL ASPECTS OF HIGH GRANULARITY DETECTOR MODULES CREATION FOR PHYSICS EXPERIMENTS

*V. Borshchov<sup>1</sup>, I. Tymchuk<sup>1,2</sup>, M. Protsenko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*LED Technologies of Ukraine Ltd, Kharkiv, Ukraine;*

<sup>2</sup>*Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine*

One of the main task of improving existing and creating new physics experiments is development of detector layers, which will increase informativity of research by increasing resolution and ensuring the reduction or achieve homogeneity of material budget in fiducial volume. An extremely important aspect is ensuring high level of production yield of detector modules and their components during creating detector layers.

For realization of abovementioned requirements, design-technological approaches for creation of detector modules have been developed based on the newest silicon ALPIDE MAPS sensors (increasing resolution, pixel size ~ 30umx30um), and flexible boards of made of aluminum-polyimide adhesiveless foiled dielectrics (reducing material budget and ensuring high homogeneity of material in fiducial volume) and allow to exclude using defective sensors for assembly of detector modules (increasing production yield at creating detector layers).

Based on developed approaches, prototypes of detector modules have been manufactured and they have been successfully tested on proton (PS) and super-proton (SPS) synchrotrons in CERN (Switzerland). For the first time investigation of ALPIDE MAPS sensors for electromagnetic calorimeters has been carried out.

Obtained results can be used not only for physics experiments (ALICE FoCal), but also for creation of the newest medical proton tomographs.

#### КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ ДЕТЕКТОРНИХ МОДУЛІВ ШАРІВ ВИСОКОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ДЛЯ ФІЗИЧНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

*В.М. Борщов<sup>1</sup>, І.Т. Тимчук<sup>1,2</sup>, М.А. Проценко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ТОВ «Світлодіодні технології України», Харків;*

<sup>2</sup>*Харківський національний технічний університет радіоелектроніки, Харків*

Одним з головних завдань удосконалення існуючих та створення нових фізичних експериментів є розробка детекторних шарів, що дозволять підвищити інформативність досліджень за рахунок збільшення роздільної здатності та забезпечення зменшення або досягнення однорідності матеріалу в об'ємі детектування. При цьому надзвичайно важливим аспектом є забезпечення високого рівня виходу придатних детекторних модулів та їх компонентів при створенні детекторних шарів.

Задля реалізації вищевказаних вимог розроблено конструктивно-технологічні підходи створення детекторних модулів, що базуються на новітніх кремнієвих



MAPS сенсорах типу ALPIDE (збільшення роздільної здатності, розмір пікселя  $\sim 30\text{мкм} \times 30\text{мкм}$ ) і гнучких платах з безадгезивних лакофольгових алюміній-поліімідних діелектриків (зменшення маси матеріалу та забезпечення високої однорідності матеріалу в об'ємі детектування) та дозволяють виключити використання дефектних сенсорів при складанні детекторних модулів (підвищення виходу придатних при створенні детекторних шарів).

На основі розроблених підходів виготовлено прототипи детекторних модулів, що успішно пройшли випробування та дослідження на протонному (PS) та супер-протонному (SPS) синхротронах у CERN (Швейцарія). Вперше проведено дослідження застосування MAPS сенсорів типу ALPIDE для електромагнітних калориметрів.

Отримані результати можуть бути використані не лише для фізичних експериментів (ALICE FoCal), а і для створення новітніх медичних протонних томографів.

## ОТКЛИК МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И МНОГОСЛОЙНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ

*В.Д. Рыжиков<sup>1</sup>, Г.М. Онищенко<sup>1,2</sup>, И.И. Якименко<sup>2</sup>, С.В. Найденов<sup>3,1</sup>,  
А.Д. Ополонин<sup>1</sup>, С.В. Махота<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Институт сцинтилляционных материалов;*

*<sup>2</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, г. Харьков;*

*<sup>3</sup>НТЦ «Институт монокристаллов», НАН Украины, г. Харьков*

Исследована эффективность двух типов детекторов при облучении быстрыми нейтронами. Для регистрации импульсов отклика детектора использовались широкополосный ( $0 \div 500$  МГц) и спектрометрический ( $\tau \sim 1$  мкс) тракты. Измерялась счетная эффективность (отношение числа зарегистрированных импульсов с  $1\text{ см}^2$  детектора к плотности потока нейтронов на детекторе) для монокристаллических и многослойных композитных детекторов ZWO, BGO и GSO с эффективной толщиной  $\sim 40$  мм. Отношение счетной эффективности для широкополосного тракта по отношению к узкополосному для монокристалла ZWO размером  $\sim \varnothing 50 \times 45$  мм составило  $\sim 40$ , для многослойного композитного детектора ZWO  $\sim 5$ , для многослойных композитных детекторов BGO и GSO  $< 2$ . Полученные результаты объясняются регистрацией каскадов мгновенных и задержанных (с изомерных состояний с временем жизни от нескольких нс до десятков мкс)  $\gamma$ -квантов как от неупругого, так и резонансного рассеяния, реализуемого при замедлении нейтронов в детекторе заметной толщины и подходящего изотопного состава.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРОВ ОКРАСКИ В ОБЛУЧЕННОМ ЭЛЕКТРОНАМИ И ТОРМОЗНЫМИ ГАММА-КВАНТАМИ LiF

*В.Т. Маслюк, Т.О. Вьеру-Василица, И.Г. Мегела, О.М. Поп, О.А. Тарнай  
Институт электронной физики НАН Украины, г. Ужгород, Украина*

Образцы диаметром 5 мм и толщиной 0,5 мм кристаллического LiF, легированного Mg, Ti, используемого для термолюминесцентной дозиметрии, облучались при комнатной температуре ускоренными на микротроне М-30 электронами с энергией 10 МэВ в присутствии неизбежного тормозного гамма-излучения. До и после облучения измерялось оптическое пропускание в интервале 200-900 нм в зависимости от флюенса электронов смешанного пучка до  $5 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup>. Для выяснения вклада тормозного гамма-излучения в образовании радиационных центров окраски также отдельно проводилось облучение только гамма-квантами, выделенными из смешанного пучка путем устранения электронов поглощением их алюминием толщиной 25 мм. Обнаружено, что для двух случаев облучения наблюдается различное соотношение интенсивности полос поглощения при 250 и 450 нм: при больших дозах смешанного пучка доминирует полоса при 450 нм. Полоса при 250 нм в LiF обычно связывают с вакансиями галогена, а полосу при 450 нм их дивакансиями [1]. Полученные результаты свидетельствуют о большой вероятности образования дивакансий при упругих столкновениях 10 МэВ электронов с атомами решетки.

1. Воробьев А.А. Центры окраски в щелочногалогидных кристаллах. – Изд.: ТГУ. – 1968. – 390 с.

## СОЗДАНИЕ ДЕТЕКТИРУЮЩЕГО МОДУЛЯ НА ОСНОВЕ НЕОХЛАЖДАЕМОГО Si ПЛАНАРНОГО ДЕТЕКТОРА

### С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПРОВОЛОЧНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ

*А. Лега, С.К. Киприч, Н.И. Маслов, С.М. Потин, М.Ю. Шулика, И.Н. Шляхов  
ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Неохлаждаемые кремниевые планарные детекторы для регистрации низкоэнергетического излучения создаются на основе особолического высокоомного кремния с использованием наработанных десятилетиями технологий на стабильно работающих микроэлектронных производствах. Как планарный детектор, так и детектирующий модуль создаются с требованием минимума массы на пути низкоэнергетической частицы. Поэтому используются минимальные толщины материалов, минимальная толщина р/n перехода, А1 межсоединения. А1 межсоединения в детектирующем модуле осуществляются микропроволочной ультразвуковой сваркой.

Работа проводилась при поддержке проекта НТЦУ №9903.

