

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

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

(Київ, 16 - 20 квітня 2018 року)

Додаток до збірника тез доповідей

Київ 2018

Укладач: О. М. Пугач

Програмно-організаційний комітет конференції:

В. М. Павлович – голова комітету (атомна енергетика)

Члени:

- Ф. О. Іванюк – теоретична ядерна фізика
О. М. Поворозник – експериментальна ядерна фізика
В. Й. Сугаков – радіаційна фізика та радіаційне матеріалознавство
Я. І. Колесниченко – фізика плазми та керований термоядерний синтез
А. І. Липська – радіобіологія та радіоекологія
Н. Л. Дорошко – учений секретар ІЯД НАН України
Ю. М. Степаненко – голова ради молодих учених ІЯД НАН України
В. В. Луценко – розробник Web-сторінки
О. Д. Григоренко – видання тез

Секретарі:

О. С. Бурдо, С. В. Лук'янов, В. В. Михайловський, О. М. Пугач, О. А. Сова,
Ю. М. Степаненко

Друкується за рішенням вченої ради інституту від 06.02.18.

Д 22 **XXV** щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 16 - 20 квітня 2018 року) : додаток до збірника тез доповідей. - Київ : Ін-т ядерних дослідж., 2018. - 26 с.

У збірнику опубліковано тези конференції, що є підбиттям підсумків наукової діяльності інституту за 2017 р. Представлено тези з основних напрямків роботи Інституту, а саме: ядерної фізики, атомної енергетики, радіаційної фізики та радіаційного матеріалознавства, фізики плазми та теорії ядерного синтезу, радіоекології та радіобіології.

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

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

ЗМІСТ

Секція 1. Ядерна фізика

Дослідження мікро ТРС із зчитуванням даних з використанням InGrid піксельного детектора	
<i>Д. Атті, С. Барсук, О. Безиийко, Л. Бурмістров, А. Чаус, П. Кола, О. Федорчук, Л. Голінка-Безиийко, Д. Ідаррага, І. Каденко, В. Крилов, Р. Лопес, Х. Монард, М. Тітов, Д. Томассіні, А. Варіола</i>	Д5
Пошук бета-розпаду ^{115}In на перший збуджений стан ^{115}Sn стимульованого низькоенергетичними фотонами	
<i>В. І. Дідковський, В. І. Киришук, А. М. Саврасов, В. О. Желтоножський</i>	Д6
Вимірювання утворення J/ψ та $\psi(2S)$ мезонів в ультрапериферичних Рb-Рb зіткненнях при енергії $\sqrt{s_{NN}} = 5 \text{ TeV}$	
<i>В. М. Добішук, В. М. Пугач, Б. Шмідт, Д. Джонсон</i>	Д6
Вимірювання енергії збудженого стану ^{115}Sn ($E_{\text{exc}} \approx 497,3 \text{ keV}$) з високою точністю	
<i>В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов, М. В. Стрільчук, В. І. Третьак</i>	Д7
Система радіаційного моніторингу експерименту LHCb у 2017 р.	
<i>С. М. Колієв, О. Ю. Охріменко, В. М. Пугач</i>	Д8
PIG источник ионов лития для циклотрона со съемной головкой	
<i>А. И. Колосов, А. В. Демьянов, Ю. И. Камышиников</i>	Д9
Дослідження широких атмосферних злив на установці «Русалка»	
<i>В. О. Мартишчкін, А. І. Гайсак, А. В. Гуськов, Г. О. Шелков, І. І. Гайсак</i>	Д9
Вимірювання диференційних перерізів утворення V^0-частинок у протон-ядерних зіткненнях при енергії 5 TeV	
<i>О. Ю. Охріменко, В. М. Пугач, В. М. Добішук, С. М. Колієв, О. А. Кот, Є. О. Петренко</i>	Д11
Остаточні результати експерименту Auger з дослідження подвійного бета-розпаду ^{116}Cd за допомогою збагачених сцинтиляційних кристалів $^{116}\text{CdWO}_4$	
<i>О. Г. Полішук, А. С. Барабаш, П. Беллі, Р. Бернабей, Я. В. Васильєв, Ф. А. Даневич, А. Інчікитті, Ф. Каппелла, Д. В. Касперович, В. Караччіоло, В. В. Кобичев, С. І. Коновалов, М. Лаубенштейн, Д. В. Пода, В. І. Третьак, В. І. Уматов, Д. М. Черняк, Р. Черуллі, В. М. Шлегель</i>	Д11

Секція 2. Атомна енергетика

Перші дослідження реакцій нікель-літій-водневого теплогенератора в Києві

В. А. Пишеничний, О. О. Грицай, В. М. Павлович,
О. І. Кальченко, В. М. Венедиктов, В. П. Шахов..... Д14

Секція 5. Радіобіологія та радіоекологія

Визначення радіопротекторної дії астаксантину на різних стадіях клітинного циклу за цитогенетичними критеріями

Д. А. Курінний, С. Р. Рушковський, О. М. Демченко,
О. Б. Дибська, М. А. Пілінська..... Д15

Локальне опромінення суглобів нейтронами у нейтронозахватній синовектомії

В. А. Лібман, В. В. Тришин, Л. Є. Червонна, Ю. Б. Шевченко..... Д16

Непигментні біохімічні маркери радіаційно індукованого старіння листя рослин *Arabidopsis thaliana* (L.) Heunh., опромінені рентгенівськими променями у сублетальній дозі

С. В. Літвінов, Н. М. Рашидов..... Д17

Радіаційна індукція метилювання *de novo*/деметилювання мікросателітної ДНК у клітинах лікарських рослин, отриманих з опроміненого насіння

С. В. Літвінов, Ю. В. Шиліна, С. А. Пчеловська,
А. М. Берестяна, Д. О. Соколова, В. В. Жук,
Л. В. Тонкаль, А. Г. Салівон, О. Г. Нестеренко..... Д18

Дослідження хімічної поведінки ^{60}Co нейтронно-активаційним методом аналізу

Г. В. Васильєва, Ю. М. Килівник, В. О. Мартишичкін,
С. І. Вучкан, В. В. Гриньов, Р. М. Плекан..... Д19

^{137}Cs и ^{40}K в почве и растительности лесных экосистем на территории зоны отчуждения ЧАЭС

Н. Е. Зарубина..... Д20

Картографування «плям» радіоактивного забруднення

Ю. В. Хомутінін, В. П. Процак, В. О. Кашипаров,
С. Е. Левчук, В. В. Павлюченко..... Д21

Експрес-прогноз вмісту ^{129}I в молоці корів Коростенського

і Народичського районів Житомирської області

Ю. В. Хомутінін, В. О. Кашипаров, М. М. Лазарєв,
Л. М. Отрешко, Л. В. Йоценко..... Д22

Авторський показчик..... Д25

Тези доповідей з ядерної фізики

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРО ТРС ІЗ ЗЧИТУВАННЯМ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ InGrid ПІКСЕЛЬНОГО ДЕТЕКТОРА

Д. Атті¹, С. Барсук², О. Безшийко³, Л. Бурмістров², А. Чаус^{1,2}, П. Кола¹,
О. Федорчук^{1,4}, Л. Голінка-Безшийко³, Д. Даррага⁵, І. Каденко³,
В. Крилов^{2,3}, Р. Лопес⁵, Х. Монард⁵, М. Тітов¹, Д. Томасіні⁵, А. Варіола²

¹ *Комісаріат з Атомної Енергії, Інститут IRFU, Сакле, Франція*

² *Лабораторія лінійного прискорювача LAL, CNRS,
Університет Париж-Південь, Орсе, Франція,*

³ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна*

⁴ *Німецький електронний синхротрон DESY, Гамбург, Німеччина*

⁵ *ЦЕРН, Женева, Швейцарія*

Покращення продуктивності та якості трекових детекторів є важливим завданням для майбутніх експериментів з фізики високих енергій. Як перспективний кандидат на роль трекерів нового покоління мікроструктурні газові детектори (MPGD) інтенсивно досліджуються і модернізуються.

Micromegas у поєднанні з електронною системою зчитування даних з кремнієвих пікселів, відома як InGrid, вже продемонструвала чудову просторову роздільну здатність, що дозволяє використовувати нову методику на основі підрахунку кластерів для вимірювання втрат енергії частинок та підвищення можливостей ідентифікації часток. Однак здійсненність детектора InGrid великого розміру, характеристики його ефективності та тривалості життя, а також потенціал InGrid у різних прикладеннях ще вивчаються.

У статті описана робота одиничного та 8-мікросхемного детектора InGrid, інтегрованого в прототип MicroTRC та проведені дослідження ефективності детектора з різними геометріями з використанням джерела ⁵⁵Fe (експериментальні результати порівнюються з модельними розрахунками з використанням Garfield++). Описуються можливі поліпшення налаштувань детектора. Пропонується подальша програма для характеристики та вдосконалення виконання цієї техніки детектора.