## СПЕКТРОМЕТР НА ОСНОВЕ НЕОХЛАЖДАЕМОГО КРЕМНИЕВОГО ПЛАНАРНОГО ДЕТЕКТОРА

*Т.П. Васильев, С.К. Киррич, А.А. Каплий, Н.И. Маслов, В.Д. Овчинник,  
С.М. Потин, М.Ю. Шулика, В.И. Яловенко*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Разработано и создано спектрометрическое устройство для измерения рентгеновского и гамма-излучений в интервале энергий от единиц кэВ до единиц МэВ. Спектрометрию обеспечивают два детектирующих модуля, созданных на основе неохлаждаемых кремниевых планарных детекторов. Первый детектирующий модуль в качестве сенсора содержит только Si детектор и обеспечивает регистрацию рентгеновского излучения 2-100 кэВ. Второй модуль типа «сцинтиллятор - кремниевый фотосенсор» регистрирует излучение от 50 кэВ до единиц МэВ. Спектрометрическая электроника устройства предполагает ручное изменение времени формирования сигнала и замену детектирующих модулей, а также может быть реализована с обеспечением одновременной регистрации излучения и обработки результатов в диапазоне от 2 кэВ до единиц МэВ.

Питание спектрометра-анализатора выполнено от USB-портов компьютера (ноутбука), что обеспечивает автономность устройства и возможность работы определенное время без сетевого питания.

Работа проводилась при поддержке проекта НТЦУ №9903.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКА ПЛАНАРНОГО КРЕМНИЕВОГО ДЕТЕКТОРА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ МОЩНОСТИ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ ОТ 5 кэВ ДО 10 МэВ

*В. Дубина, Н.И. Маслов, И.Н. Шляхов*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

Отклик планарного кремниевого детектора в области неполного поглощения существенно отличается от диапазона преимущественно определяемого сечением фотоэффекта. Разработанная на основе метода Монте-Карло модель позволяет варьировать зависимость отклика от энергии первичного излучения с учетом толщины отражателя - рассеивателя.

Проанализирована зависимость чувствительности детектора от внешних экранов. Исследованы сложные комбинации использования планарного кремниевого детектора одновременно как ионизационной камеры, так и фотодиода.

Получены зависимости хода с жесткостью для разных условий облучения, представлено сравнения отклика детектора с экспозиционной дозой при одинаковых условиях радиационного воздействия.

Представлены результаты тестирования алгоритма определения дозовых характеристик излучения при работе неохлаждаемого планарного кремниевого детектора в режиме спектрометра.

**Пленарное заседание 4. Физика и техника детекторов излучений, фундаментальные исследования процессов взаимодействия ультрарелятивистских частиц с монокристаллами и веществом**

**Plenary meeting 4. Physics and technics of radiation detectors. Basic research into the processes of interaction of ultrarelativistic particles with single crystals and matter**

**MINIATURE PYROELECTRIC ACCELERATOR AND X-RAY SOURCE**

*O.O. Ivashchuk<sup>1</sup>, A.V. Shchagin<sup>1,2</sup>, A.S. Kubankin<sup>1,3</sup>, A.S. Chepurnov<sup>4</sup>*

*<sup>1</sup> Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia;*

*<sup>2</sup> Kharkov Institute of Physics and Technology, Kharkov, Ukraine;*

*<sup>3</sup> P.N. Lebedev Physical Institute RAS, Moscow, Russia;*

*<sup>4</sup> Skobel'syn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow, Russia*

Recently, miniature pyroelectric accelerator imbedded in miniature vacuum chamber of size about 10 cm has been created in the Belgorod University. The chamber is pumped by outer vacuum pump. The energy of peaks of characteristic X-ray radiation can be changed due to installation of corresponding target in the accelerator. The accelerator can be applied for energy calibration of X-ray detectors without use of any radioactive elements or outer source of high voltage. Activity was supported by a Program of the MES of the RF for higher education establishments (project No.3.1631.2017/4.6).

**МИНИАТЮРНЫЙ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ УСКОРИТЕЛЬ И ИСТОЧНИК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*О.О. Иващук<sup>1</sup>, А.В. Щагин<sup>1,2</sup>, А.С. Кубанкин<sup>1,3</sup>, А.С. Чепурнов<sup>4</sup>*

*<sup>1</sup> Белгородский государственный университет, Белгород, Россия;*

*<sup>2</sup> Харьковский физико-технический институт, Харьков, Украина;*

*<sup>3</sup> Физический институт имени П.Н. Лебедева, РАН, Москва, Россия;*

*<sup>4</sup> Институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцина, МГУ, Москва, Россия*

Недавно, в Белгородском университете был создан миниатюрный пироэлектрический ускоритель, встроенный в миниатюрную вакуумную камеру, с размерами порядка 10 см. Камера откачивается внешней системой вакуумной откачки. Энергия пиков характеристического рентгеновского излучения может изменяться при установлении соответствующей мишени в ускоритель. Данный ускоритель может быть применен для энергетической калибровки рентгеновских детекторов без использования радиоактивных элементов и внешнего источника высокого напряжения. Работа выполнялась при поддержке проектной части ГЗ в сфере научной деятельности (грант № 3.1631.2017/ПЧ).

## PULSED PYROELECTRIC ACCELERATOR

*O.O. Ivashchuk<sup>1</sup>, A.V. Shchagin<sup>1,2</sup>, A.S. Kubankin<sup>1,3</sup>, A.S. Chepurnov<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> *Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia;*

<sup>2</sup> *Kharkov Institute of Physics and Technology, Kharkov, Ukraine;*

<sup>3</sup> *P.N. Lebedev Physical Institute RAS, Moscow, Russia;*

<sup>4</sup> *Skobel'syn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow, Russia*

Pyroelectric accelerators based pyroelectric crystals [1,2] or ferroelectric ceramics [3,4] operate in quasi-continuous regime during variation of the temperature for minutes. In present work, we slowly collect positive charge on the surface of the pyroelectric crystal and then turn on grounded source of electrons. As a result, we obtained pulsed pyroelectric accelerator. Properties of pulsed neutron or X-ray sources based on such accelerator are discussed. Activity was supported by a Program of the MES of the RF for higher education establishments (project No.3.1631.2017/4.6).

[1]. A.S. Chepurnov, V.Y. Ionidi, O.O. Ivashchuk, A.S. Kubankin, A.N. Oleinik, A.V. Shchagin. *Journal of Physics: Conference Series* 675 (2016) 032031

[2]. A.S. Kubankin, A.S. Chepurnov, O.O. Ivashchuk, V.Yu. Ionidi, I.A. Kishin, A.A. Klenin, A.N. Oleinik, and A.V. Shchagin. *AIP Advances* 8, 035207 (2018).

[3] A.V. Shchagin, V.S. Miroshnik, V.I. Volkov, and A.N. Oleinik, *Applied Physics Letters* 107, 233505 (2015).

[4]. A.V. Shchagin, V.I. Volkov, V.S. Miroshnik, A.S. Kubankin, A.N. Oleinik. *Technical Physics Letters* 44 (1018) 47–49.

## ИМПУЛЬСНЫЙ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ УСКОРИТЕЛЬ

*О.О. Иващук<sup>1</sup>, А.В. Щагин<sup>1,2</sup>, А.С. Кубанкин<sup>1,3</sup>, А.С. Чепурнов<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> *Белгородский государственный университет, Белгород, Россия;*

<sup>2</sup> *Харьковский физико-технический институт, Харьков, Украина;*

<sup>3</sup> *Физический институт имени П.Н. Лебедева, РАН, Москва, Россия;*

<sup>4</sup> *Институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцина, МГУ, Москва, Россия*

Пироэлектрические ускорители на пироэлектрических кристаллах [1,2] или ферроэлектрической керамике [3,4] работают в квазинепрерывном режиме. Продолжительность работы ускорителя определяется продолжительностью нагрева или охлаждения пироэлектрического элемента, обычно в течении нескольких минут. В настоящей работе положительной заряд образуется на поверхности пироэлектрического кристалла при изменения температуры, затем включается заземленный источник электронов. В результате, мы получаем импульсный пироэлектрический ускоритель. В работе обсуждаются свойства импульсного источника нейтронов и рентгеновского излучения на основе такого ускорителя. Работа выполнялась при поддержке проектной части ГЗ в сфере научной деятельности (грант № 3.1631.2017/ПЧ).