Роль шару заземлення і важливість охоронного кільця для управління картою продемонстровані і досліджені. Ефективність реєстрації, яку виміряно для конфігурації детектора, включно із захисним кільцем задовільно (в межах похибок) описується модельними розрахунками з допомогою Garfield++.

Дослідження проведено в рамках роботи міжнародної асоційованої лабораторії LIA IDEATE. Наукова робота авторів з КНУТШ була частково підтримана Державним фондом фундаментальних досліджень (проект F79/132-2017 в рамках LIA IDEATE, проект #2/K-17, проект#5-N-2017).

ПОШУК БЕТА-РОЗПАДУ ^{115}In НА ПЕРШИЙ ЗБУДЖЕНИЙ СТАН ^{115}Sn СТИМУЛЮВАНОВОГО НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ФОТОНАМИ

В. І. Дідковський, В. І. Киришук, А. М. Саврасов, В. О. Желтоножський

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Бета-розпад ^{115}In (який становить 95,7 % природного індію) на перший збуджений стан ^{115}Sn з енергією 497,3 кеВ є унікальним тим, що його енергія найменша з усіх відомих на сьогоднішній день і складає лишень 147 еВ. При цьому період напіврозпаду складає $4,4 \cdot 10^{20}$ років. Оскільки відомо, що при збільшенні енергії бета-розпаду на порядок його період напіврозпаду зменшується приблизно на 5 порядків, то принципово є можливість експериментально зареєструвати такий бета-розпад, прискорений, наприклад, низько-енергетичними фотонами.

Наш перший експеримент було виконано на новій модернізованій установці, розробленій для досліджень тригерінгу $^{178\text{m}2}\text{Hf}$ ізомера, яка дозволяє опромінювати мішені електронами з енергією до 50 кеВ і струмами до 5 мА.

Враховуючи низьку температуру плавлення індію (лише 232 °С), для виготовлення мішені була використано 300 мг хімічної сполуки In_2Se_3 , температура плавлення якої перевищує 700 °С. Щоб додатково уберегти мішень від розплавлення, вона опромінювалася не напряму електронами, а гальмівним випромінюванням, отриманим на конверторі з вольфраму товщиною 40 мкм. Крім того, енергія і струм електронів становили 30 кеВ та 2 мА, відповідно.

Було виконано два опромінення із загальним часом 30451 с або майже 8,5 год і отримано верхню межу для площі піка з енергією 497.3 кеВ, яка склала не більше 46 відліків. Для відтворення інтенсивності гальмівних фотонів в діапазоні 24 ÷ 30 кеВ, які реально попадають на мішень після проходження конвертора, було проведено додатковий експеримент при тих же умовах опромінення, але без мішені. Маючи інтенсивності відповідних гальмівних фотонів, час опромінення та кількість атомів ^{115}In в мішені, можемо оцінити і верхню межу для перерізу бета-розпад, прискореного низько-енергетичними фотонами, яка в нашому випадку склала приблизно $8 \cdot 10^{-32}$ см² або 80 нбарн.

Наступні кроки з пошуку бета-розпаду ^{115}In на перший збуджений стан ^{115}Sn стимулюваного гальмівним випромінюванням будуть детально обговорені.

ВИМІРЮВАННЯ УТВОРЕННЯ J/ψ та $\psi(2S)$ МЕЗОНІВ В УЛЬТРАПЕРИФЕРИЧНИХ РЬ-РЬ ЗІТКНЕННЯХ ПРИ ЕНЕРГІЇ $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5$ ТеВ

В. М Добішук^{1,2}, В. М. Пугач¹, Б. Шмідт³, Д. Джонсон³

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

³ Європейська організація ядерних досліджень, Женева, Швейцарія

Досліджено фотонародження J/ψ та $\psi(2S)$ мезонів в ультрапериферичних Pb-Pb зіткненнях [1, 2], використовуючи дані накопичені експериментом LHCb для енергії в системі центра мас двох нуклонів 5 TeV у 2015 р. Аналіз ґрунтується на вибірці даних із малою множинністю подій, що відповідає інтегральній світимості $5 \mu\text{b}^{-1}$. Два стани чармонію було реконструйовано через двомоонний канал розпаду. Виміряно перерізи утворення когерентних J/ψ та $\psi(2S)$ мезонів $d\sigma^{\text{coh}}/dy$ у трьох біах по рапідіті у в інтервалі від 2 до 4,5. Розраховано відношення когерентних перерізів $\psi(2S)$ до J/ψ з метою виключення систематичних похибок визначення інтегральної світимості. Для отриманих результатів приведено порівняння з передбаченнями теоретичних моделей.

1. V. Guzey, E. Kryshen, M. Zhalov, Coherent photoproduction of vector mesons in ultraperipheral heavy ion collisions: Update for run 2 at the CERN Large Hadron Collider. Phys. Rev. C 93(5) (2016) 055206; arXiv:1602.01456.
2. C.A. Bertulani, S.R. Klein, J. Nystrand. Physics of Ultra-Peripheral Nuclear Collisions. Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 55 (2005); arXiv:nucl-ex/0502005v2.

ВИМІРЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ ЗБУДЖЕНОГО СТАНУ

^{115}Sn ($E_{\text{exc}} \approx 497,3$ кеВ) З ВИСОКОЮ ТОЧНІСТЮ

В. О. Желтонозький, А. М. Саврасов, М. В. Стрільчук, В. І. Третьяк

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Вимірювання енергії першого збудженого стану ^{115}Sn ($E_{\text{exc}} \approx 497,3$ кеВ) з високою точністю є актуальним завданням, оскільки воно пов'язано з рідкісним ($T_{1/2} = 4 \cdot 10^{20}$ років) бета розпадом ^{115}In на цей рівень ^{115}Sn . Бета розпад $^{115}\text{In} \rightarrow ^{115}\text{Sn}^*$ був уперше виявлений у [1]; дане спостереження було підтверджено також у [2]. Різниця атомних мас $^{115}\text{In} - ^{115}\text{Sn}$ була дуже точно (з похибкою всього 10 еВ) виміряна в [3]; вона дорівнює $497,489 \pm 0,010$ кеВ. Нещодавно енергія рівня ^{115}Sn , на котрий відбувається розпад ^{115}In , була виміряна з точністю 7 еВ в ядерній реакції $^{114}\text{Sn}(n, \gamma)^{115}\text{Sn}$ на холодних нейтронах [4].

У даній роботі проведені вимірювання енергії цього стану з вищою точністю. Для дослідження використовувався розпад ^{115}Sb ($T_{1/2} = 32$ хв). На пучку протонів У-120 опромінювалась мішень з олова, збагаченого ^{115}Sn до 50,7 %, $^{122}\text{Sn} - 1$ %, $^{124}\text{Sn} - 1$ %; це дало змогу використовувати в якості реперних ліній, зокрема, переходи з розпадів ^{122}Sb та ^{124}Sb . У вимірюване джерело додавався калібрувальний ^{137}Cs та ядра ^7Be та ^{115}Cd , напрацьовані в реакціях (p, n) та (n, γ) відповідно, на мішенях природного літію та кадмію, збагаченого ^{114}Cd до 99 %. Напрацьовувались активності на У-120 та реакторі

ІЯД. Для покращення точності вимірювань використовувались реперні лінії 477,6035(20) та 492,351(4) кеВ, які супроводжують розпад ${}^7\text{Be}$ та ${}^{115}\text{Cd}$ відповідно. Було проведено 12 серій вимірювань зі змішаним джерелом ${}^7\text{Be} + {}^{115}\text{Cd} + {}^{122}\text{Sb} + {}^{124}\text{Sb} + {}^{137}\text{Cs} + {}^{115}\text{Sb}$. В результаті проведених досліджень визначена енергія першого збудженого стану ${}^{115}\text{Sn}$: $497,342 \pm 0,003$ кеВ. З врахуванням даних про різницю мас ${}^{115}\text{In} - {}^{115}\text{Sn}$, максимальне значення енергії електронів в β розпаді ${}^{115}\text{In}$ має рекордно низьку величину $Q_{\beta} = 147 \pm 10$ еВ. Це найбільш низьке значення Q_{β} для β переходів, виявлених до теперішнього часу; для наступного ядра ${}^{187}\text{Re}$ Q_{β} має величину $2,467 \pm 0,002$ кеВ [5]. Таке низьке значення Q_{β} може бути використано в експериментах по вимірюванню маси нейтрино.

Результати опубліковано в [6].

1. С.М. Cattadori et al. Nucl. Phys. A 748, 333 (2005).
2. J.S.E. Wieslander et al. Phys. Rev. Lett. 103 (2009) 122501.
3. B.J. Mount, M. Redshaw, E.G. Myers. Phys. Rev. Lett. 103 (2009)122502.
4. W. Urban et al. Phys. Rev. C 94 (2016) 011302.
5. M. Wang et al. Chin. Phys. C 41 (2017) 030003.
6. V.A. Zheltonozhsky et al. Europhys. Lett. 121 (2018) 12001.