[1]. A.S. Chepurnov et al, *Journal of Physics: C* 675 (2016) 032031

[2]. A.S. Kubankin, et al, *AIP Advances* 8, 035207 (2018).

[3] A.V. Shchagin et al, *Applied Physics Letters* 107, 233505 (2015).

[4]. A.V. Shchagin et al, *Technical Physics Letters* 44 (1018) 47–49.

## PIEZOELECTRIC QUARTZ ACCELERATOR

*O.O. Ivashchuk<sup>1</sup>, A.V. Shchagin<sup>1,2</sup>, A.S. Kubankin<sup>1,3</sup>, A.S. Chepurnov<sup>4</sup>, V.Yu. Ionidi<sup>4</sup>,  
I.S. Nikulin<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia;*

<sup>2</sup> *Kharkov Institute of Physics and Technology, Kharkov, Ukraine;*

<sup>3</sup> *P.N. Lebedev Physical Institute RAS, Moscow, Russia;*

<sup>4</sup> *Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow, Russia*

Recently, piezoelectric accelerator has been proposed in [1]. The piezoelectric elements were used in [1] for production of high accelerating voltage. In present work, we used quartz cylindrical crystals with axis (11) aligned along the axis of the cylinder. Results of measurements of X-ray radiation produced by electrons accelerated in such quartz accelerator are presented. Properties and perspectives of applications of the quartz accelerator are discussed.

[1]. O.O. Ivashchuk, A.V. Shchagin, A.S. Kubankin, I.S. Nikulin, A.N. Oleinik, V.S. Miroshnik, V.I. Volkov. Piezoelectric Accelerator. Scientific Reports, (2018) 8:16488.

## ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КВАРЦЕВЫЙ УСКОРИТЕЛЬ

*О.О. Иващук<sup>1</sup>, А.В. Щагин<sup>1,2</sup>, А.С. Кубанкин<sup>1,3</sup>, А.С. Чепурнов<sup>4</sup>, В.Ю. Иониди<sup>4</sup>,  
И.С. Никулин<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Белгородский государственный университет, Белгород, Россия;*

<sup>2</sup> *Харьковский физико-технический институт, Харьков, Украина;*

<sup>3</sup> *Физический институт имени П.Н. Лебедева, РАН, Москва, Россия;*

<sup>4</sup> *Институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцина, МГУ, Москва, Россия*

Недавно был предложен пьезоэлектрический ускоритель [1]. Пьезоэлектрические элементы были использованы в [1] для генерации высокого ускоряющего потенциала. В настоящей работе мы использовали цилиндрические кристаллы кварца с осью (11), ориентированной вдоль оси цилиндра. Обсуждаются результаты измерения рентгеновского излучения, генерируемого ускоренными электронами в таком кварцевом ускорителе. Также обсуждаются свойства и перспективные применения кварцевых ускорителей.

[1]. O.O. Ivashchuk, A.V. Shchagin, A.S. Kubankin, I.S. Nikulin, A.N. Oleinik, V.S. Miroshnik, V.I. Volkov. Piezoelectric Accelerator. Scientific Reports, (2018) 8:16488.

## CERAMIC PIEZOELECTRIC TRANSFORMER IN VACUUM FOR PRODUCTION OF X-RAYS

*A.V. Shchagin<sup>1,2</sup>, V.S. Miroshnik<sup>1</sup>, V.I. Volkov<sup>1</sup>, A.S. Kubankin<sup>2,3</sup>,  
O.O. Ivashchuk<sup>2</sup>, A.S. Chepurnov<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> *Kharkov Institute of Physics and Technology, Kharkov, Ukraine;*

<sup>2</sup> *Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia;*

<sup>3</sup> *P.N. Lebedev Physical Institute RAS, Moscow, Russia;*

<sup>4</sup> *Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow, Russia*

The experiments on acceleration of electrons and production of X-ray radiation with use of ceramic piezoelectric transformers installed in vacuum are described and

analyzed [1]. Electrons are accelerated from the high-voltage electrode of the ceramic piezoelectric transformer toward the grounded target, where they emit bremsstrahlung and characteristic X-ray radiation in the target material. The returning of the charge to the high-voltage electrode is provided due to electrons emitted from a filament installed in the vicinity of the target. Possibilities for application of piezoelectric transformers for production of accelerating voltage in small-size accelerators are discussed. More recent results of measurements of the X-ray spectra are presented.

1. A.V. Shchagin, V.S. Miroshnik, V.I. Volkov, A.S. Kubankin, O.O. Ivashchuk. Ceramic Piezoelectric Transformer in Vacuum for Acceleration of Electrons and Production of X-Rays. Materials MDPI 11 (2018) 1188.

## КЕРАМИЧЕСКИЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ВАКУУМЕ

*A.B. Щагин<sup>1,2</sup>, B.C. Мирошник<sup>1</sup>, B.И. Волков<sup>1</sup>, A.C. Кубанкин<sup>2,3</sup>,  
O.O. Иващук<sup>2</sup>, A.C. Чепурнов<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Харьковский физико-технический институт, Харьков, Украина;

<sup>2</sup> Белгородский государственный университет, Белгород, Россия;

<sup>3</sup> Физический институт имени П.Н. Лебедева, РАН, Москва, Россия;

<sup>4</sup> Институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцина, МГУ, Москва, Россия

В нашей работе [1] описаны и проанализированы экспериментальные исследования по ускорению электронов и генерации рентгеновского излучения в вакууме при работе пьезоэлектрического трансформатора. Электроны ускоряются от центрального высоковольтного электрода керамического пьезоэлектрического трансформатора к заземленной мишени, где они производят рентгеновское излучение. Возврат заряда обеспечивается за счет эмиссии электронов от нити накала, установленной вблизи мишени. В работе представлены последние результаты измерения спектров рентгеновского излучения.

[1]. A.V. Shchagin, V.S. Miroshnik, V.I. Volkov, A.S. Kubankin, O.O. Ivashchuk. Ceramic Piezoelectric Transformer in Vacuum for Acceleration of Electrons and Production of X-Rays. Materials MDPI 11 (2018) 1188.

## SUPPLY OF CRYSTALLINE X-RAY RESONATOR BY DIFFRACTED TRANSITION X-RAY RADIATION OF RELATIVISTIC PARTICLES

*A.V. Shchagin<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>NSC KIPT, Kharkov, Ukraine;

<sup>2</sup>NRU «BelSU», Belgorod, Russia

Usually, synchrotron or undulator radiation is considered as a source of X-rays for filling in crystalline X-ray resonator [1,2]. Here, we present the idea to fill in the X-ray resonator by diffracted transition radiation (DTR). The DTR at Bragg frequency arises at crystal surface by incident relativistic charged particle crossing the crystal surface [3]. The crystalline resonator can be filled in by DTR produced in the inner surfaces of crystalline mirrors of a Fabry-Perot resonator by relativistic particles passing through

the crystalline mirrors of the resonator. Consequence of bunches of particles can be used for coherent enhancement of the DTR stored in the resonator.

[1]. Y.V. Shvyd'ko et al. High-reflectivity high-resolution X-ray crystal optics with diamonds. *Nature Physics* 6,196–199 (2010).

[2]. [K.-D. Liss](#) et al. Storage of X-ray photons in a crystal resonator. *Nature* 404, 371–373 (2000).

[3]. I. Chaikovska, R. Chehab, X. Artru, A.V. Shchagin. Characteristic, parametric, and diffracted transition X-ray radiation for observation of accelerated particle beam profile. *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B* 402 (2017) 75–78.

## ПИТАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РЕЗОНАТОРА ДИФРАГИРОВАВШИМ ПЕРЕХОДНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ

*А.В. Щагин<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *НИУ БелГУ, Белгород, Россия;*

<sup>2</sup> *ИНЦ ХФТИ, Харьков, Украина*

Обычно в качестве источника питания рентгеновского резонатора рассматривается синхротронное или ондуляторное излучение [1,2]. Мы предлагаем питать резонатор дифрагировавшим переходным излучением (ДПИ), возникающим при пересечении релятивистской частицей границы кристалла [3]. Кристаллический резонатор Фабри-Перо заполняется ДПИ с частотой Брэгга, которое производится на внутренних поверхностях кристаллических зеркал резонатора релятивистскими частицами, проходящими через кристаллические зеркала. Последовательность банчей частиц можно использовать для когерентного усиления рентгеновского излучения, которое накапливается в резонаторе.

[1]. Y.V. Shvyd'ko et al. High-reflectivity high-resolution X-ray crystal optics with diamonds. *Nature Physics* 6,196–199 (2010).

[2]. [K.-D. Liss](#) et al. Storage of X-ray photons in a crystal resonator. *Nature* 404, 371–373 (2000).

[3]. I. Chaikovska, R. Chehab, X. Artru, A.V. Shchagin. Characteristic, parametric, and diffracted transition X-ray radiation for observation of accelerated particle beam profile. *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B* 402 (2017) 75–78.

## SEMICONDUCTOR DETECTORS WITH SMOOTHLY TUNABLE THICKNESS IN SPACE RELATIVISTIC ELECTRON-PROTON TELESCOPE

*A.V. Shchagin<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *BelSU, Belgorod, Russia;*

<sup>2</sup> *KIPT, Kharkov, Ukraine*

Space telescopes of charged particles consist of stack of Si detectors and are intended for measurements of energy and direction of motion the particles. The detectors are as Si slabs supplied by permanent bias voltage [1].

In present paper, we propose application of Si detectors with smoothly varying by the bias value thickness of the depleted zone in the telescope. The application of such



detectors would allow optimize work of the telescope without any mechanical motions.

For instance, metal plate usually is installed before the first detector of the telescope for absorption of low-energy particles [1]. Instead, one can install the first Si detector with depleted zone turned toward the telescope. Regulating bias, one can simultaneously change the depleted zone thickness and the non-sensitive layer thickness, where charge is not collected from. Thus, one can smoothly regulate the thickness of absorbing layer and register passed particles in depleted zone of the same detector.

Silicon detectors with variable thickness have been used in our researches with electrons of energy  $< 1$  MeV in KIPT [2] and 50 GeV protons at accelerator U70 [3].

[1]. D.N. Baker et al. Space Science Reviews 179 (2017) 337–381.

[2]. A.V. Shchagin, N.F. Shul'ga, S.V. Trofymenko et al., NIM B 387 (2016) 29–33.

[3]. R.M. Nazhmudinov, A.S. Kubankin, A.V. Shchagin et al., NIM B 391 (2017) 69–72

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ С ПЛАВНО УПРАВЛЯЕМОЙ ТОЛЩИНОЙ В КОСМИЧЕСКОМ ТЕЛЕСКОПЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

*А.В. Щагин<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> НИУ «БелГУ», Белгород, Россия;

<sup>2</sup> ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина

Телескопы, состоящие из стопки Si детекторов с постоянной толщиной обедненного слоя, применяются для исследования частиц в космосе [1]. В настоящей работе предлагается использовать в телескопе детекторы с плавно управляемой толщиной обедненного слоя, управляемым напряжением смещения.

Например, перед первым детектором телескопа ставят металлическую пластину для поглощения частиц с низкой энергией [1]. Вместо нее можно ставить детектор с обедненной зоной, обращенной внутрь телескопа. Регулируя напряжение смещения, можно одновременно менять как толщину обедненного слоя так и толщину поглощающего (не обедненного) слоя, заряд из которого не собирается. Таким образом, можно плавно изменять толщину поглощающего слоя, а в обедненном слое того же детектора регистрировать прошедшие частицы.

Кремниевые детекторы с управляемой толщиной мы применяли для наблюдения электронов с  $E < 1$  МэВ в ХФТИ [2] и протонов с энергией 50 ГэВ на ускорителе У70 [3].

[1]. D.N. Baker et al. Space Science Reviews 179 (2017) 337–381.

[2]. A.V. Shchagin, N.F. Shul'ga, S.V. Trofymenko et al., NIM B 387 (2016) 29–33.

[3]. R.M. Nazhmudinov, A.S. Kubankin, A.V. Shchagin et al., NIM B 391 (2017) 69–72.

**Секция 7. Фундаментальные исследования процессов взаимодействия ультррелятивистских частиц с монокристаллами и веществом**

**Session 7. Basic research into the processes of interaction of ultrarelativistic particles with single crystals and matter**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЯВЛЕНИЯ ДЕКАНАЛИРОВАНИЯ  
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛЕ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ИХ ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Н.Ф. Шульга<sup>1,2</sup>, В.И. Трутень<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*ІННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков;*

<sup>2</sup>*Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, г. Харьков*

При падении пучка релятивистских электронов на кристалл вдоль одной из кристаллографических осей или плоскостей возможно явление каналирования, при котором частицы совершают финитное движение в поле одной из цепочек либо плоскостей атомов кристалла. При движении в кристалле доля частиц пучка, движущихся в режиме каналирования, изменяется, что в свою очередь оказывает влияние на спектральные характеристики их излучения.

В работе проведен анализ процессов каналирования, деканалирования и реканалирования релятивистских электронов от глубины их движения в кристалле для случаев осевой и плоскостной ориентаций кристалла. Рассмотрена связь между долей каналированных электронов и спектральными характеристиками их когерентного излучения в области малых толщин кристалла.

Рассмотрение проведено на основе теоретической модели, в основу которой положено численное моделирование процесса излучения релятивистских электронов в кристалле с учетом как когерентных, так и некогерентных эффектов в рассеянии и излучении, связанных с тепловым разбросом положений атомов в решетке кристалла.

**ВПЛИВ СИЛЬНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ ТА АНІЗОТРОПНОГО  
РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОНІВ ЗА ШВИДКОСТЯМИ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ВТРАТИ  
ІОНА**

*О.В. Хелемеля*

*Інститут прикладної фізики НАН України, Суми*

В рамках квантово-польового підходу отримано вирази для діелектричної проникності електронного газу в магнітному полі. Показано, що при достатньо сильних магнітних полях в електронному газі з анізотропним розподілом за швидкостями можливий ріст втрат енергії іона при швидкостях близьких до повздовжніх теплових швидкостей електронів.

1. И.А. Ахиезер. К теории взаимодействия заряженной частицы с плазмой в магнитном поле. Журнал экспериментальной и теоретической физики. т. 40, вып.3 (1961) с.954-962

2. Steinberg M. Energy loss of a charged particle in a magnetized quantum plasma / M. Steinberg, J. Ortner // Phys. Rev. E. – 2001. – Mar. – Vol. 63. – P. 046401.

3. Khelemelia O.V. The influence of the external magnetic field on energy losses of a charged particle in an electron gas / O.V. Khelemelia, R.I. Kholodov // Problems of atomic science and technology. – 2017. – №1. – P.68-71.

## ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО ІМПУЛЬСУ НА ПАРАМЕТРИ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В ДЖЕРЕЛАХ НА ЗВОРОТНОМУ РОЗСІЮВАННІ КОМПТОНА

*О.А. Лебедь*

*Інститут прикладної фізики НАН України, м. Суми*

При зіткненні пучка електронів ультрарелятивістських енергій з лазерним імпульсом електрони генерують фотони в рентгенівському діапазоні (зворотне розсіювання Комптона), що використовується для створення джерел рентгенівського випромінювання. Інтенсивність, кутовий та спектральний розподіл випромінювання суттєво залежать від початкової геометрії процесу та параметрів пучка електронів та лазера. Досліджено залежність характеристик рентгенівського випромінювання від параметрів лазерного імпульсу для джерел на основі ефекту зворотного розсіювання Комптона. Показано, що імпульсний характер зовнішнього лазерного поля може бути вагомим в порівнянні з іншими факторами, що впливають на кутовий та спектральний розподіл рентгенівського випромінювання.

## О КОГЕРЕНТНОМ И НЕКОГЕРЕНТНОМ РАССЕЙАНИИ БЫСТРЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В КРИСТАЛЛЕ

*Н.Ф. Шульга<sup>1,2</sup>, В.Д. Корюкина<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *ІНЦ «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков;*

<sup>2</sup> *Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, г. Харьков*

Рассмотрены с единой позиции процессы когерентного и некогерентного рассеяния быстрых заряженных частиц в кристаллах на примере прохождения частиц вдоль одной цепочки атомов кристалла и одной кристаллографической плоскости в эйкональном и борновском приближениях. Показано, что в борновском приближении в соответствии с основными результатами теории М.Л. Тер-Микаеляна [1] о процессах когерентного излучения ультрарелятивистских электронов в кристалле сечение рассеяния распадается на сечения когерентного и некогерентного рассеяния. При нарушении условия применимости борновского приближения, картина рассеяния частиц имеет более сложную форму. При этом разделение сечения рассеяния на когерентную и некогерентную составляющие в общем случае отсутствует. Для рассеяния на одной кристаллической плоскости показано, что сечение рассеяния в этом случае имеет различную структуру в направлениях рассеяния вдоль кристаллической плоскости и в поперечном направлении. Полученные результаты указывают на необходимость более детального анализа учета

некогерентных процессов в рассеянии при моделировании электромагнитных процессов в кристаллах при высоких энергиях.

[1] Тер-Микаелян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. – Ереван: Издательство Академии наук Армянской ССР. – 1969. – 457 с.

## О ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТКЛОНЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ИЗОГНУТЫМ КРИСТАЛЛОМ ОТ ЭНЕРГИИ ЧАСТИЦ

*И.В. Кириллин<sup>1,2</sup>, Н.Ф. Шульга<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, г. Харьков;*

*<sup>2</sup>ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, г. Харьков*

При падении высокоэнергетических заряженных частиц на кристалл под малым углом к одной из основных атомных осей или плоскостей возникают корреляции между последовательными столкновениями частицы с соседними атомами кристалла. Эти корреляции дают возможность при помощи изогнутых кристаллов отклонять направление движения пучков заряженных частиц. Существуют три механизма отклонения заряженных частиц высокой энергии изогнутым кристаллом: плоскостное каналирование, объемное отражение и стохастическое отклонение. В докладе представлен анализ зависимости эффективности отклонения высокоэнергетических заряженных частиц изогнутым кристаллом от энергии частиц.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСХОДИМОСТИ ПУЧКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ПО УГЛОВОЙ ПЛОТНОСТИ ДИФРАГИРОВАННОГО ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ВОЗБУЖДАЕМОГО ИМИ В ТОНКОЙ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ МИШЕНИ

*С.В. Блажевич<sup>1</sup>, М.В. Бронникова<sup>1</sup>, А.В. Носков<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>НИУ «БелГУ», г. Белгород, Россия;*

*<sup>2</sup>БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

В работе получены выражения, описывающие угловую плотность дифрагированного переходного излучения пучка релятивистских электронов, пересекающих тонкую монокристаллическую пластинку и исследовано влияние расходимости пучка на угловую плотность излучения. Рассмотрены алгоритмы определения параметров расходимости релятивистского электронного пучка по угловой плотности дифрагированного переходного излучения, генерируемого им на входной поверхности мишени. Проведены расчеты угловой плотности ДПИ для мишени в виде тонкой пластинки алмаза C(111) и моделирование процесса определения параметров расходимости с использованием двумерных целевых функций с различным набором точек и различных методов поиска минимума целевой функции, демонстрирующие эффективность использованных алгоритмов.

## ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, ГЕНЕРИРУЕМОЕ ПУЧКОМ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЕ В НАПРАВЛЕНИИ ОСИ ПУЧКА

*С.В. Блажевич, Ю.А. Дрыгина, О.Ю. Шевчук, А.В. Носков  
НИУ «БелГУ», г. Белгород, Россия*

В геометрии рассеяния Брэгга развита динамическая теория параметрического рентгеновского излучения вперед (ПРИВ), возбуждаемого пучком релятивистских электронов в периодической слоистой среде в направлении близком к направлению оси пучка. Получены выражения, описывающие спектрально-угловую плотность ПРИВ и переходного излучения (ПИ) в условиях их интерференции. Показана возможность экспериментального наблюдения ПРИВ в периодической слоистой среде, которое и еще никем не наблюдалось. Поскольку ПРИВ является динамическим эффектом, его экспериментальная регистрация очень важна для подтверждения динамической теории когерентного рентгеновского излучения. Проведенные численные расчеты показали, что при фиксированном угле Брэгга изменение асимметрии отражения за счет увеличения угла падения электронов на мишень, может привести к существенному росту амплитуды спектрально-угловой плотности ПРИВ. Уменьшение энергии излучающих электронов приводит к уменьшению амплитуды спектрально-угловой плотности ПРИВ, однако и к существенному уменьшению фона переходного излучения, что является положительным моментом с точки зрения экспериментального наблюдения ПРИВ. Полученные в работе аналитические выражения позволяют определять оптимальные параметров эксперимента по регистрации ПРИВ, возбуждаемого пучком релятивистских электронов в мишени с периодической слоистой структурой.

## КОГЕРЕНТНОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, ВОЗБУЖДАЕМОЕ ПУЧКОМ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЕ В ГЕОМЕТРИИ РАССЕЯНИЯ БРЭГГА

*С.В. Блажевич, Р.А. Загороднюк, О.Ю. Шевчук, А.В. Носков  
НИУ «БелГУ», г. Белгород, Россия*

Развита динамическая теория когерентного рентгеновского излучения, возбуждаемого в периодической слоистой среде пучком релятивистских электронов в геометрии рассеяния Брэгга. На основе двухволнового приближения динамической теории дифракции получены выражения, описывающие спектрально-угловые и угловые распределения ПРИ, ДПИ и слагаемое, являющееся результатом их интерференции, с учетом многократного рассеяния электронов на атомах мишени. На основе полученных выражений исследована возможность проявления эффектов динамической дифракции в когерентном рентгеновском излучении. Оценено влияние асимметрии относительно поверхности мишени отражения поля электрона на спектрально-угловые характеристики ПРИ, ДПИ (и их интерференционного слагаемого) в условиях многократного рассеяния. Показано, что при уменьшении угла падения

электрона на мишень при неизменном угле Брэгга, растёт ширина спектра ПРИ, что приводит к росту угловой плотности ПРИ (данный этот эффект не связан с поглощением) а также существенно растёт ширина частотной области полного внешнего отражения и амплитуда спектра ДПИ, что приводит к значительному росту угловой плотности ДПИ. Полученные аналитические выражения могут быть использованы для определения оптимальных параметров эксперимента по подтверждению предсказанных динамических эффектов.

## СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОНОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ И ПРОЗРАЧНОЙ СРЕДЕ

*И.А. Константинович<sup>1,2</sup>, А.В. Константинович<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Национальный университет им. Юрия Федьковича, г. Черновцы;*

<sup>2</sup>*Институт термoeлектричества НАН и МОН Украины, г. Черновцы*

Усовершенствованным методом силы самодействия Лоренца, дополненного гипотезой Дирака [1], исследованы спектрально-угловое и спектральное распределения мощности излучения системы электронов, движущихся в магнитном поле в вакууме и прозрачной изотропной среде. Методом прямого численного интегрирования функции спектрального распределения мощности излучения [1] одного, двух, трех и четырех электронов, движущихся по винтовой линии в вакууме и прозрачной среде, определена тонкая структура спектра излучения.

Получена зависимость мощности излучения двух электронов, движущихся по винтовой линии в вакууме и прозрачной среде, от величины временного сдвига между ними для нерелятивистских и релятивистских компонент скорости. Показано, что для нерелятивистских компонент скорости электронов, при определенных сдвигах во времени в системах двух, трех и четырех электронов, мощность излучения может быть меньше мощности излучения отдельного электрона, что согласуется с результатами работ [1, 2] и исследований Шотта [3].

1. А.В. Константинович. Спектри випромінювання релятивістських та нерелятивістських електронів та їх послідовності у вакуумі й прозорому середовищі. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора фізикоматематичних наук, Чернівецький національний університет, 330 с., 2012.

2. A.V. Konstantinovich, I.A. Konstantinovich. Radiation Spectrum of Two Electrons Moving in a Spiral in Vacuum // Proceedings of the Romanian Academy. A. – 2006. – V. 7, No 3. – P.183–192.

3. G.A. Schott The Electromagnetic Field of a Moving Uniformly and Rigidly Electrified Sphere and its Radiationless Orbits // Philosophical Magazine. – 1933. – V.7, No 15:– P. 752–761.

## О ВОЗМОЖНОСТИ КОГЕРЕНТНОГО УСИЛЕНИЯ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ БАНЧА ЭЛЕКТРОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

*С.В. Трофименко, Н.Ф. Шульга  
ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина;*

*ХНУ им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина*

Обычно ионизационные потери (ИП) пучка, проходящего через вещество, представляют собой сумму независимых потерь отдельных частиц, составляющих пучок. В настоящей работе показано, что для пучков (банчей) с достаточно высокой плотностью частиц и малыми пространственными размерами происходит существенное отклонение от данного правила. При этом величина ИП банча может на несколько порядков превышать упомянутую сумму. Данный эффект подобен когерентному эффекту в излучении банчей. Однако для проявления такого эффекта в толстых мишенях, где имеет место эффект плотности в ИП [1], требуются очень высокие плотности пучков. Условие на плотность пучка значительно ослабляется если рассматривать ИП в достаточно тонких мишенях (либо тонких приповерхностных слоях толстых мишеней), где эффект плотности отсутствует. При этом рассматриваемый эффект может проявляться при параметрах банчей, достижимых на современных лазерах на свободных электронах (например, European XFEL), а также на ряде ускорителей, готовящихся к вводу в эксплуатацию в ближайшем будущем (например, SINBAD). Данный эффект может представлять интерес для задач диагностики пучков заряженных частиц.

1. E. Fermi // Phys. Rev. 1940, v. 57, p. 485.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛАНДАУ ДЛЯ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ КРОТКОЖИВУЩИХ ЧАСТИЦ

*С.В. Трофименко  
ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина;*

*ХНУ им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина*

Величина ионизационных потерь частицы в тонкой мишени случайна и распределена по закону, впервые вычисленному Л.Д. Ландау [1]. Во всех работах, посвященных исследованию данного распределения, предполагалось, что частицы внутри мишени не претерпевают никаких реакций и беспрепятственно пролетают через мишень. В настоящей работе вычислено функции распределения (спектры) ионизационных потерь энергии для короткоживущих частиц, испытывающих распад внутри мишени (на примере процесса  $\Lambda_c^+ \rightarrow pK\pi^+$ ). Показано, что спектр ионизационных потерь в этом случае имеет двугорбую структуру. Получено аналитическое выражение для отношения высоты максимумов спектра ионизационных потерь как функции толщины мишени и полного сечения распада первичной частицы. Показано, что такое отношение можно использовать как характерный параметр спектра ионизационных потерь и на основе его экспериментального измерения делать оценку полного сечения распада частицы. Отмечена возможность применения

данного метода для экспериментальной оценки длины деканалирования частиц в прямых и изогнутых кристаллах. Такая возможность обусловлена аналогией (с точки зрения влияния на спектр ионизационных потерь) между распадом частицы внутри мишени и выходом частицы из режима каналирования.

1. L. D. Landau // J. Phys. USSR 1944, v. 8, p. 201.

## COOLED CdTe X-RAY DETECTOR FOR OBSERVATION OF IONIZATION LOSS OF 1 GEV ELECTRONS AT DESY

*A.V. Shchagin<sup>1,2</sup>, A.S. Kubankin<sup>2,3</sup>, R.M. Nazhmudinov<sup>2,3</sup>, S.V. Trofymenko<sup>1,4</sup>, A.P. Potylitsyn<sup>5</sup>, A.S. Gogolev<sup>5</sup>, N.A. Filatov<sup>5</sup>, G. Kube<sup>6</sup>, N.A. Potylitsina-Kube<sup>6</sup>, M. Stanitzki<sup>6</sup>, R. Diener<sup>6</sup>, A. Novokshonov<sup>6</sup>*

<sup>1</sup>NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine;

<sup>2</sup>NRU «BelSU», Belgorod, Russia;

<sup>3</sup>Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia;

<sup>4</sup>Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine;

<sup>5</sup>Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia;

<sup>6</sup>Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Hamburg, Germany

Usually, it is flat Si detectors that are used for observation of ionization loss of relativistic charged particles (see, e.g., [1]). In the present work, we installed a standard Amptek CdTe cooled X-ray detector on the beam of relativistic electrons at Test Beam Facility of DESY [2]. The energy resolution of the detector was about 350 eV (which is much better than for Si detector) at X-ray energy 59.4 keV emitted from <sup>241</sup>Am. The results of measurements of ionization loss spectral distribution for 1 GeV electrons in the CdTe crystal of thickness 1 mm are presented. Properties of the observed spectrum (Landau peak with the energy of the maximum about 205 keV) are discussed.

The work was partially supported by AIDA within the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No 654168.

1. R.M. Nazhmudinov et al. // Nucl. Instrum. Methods B 2017, v. 391, p. 69.

2. R. Diener et al. // Nucl. Instrum. Methods A 2019, v. 922, p. 265.

## ОХЛАЖДАЕМЫЙ CdTe РЕНТГЕНОВСКИЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 1 ГэВ В DESY

*А.В. Щагин<sup>1,2</sup>, А.С. Кубанкин<sup>2,3</sup>, Р.М. Назмудинов<sup>2,3</sup>, С.В. Трофименко<sup>1,4</sup>, А.П. Потылицын<sup>5</sup>, А.С. Гоголев<sup>5</sup>, Н.А. Филатов<sup>5</sup>, Г. Кубе<sup>6</sup>, Н.А. Потылицына-Кубе<sup>6</sup>, М. Станицки<sup>6</sup>, Р. Динер<sup>6</sup>, А. Новокионов<sup>6</sup>*

<sup>1</sup>ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина;

<sup>2</sup>НИУ «БелГУ», Белгород, Россия;

<sup>3</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева, Москва, Россия;

<sup>4</sup>ХНУ им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина;

<sup>5</sup>Томский политехнический университет, Томск, Россия;

<sup>6</sup>Немецкий электронный синхротрон (DESY), Гамбург, Германия

Обычно для измерения ионизационных потерь релятивистских заряженных частиц используются плоские Si детекторы (см., например, [1]). В настоящей



работе стандартный Amptek CdTe охлаждаемый рентгеновский детектор был установлен на тестовом пучке релятивистских электронов DESY [2]. Энергетическое разрешение детектора – около 350 эВ (что значительно лучше, чем у Si детектора) при энергии квантов 59.4 кэВ испущенных из  $^{241}\text{Am}$ . Представлены результаты измерений спектров ионизационных потерь электронов с энергией 1 ГэВ в кристалле CdTe толщиной 1 мм. Обсуждаются свойства измеренных спектров (пиков Ландау с энергией максимума, равной 205 кэВ). Работа частично поддержана AIDA в рамках исследовательской и инновационной программы Европейского союза Горизонт 2020, грант № 654168.