СИСТЕМА РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ЕКСПЕРИМЕНТУ ЛНСЬ У 2017 Р.

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

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

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

Наведено результати по вимірюванню інтегральної світимості експерименту ЛНСб за допомогою СРМ. Отримані результати в рамках похибок узгоджуються з вимірюваннями інших детекторних систем.

Величина	Значення
Поглинута доза	0,15 - 0,8 кГр
Зміна струмів витоку	40 - 300 мкА
Флюєнс	$0,6 - 3,5 \cdot 10^{12}$ МГч/см ²

PIG ИСТОЧНИК ИОНОВ ЛИТИЯ ДЛЯ ЦИКЛОТРОНА СО СЪЕМНОЙ ГОЛОВКОЙ

А. И. Колосов, А. В. Демьянов, Ю. И. Камышников

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

Дается описание конструкции, и приводятся результаты экспериментального исследования на стенде внутреннего источника ионов лития для циклотрона. Съемная конструкция источника ионов с подогревным тиглем, закрепленным на антикатоде, существенно улучшает технологию эксплуатации и позволяет получать одно-, двух- и трехзарядные ионы лития. В источнике реализован режим разряда, обеспечивающий минимальное присутствие примесей в парах рабочего вещества, а также регулирование подачи паров лития независимо от мощности дугового разряда. Конструкция и режим работы тигля организованы так, чтобы не было выбросов лития из источника в ускорительный объем циклотрона.

1. П.М. Морозов, Б.Н. Маков, М.С. Иоффе. Атомная энергия 2(3) (1957) 272.
2. А.С. Пасюк, Ю.П. Третьяков. Ионные источники для получения многозарядных ионов из твердых веществ. Препринт ОИЯИ, Р7-6668 (Дубна, 1972).
3. А.В. Демьянов и др. Стенд для испытания источников МЗИ. Препринт КИЯИ-83-21 (Киев, 1983).
4. Н.И. Веников. Источники ионов для ускорителей. Препринт ИАЭ-3217 (Москва, 1979).

ДОСЛІДЖЕННЯ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНИХ ЗЛИВ НА УСТАНОВЦІ «РУСАЛКА»

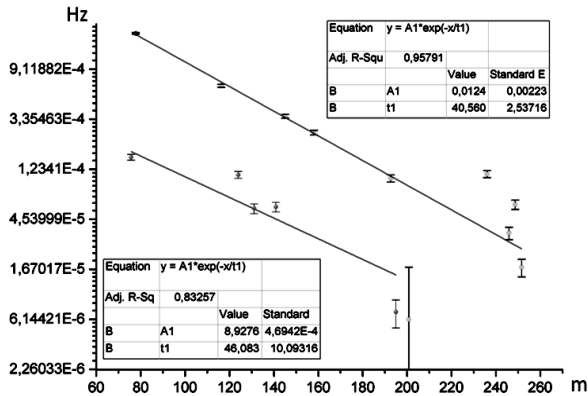
**В. О. Мартишчкін¹, А. І. Гайсак¹, А. В. Гуськов²,
Г. О. Шелков², І. І. Гайсак¹**

¹ *Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна*

² *Об'єднаний інститут ядерних досліджень, Дубна, Росія*

Експериментальна установка «Русалка» є основою проекту «Зливи знань», реалізованою співробітниками Об'єднаного інституту ядерних досліджень, м. Дубна. Установка призначена для реєстрації вторинних частинок, утворених при зіткненнях первинних космічних променів, зокрема протонів високої енергії, з атомними ядрами атмосфери Землі. Завдяки неперервній роботі установки в режимі online, події з кожної робочої станції зберігаються на сервері проекту, що дає можливість отримувати доступ до даних зареєстрованих за весь час її роботи. Одинадцять робочих станцій експериментальної установки «Русалка» розосереджені на ділянці радіусом близько 300 м [1, 2].