1. R.M. Nazhmudinov et al. // Nucl. Instrum. Methods B 2017, v. 391, p. 69.

2. R. Diener et al. // Nucl. Instrum. Methods A 2019, v. 922, p. 265.

#### OBSERVATION OF TRANSITION RADIATION PEAK FROM 2.8 GeV ELECTRONS IN A MULTILAYER TARGET DIFFRACTED IN A SILICON PLATE

*A.V. Shchagin<sup>1,2</sup>, A.S. Kubankin<sup>2,3</sup>, R.M. Nazhmudinov<sup>2,3</sup>, S.V. Trofymenko<sup>1,4</sup>, A.P. Potylitsyn<sup>5</sup>, A.S. Gogolev<sup>5</sup>, N.A. Filatov<sup>5</sup>, G. Kube<sup>6</sup>, N.A. Potylitsina-Kube<sup>6</sup>, M. Stanitzki<sup>6</sup>, R. Diener<sup>6</sup>, A. Novokshonov<sup>6</sup>*

<sup>1</sup>NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine;

<sup>2</sup>NRU «BelSU», Belgorod, Russia;

<sup>3</sup>Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia;

<sup>4</sup>Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine;

<sup>5</sup>Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia;

<sup>6</sup>Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Hamburg, Germany

X-ray transition radiation (XTR) by relativistic charged particles is a promising tool for diagnostics of sub-micrometer size beams, required for future linear colliders. XTR intensity can be significantly increased if apply a multilayer structure for its generation. Its spectrum can be monochromatized if let such XTR undergo Bragg diffraction in a crystal. In [1] XTR by 855 MeV electrons from a multilayer periodical structure, diffracted in a silicon plate, was investigated for the purpose of its application for X-ray phase contrast imaging. In the present work we report about the experimental study of XTR by 2.8 GeV electrons from a target of 32 aluminum foils, diffracted on (111) plane of a silicon crystal, with the aim of applying it for the further study of its focusing by polycapillary X-ray optics. The study was performed on the test beam facility at DESY. The obtained results coincide well with the theoretical estimations.

The work was partially supported by AIDA within the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No 654168.

1. M. El-Ghazaly, H. Backe, W. Lauth et al. // Eur. Phys. J. A 2006, v. 28, p. 197.

НАБЛЮДЕНИЕ ПИКА ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ  
С ЭНЕРГИЕЙ 2,8 ГэВ В МНОГОСЛОЙНОЙ МИШЕНИ,  
ДИФРАГИРОВАВШЕГО В КРЕМНИЕВОЙ ПЛАСТИНЕ

*A.В. Щагин<sup>1,2</sup>, А.С. Кубанкин<sup>2,3</sup>, Р.М. Нажмудинов<sup>2,3</sup>, С.В. Трофименко<sup>1,4</sup>,  
А.П. Потылицын<sup>5</sup>, А.С. Гоголев<sup>5</sup>, Н.А. Филатов<sup>5</sup>, Г. Кубе<sup>6</sup>,*

*Н.А. Потылицына-Кубе<sup>6</sup>, М. Станицки<sup>6</sup>, Р. Динер<sup>6</sup>, А. Новокионов<sup>6</sup>*

*<sup>1</sup>ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина;*

*<sup>2</sup>НИУ «БелГУ», Белгород, Россия;*

*<sup>3</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева, Москва, Россия;*

*<sup>4</sup>ХНУ им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина;*

*<sup>5</sup>Томский политехнический университет, Томск, Россия;*

*<sup>6</sup>Немецкий электронный синхротрон (DESY), Гамбург, Германия*

Интенсивность рентгеновского переходного излучения (РПИ), представляющего интерес для диагностики пучков субмикронного размера, можно существенно усилить, а его спектр монохроматизировать, генерируя РПИ в многослойных структурах и подвергая его дифракции в кристалле. При таких условиях в [2] исследовалось РПИ 855 МэВ-ных электронов с целью его применения для рентгеноконтрастной визуализации. Мы приводим результаты экспериментального исследования (на тестовом пучке DESY) РПИ 2.8 ГэВ-ных электронов в мишени из 32 алюминиевых фольг, дифрагировавшего на плоскости (111) кремниевого кристалла, с целью его применения для изучения фокусировки РПИ поликапиллярными рентгеновскими линзами. Полученные результаты хорошо согласуются с теорией. Работа частично поддержана AIDA в рамках программы Европейского союза Горизонт 2020, грант № 654168.

1. M. El-Ghazaly, H. Backe, W. Lauth et al. // Eur. Phys. J. A 2006, v. 28, p. 197.

FORMATION REGION EFFECTS IN X-RAY TRANSITION RADIATION BY  
1...6 GeV ELECTRONS IN MULTILAYER TARGETS OF DIFFERENT PERIOD

*R.M. Nazhmudinov<sup>1,3</sup>, S.V. Trofymenko<sup>2,4</sup>, A.V. Shchagin<sup>1,2</sup>, A.S. Kubanin<sup>1,3</sup>,  
A.P. Potylitsyn<sup>5</sup>, A.S. Gogolev<sup>5</sup>, N.A. Filatov<sup>5</sup>, G. Kube<sup>6</sup>, N.A. Potylitsina-Kube<sup>6</sup>,*

*M. Stanitzki<sup>6</sup>, R. Diener<sup>6</sup>, A. Novokshonov<sup>6</sup>*

*<sup>1</sup>NRU «BelSU», Belgorod, Russia;*

*<sup>2</sup>NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine;*

*<sup>3</sup>Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia;*

*<sup>4</sup>Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine;*

*<sup>5</sup>Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia;*

*<sup>6</sup>Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Hamburg, Germany*

The process of transition radiation (TR) upon a charged particle crossing of a boundary between different media develops within the formation length  $l_F$  which can be macroscopically large. Such distance manifests itself if the particle undergoes further radiation processes (new boundary crossings) within  $l_F$ . In this case TR characteristics are dramatically modified. In [1,2] such modification of millimeter wavelength TR and diffraction radiation (genetically related to TR) was observed for

6 MeV and 150 MeV electrons. Presently we report about the experimental study (on the test beam facility at DESY) of such effect in much harder X-ray band for several GeV electrons applying two multilayer radiators of different period. Observable suppression of TR spectrum in a small-period radiator, comparing to the large-period one, is detected.

The work was partially supported by AIDA within the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No 654168.

1. Y. Shibata, K. Ishi, T. Tokahashi et al. // Phys. Rev. E 1994, v. 49, p. 785.
2. G. Naumenko et al. // J. Phys.: Conf. Ser. 2010, v. 236, p. 012004.