Нами проведено дослідження частоти часових збігів сигналів установки від двох робочих станцій. Відстань між парами стаціонарних робочих станцій лежить в межах 60 - 255 м. Залежність швидкості збігів у часі сигналів з двох робочих станцій від відстані між станціями наведено на рисунку. Оброблявся період часу (23 доби), коли стабільно працювало 6 робочих станцій установки. Робоча станція складається з двох сцинтиляційних детекторів. При збігові сигналів з двох детекторів станції кодуються і записуються час появи «події» та параметри сигналів. За збіг подій у різних станціях взято події, в яких різниця часу появи подій не перевищувала 50 нс. Отримані результати наведено на рисунку. Збіги за участі однієї із станцій утворюють окремий кластер, але нахил в двох кластерах однаковий.



Залежність частоти збігів двох робочих станцій від відстані між ними.

Характерна відстань в експоненті залежності збігів подій між станціями склала 46 ± 10 м [3, 4]. У піонерській роботі Оже [5], в якій досліджувалися розміри злив для відстаней між детекторами в тому ж діапазоні, отримано характерний розмір злив 129 ± 11 м. Розбіжність величин можна віднести до різних розмірів детекторів (у Оже два детектори по 200 см^2 та детектори установки РУСАЛКА $60 \times 80 \text{ см}^2$ [1]). Крім того, стаціонарна робоча станція установки РУСАЛКА утворена двома детекторами підключеними до схеми збігів. Тобто установка РУСАЛКА чутлива як до розмірів $50 < R < 300$ м., так і до локальної структури злив ($R \sim 1$ м.).

1. Г.А. Шелков. <http://livni.jinr.ru>.
2. К.Ю. Гасникова. Наук. вісн. ужгородського унів. Сер. Фізика. 34 (2013) 217.
3. В.О. Мартишичкін та ін. У кн.: ФЕЕ-2017. Матеріал та програма науково-техн. конф. (Суми, 17 - 21 квітня 2017 р. (Суми: СДУ, 2017) 53.

4. В.О. Мартишичкін та ін. У кн.: Міжн. конф. молодих учених і асп., ІЕФ-2017 (Ужгород, 18 - 22 травня 2015 р. Матеріали конференції (Ужгород: ІЕФ НАН України, 2015) 145.
5. P. Auger et al. Rev. Mod. Phys. 11 (1939) 288.

ВИМІРЮВАННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ ПЕРЕРІЗІВ УТВОРЕННЯ V⁰-ЧАСТИНОК У ПРОТОН-ЯДЕРНИХ ЗІТКНЕННЯХ ПРИ ЕНЕРГІЇ 5 TeV

О. Ю. Охріменко¹, В. М. Пугач¹, В. М. Добішук^{1,2},
С. М. Колієв¹, О. А. Кот¹, Є. О. Петренко¹

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

² *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна*

Представлено оновлені результати експерименту LHCb (ЦЕРН) по вимірюванню диференційних поперечних перерізів утворення V^0 частинок (K_S^0 мезонів та Λ баріонів) у протон-ядерних та ядерно-протонних (ядра ^{208}Pb) зіткненнях при енергії у системі центра мас $\sqrt{s} = 5$ TeV. Дані перерізи ($d\sigma/dydp_T$, де y – рапідіті, p_T – переданий поперечний імпульс V^0 частинки) наведено для різних діапазонів поперечного імпульсу (p_T) (у межах від 0,15 до 2,5 GeV/c) та рапідіті (y) (від 2,0 до 4,0 та від $-5,0$ до $-3,0$ для протон-ядерних та ядерно-протонних зіткнень відповідно). З метою зменшення систематичних похибок обраховано також відношення поперечних перерізів утворення анти- Λ баріонів до K_S^0 мезонів ($\sigma(\text{анти-}\Lambda)/\sigma(K_S^0)$) та до Λ баріонів ($\sigma(\text{анти-}\Lambda)/\sigma(\Lambda)$) залежно від поперечного імпульсу для вищезгаданих зіткнень. Для визначення ефективності реконструкції та відбору подій використовувалися оновлені Монте-Карло симульовані дані із генератором EPOS [1], що спеціально розроблений для протон-ядерних та ядерно-ядерних зіткнень. Також результати порівняні із теоретичними передбаченнями.

1. T. Pierog et al. Phys. Rev. C 92 (2015) 034906; arXiv:1306.0121.

ОСТАТОЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ AURORA З ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДВІЙНОГО БЕТА-РОЗПАДУ ^{116}Cd ЗА ДОПОМОГОЮ ЗБАГАЧЕНИХ СЦИНТИЛЯЦІЙНИХ КРИСТАЛІВ $^{116}\text{CdWO}_4$

О. Г. Поліщук¹, А. С. Барабаш², П. Беллі^{3,4}, Р. Бернабей^{3,4},
Я. В. Васильєв⁵, Ф. А. Даневич^{1,6}, А. Інчікітї⁷, Ф. Каппелла⁷,
Д. В. Касперович¹, В. Караччіоло⁸, В. В. Кобичев¹, С. І. Коновалов²,
М. Лаубенштейн⁸, Д. В. Пода^{1,6}, В. І. Третяк¹, В. І. Уматов²,
Д. М. Черняк^{1,9}, Р. Черуллі^{3,4}, В. М. Шлегель⁵

¹ *Інститут ядерних досліджень, Київ, Україна*

² Інститут теоретичної та експериментальної фізики

НДЦ «Курчатовський Інститут», Москва, Росія

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

⁴ Римський університет «Тор Вергата», Рим, Італія

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

⁶ Центр ядерної фізики та матеріалознавства, Орсе, Франція

⁷ НІЯФ, відділення у Римі, Рим, Італія

⁸ Національна лабораторія Гран-Сассо, Ассерджі, Італія

⁹ Інститут Кавлі фізики та математики всесвіту

Токійського університету, Токіо, Японія

Дослідження подвійного бета-розпаду (2β) є важливою задачею фізики ядра і елементарних частинок завдяки можливості перевірити закон збереження лептонного заряду, встановити природу нейтрино (частинка Дірака чи Майорани), виміряти масу і визначити шкалу масових станів нейтрино, перевірити існування внеску правих струмів у слабкій взаємодії, легких (або безмасових) бозонів Намбу-Голдстоуна (майоронів) та цілий ряд інших передбачень моделей – розширень стандартної моделі елементарних частинок. Ядро ^{116}Cd є одним з найбільш перспективних для досліджень 2β -розпаду, зокрема його безнейтринної моди ($0\nu 2\beta$), завдяки високій енергії розпаду $Q_{2\beta} = 2813,44(13)$ кеВ, відносно великій ізотопній розповсюдженості 7,49 %, можливості застосувати в експерименті скінтіляційні кристали вольфрамату кадмію (CdWO_4). Теоретичні розрахунки вказують на високу вірогідність $0\nu 2\beta$ -розпаду цього ядра відносно інших ядер. Експеримент з 2β -розпаду ^{116}Cd за допомогою скінтіляційних кристалів $^{116}\text{CdWO}_4$, збагачених ізотопом ^{116}Cd до 82 % (масою 1162 г [1]) проводився впродовж 35324 год у низькофоновій установці DAMA/R&D у підземній лабораторії Гран Сассо в Італії на глибині 3600 м водного еквіваленту. Період напіврозпаду ядра ^{116}Cd відносно двонейтринного 2β -розпаду на основний стан ^{116}Sn виміряно з найвищою точністю: $T_{1/2} = [2,71 \pm 0,01$ (стат.) $\pm 0,12$ (сист.)] $\times 10^{19}$ р. Встановлено нове обмеження на $0\nu 2\beta$ -розпад ^{116}Cd на основний стан ^{116}Sn : $T_{1/2} \geq 2,2 \cdot 10^{23}$ р з довірчою імовірністю 90 %, що є найбільш жорстким обмеженням для цього ізотопу і відповідає ефективній масі нейтрино Майорани $\langle m_\nu \rangle \leq (1,0 - 1,7)$ еВ (залежно від використаних ядерних матричних елементів). Установлено нові обмеження на $0\nu 2\beta$ -розпад ^{116}Cd з емісією майоронів та на 2β -переходи на збуджені рівні ^{116}Sn з чутливістю $T_{1/2} > 10^{20} - 10^{22}$ років. Показано, що кристали $^{116}\text{CdWO}_4$ є радіоактивно чистими: активність ^{228}Th становить 0,02 мБк/кг, ^{226}Ra і ^{40}K не спостережені на рівні $< 0,006$ і $< 0,3$ мБк/кг відповідно. Концентрація найбільш небажаної забрудненості торієм може бути далі знижена на один порядок шляхом перекристалізації [2], що робить ці кристали перспективними для низькотемпературних експериментів з пошуку $0\nu 2\beta$ ^{116}Cd [3].

1. A.S. Barabash et al. JINST 06 (2011) 08011.
2. A.S. Barabash et al. Nucl. Instrum. Meth. A 833 (2016) 77.
3. A.S. Barabash et al. Eur. Phys. J. C 76 (2016) 487.