## ЭФФЕКТЫ ДЛИНЫ ФОРМИРОВАНИЯ В РЕНТГЕНОВСКОМ ПЕРЕХОДНОМ ИЗЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 1...6 ГэВ В МНОГОСЛОЙНЫХ МИШЕНЯХ РАЗЛИЧНОГО ПЕРИОДА

*Р.М. Нажмудинов<sup>1,3</sup>, С.В. Трофименко<sup>2,4</sup>, А.В. Щагин<sup>1,2</sup>, А.С. Кубанкин<sup>1,3</sup>,  
А.П. Потылицын<sup>5</sup>, А.С. Гоголев<sup>5</sup>, Н.А. Филатов<sup>5</sup>, Г. Кубе<sup>6</sup>,  
Н.А. Потылицына-Кубе<sup>6</sup>, М. Станицки<sup>6</sup>, Р. Динер<sup>6</sup>, А. Новокионов<sup>6</sup>*

<sup>1</sup>НИУ «БелГУ», Белгород, Россия;

<sup>2</sup>ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина;

<sup>3</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева, Москва, Россия;

<sup>4</sup>ХНУ им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина;

<sup>5</sup>Томский политехнический университет, Томск, Россия;

<sup>6</sup>Немецкий электронный синхротрон (DESY), Гамбург, Германия

Длина формирования  $l_F$  переходного излучения (ПИ) при пересечении частицей границы раздела двух сред может быть макроскопически большой и проявляться в модификации характеристик ПИ при дальнейших пересечениях границ частицей в пределах  $l_F$ . В [1, 2] такая модификация ПИ и дифракционного излучения (родственного ПИ) наблюдалась при энергиях электронов 6 МэВ и 150 МэВ в миллиметровом диапазоне волн. Мы приводим результаты экспериментальных исследований (на тестовом пучке DESY) данного эффекта в рентгеновском диапазоне при ГэВ-ных энергиях электронов с использованием многослойных радиаторов различного периода. Зарегистрировано заметное подавление спектра ПИ в радиаторе малого периода по сравнению с радиатором большого периода. Работа частично поддержана AIDA в рамках программы Европейского союза Горизонт 2020, грант № 654168.

1. Y. Shibata, K. Ishi, T. Tokahashi et al. // Phys. Rev. E 1994, v. 49, p. 785.
2. G. Naumenko et al. // J. Phys.: Conf. Ser. 2010, v. 236, p. 012004.

# PROPOSAL TO STUDY DIFFRACTED X-RAY TRANSITION RADIATION BY A “HALF-BARE” ELECTRON ON THE TEST-BEAM FACILITY AT DESY

*S.V. Trofymenko<sup>1,4</sup>, N.F. Shul'ga<sup>1,4</sup>, A.V. Shchagin<sup>1,2</sup>, R.M. Nazhmudinov<sup>2,3</sup>,  
A.S. Kubankin<sup>2,3</sup>, A.P. Potylitsyn<sup>5</sup>, A.S. Gogolev<sup>5</sup>, N.A. Filatov<sup>5</sup>, G. Kube<sup>6</sup>,  
N.A. Potylitsina-Kube<sup>6</sup>, M. Stanitzki<sup>6</sup>, R. Diener<sup>6</sup>, A. Novokshonov<sup>6</sup>*

<sup>1</sup>*NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine;*

<sup>2</sup>*NRU «BelSU», Belgorod, Russia;*

<sup>3</sup>*Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia;*

<sup>4</sup>*Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine;*

<sup>5</sup>*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia;*

<sup>6</sup>*Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Hamburg, Germany*

When a relativistic electron enters a crystal a part of transition radiation emitted in this case, experiences Bragg diffraction inside the target and forms a highly monochromatic and narrowly directed peak of diffracted transition radiation (DTR). In [1, 2] it is shown that DTR properties are significantly modified by the preliminary electron penetration through an upstream target before impinging upon the crystal. Such penetration partially strips the electron from its Coulomb field, making the particle “half-bare” and DTR properties vary with the distance between the upstream target and the crystal. Presently we propose to study experimentally this effect on the test beam facility at DESY. The estimations of the optimal parameters for such study are made.

The work was partially supported by AIDA within the European Union’s Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No 654168.

1. S.V. Trofymenko, N.F. Shul'ga, A.V. Shchagin // *Phys. Rev. Accel. Beams* 2019, v. 22, p. 024501(1-9).

2. S.V. Blazhevich, R.A. Zagorodniuk, A.V. Noskov // *JETP* 2014, v. 119, p. 641.

## ПРЕДЛОЖЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИФРАГИРОВАННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ «ПОЛУГОЛОГО» ЭЛЕКТРОНА НА ТЕСТОВОМ ПУЧКЕ DESY

*С.В. Трофименко<sup>1,4</sup>, Н.Ф. Шульга<sup>1,4</sup>, А.В. Щагин<sup>1,2</sup>, Р.М. Нажмудинов<sup>2,3</sup>,  
А.С. Кубанкин<sup>2,3</sup>, А.П. Потылицын<sup>5</sup>, А.С. Гоголев<sup>5</sup>, Н.А. Филатов<sup>5</sup>, Г. Кубе<sup>6</sup>,  
Н.А. Потылицына-Кубе<sup>6</sup>, М. Станицки<sup>6</sup>, Р. Динер<sup>6</sup>, А. Новокшионов<sup>6</sup>*

<sup>1</sup>*ИНЦ ХФТИ, Харьков, Украина;*

<sup>2</sup>*НИУ «БелГУ», Белгород, Россия;*

<sup>3</sup>*Физический институт им. П.Н. Лебедева, Москва, Россия;*

<sup>4</sup>*ХНУ им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина;*

<sup>5</sup>*Томский политехнический университет, Томск, Россия;*

<sup>6</sup>*Немецкий электронный синхротрон (DESY), Гамбург, Германия*

При влете релятивистского электрона в кристалл, часть переходного излучения подвергается дифракции, формируя монохроматический узконаправленный пик дифрагированного переходного излучения (ДПИ). В [1, 2] показано, что свойства ДПИ значительно модифицируются вследствие

предварительного прохождения электроном через вторую мишень перед падением на кристалл. Такое прохождение частично лишает электрон его кулоновского поля, делая частицу «полуголой» и приводя к зависимости свойств ДПИ от расстояния между кристаллом и второй мишенью. Предложено экспериментально исследовать этот эффект на тестовом пучке DESY. Приведены оценки оптимальных параметров для такого исследования. Работа частично поддержана AIDA в рамках программы Европейского союза Горизонт 2020, грант № 654168.

1. S.V. Trofymenko et al. // Phys. Rev. Accel. Beams 2019, v. 22, p. 024501(1-9).
2. S.V. Blazhevich et al. // JETP 2014, v. 119, p. 641.

## ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛНОГО КВАНТОВОГО СЕЧЕНИЯ РАССЕЯНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ТОНКИХ КРИСТАЛЛАХ И ЕГО СВЯЗЬ С ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКОЙ

*С.Н. Шульга, Н.Ф. Шульга  
ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина;  
ХНУ им. В. Каразина, Харьков, Украина*

Рассмотрен процесс рассеяния положительно и отрицательно заряженных частиц с энергией от нескольких единиц до сотен МэВ в тонком кристалле, толщина которого соответствует нескольким первым колебаниям каналирования в поле кристаллических плоскостей. В рамках операторного метода (см. [1]) исследовано поведение зависимости полного сечения рассеяния частиц с энергией от нескольких единиц до сотен МэВ от толщины кристалла. В модели параболического потенциала взаимодействия показывается, что при значениях толщины кристалла, равных удвоенному периоду колебаний каналирования, полное квантовое сечение рассеяния имеет резкие минимумы, приближающиеся к нулю. Построено описание такой зависимости по аналогии с геометрической оптикой, которое показывает важное значение индекса Морзе-Маслова в рассмотрении данного процесса. Данный эффект по проявлению аналогичен эффекту Рамзауэра-Таунсенда, который возникает при рассеянии электронов на атомах инертных элементов, однако, при энергиях менее 1 эВ.

1. N. Shul'ga, S. Shulga, Phys. Lett. B769 (2017) 141.
2. P. Ramsauer, Ann. der Phys. 64 (1921) 513; J. Townsend, V. Bailey, Phil. Mag. 43 (1922) 593.