Тези доповідей з атомної енергетики

ПЕРШІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКЦІЙ НІКЕЛЬ-ЛІТІЙ-ВОДНЕВОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА В КИСВІ

В. А. Пшеничний, О. О. Грицай, В. М. Павлович,
О. І. Кальченко, В. М. Венедиктов, В. П. Шахов

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

В ІЯД проведено перші спостереження реакції на нікель-літій-водневій суміші реакції А. Россі в теплогенераторі. Наявність цієї реакції відмічалась за допомогою різниці е.д.с. термопар в реакторних камерах з «паливом» та без «палива», яка досягала 20 °С на фоні 1100 °С камери без «палива». «Паливо» загальною вагою 100 мг (Ni-порошок + 10 % алюмогідрату літію) засипалось у реакторну камеру. Для реакторної камери було використано нікелеву трубку діаметром 0,5 см із товщиною стінки 0,02 см та довжиною 9 см. Корками для виділення об'єму ~ 1 см³ та довжиною 7 см були стрижні діаметром 0,4 см та довжиною 1 см, що обмазувались герметиком або клеєм на основі Al₂O₃ + Na₂Si₂O₃. Це дало змогу герметизувати камери і забезпечити тривалу роботу при нагріванні до високих температур, що в свою чергу викликає реакції розкладу алюмогідриду літію, чим спричиняється тиск водню в реакторній камері до декількох десятків атмосфер.

Основні особливості реакції А. Россі:

При першому запуску реактора з «паливом» реакція починається при ~ 950 °С та інтенсивно розвивається до 1050 °С. Подальше підвищення температури до 1250 °С суттєво не збільшує швидкість реакції. Після припинення нагрівання реакторної камери та достатньо довготривалої витримки при кімнатній температурі, при наступному нагріванні камери реакція запускається знову. Максимальна інтенсивність менша, ніж при першому запуску. Така особливість підтверджується для всіх повторних запусків реакції А. Россі. Під час 506-годинного експерименту спостерігалась гросструктура швидкості РР: в інтервалі 0 – 150 год – падіння на ~10 % від інтенсивності при першому запуску, далі до 450 год – підвищення на 40 %, у кінці експерименту – падіння на ~10 %. При повторних запусках реакція Россі починається при температурах менших 700 °С. Якщо ця реакція супроводжується випроміненням гамма-квантів з енергіями вище 50 кеВ, то його потужність менше 0,012 мкР/год. Завдяки протіканню реакції Россі в реакторній камері випромінюється 1 - 2 нейтрона за секунду.

Тези доповідей з радіобіології та радіоекології

ВИЗНАЧЕННЯ РАДІОПРОТЕКТОРНОЇ ДІЇ АСТАКСАНТИНУ НА РІЗНИХ СТАДІЯХ КЛІТИННОГО ЦИКЛУ ЗА ЦИТОГЕНЕТИЧНИМИ КРИТЕРІЯМИ

Д. А. Курінний¹, С. Р. Рушковський², О. М. Демченко¹,
О. Б. Дибська¹, М. А. Пілінська¹

¹ Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини
Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

² Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини»
івівського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Іонізуюче випромінювання (ІВ) призводить до появи великої кількості пошкоджень ДНК. Ефективність роботи систем репарації залежить від фази мітотичного циклу, на якій знаходилася клітина в момент радіаційного впливу. Наслідком репараційних похибок є формування складних хромосомних перебудов – цитогенетичних маркерів радіаційного впливу.

Задля запобігання негативних наслідків дії ІВ актуальною задачею є пошук радіопротекторних речовин, бажано природного походження, з високим рівнем власної безпеки. З 2015 р. нами проводяться дослідження радіопротекторних властивостей каротиноїду астаксантину (АСТ), який, завдяки своїй хімічній будові, є потужним антиоксидантом та впливає на ряд внутрішньоклітинних процесів.

Метою роботи є визначення за цитогенетичними критеріями ефективності захисної дії АСТ після опромінення *in vitro* культури лімфоцитів периферичної крові (ЛПК) людини на стадіях G₀, S та G₂ першого мітотичного циклу.

Матеріали та методи. Культивування ЛПК людини проводили протягом 48 год. за модифікованим нами стандартним мікрометодом. В експериментах використовували АСТ (Sigma, USA), який вводили в культуру ЛПК в концентрації 20,0 мкг/мл перед опроміненням. Опромінення культури ЛПК γ -квантами здійснювали на 0, 38, 46 годинах культивування (G₀, S, G₂ стадіях клітинного циклу відповідно) випромінювачем IBL-237C (потужність 2,34 Гр/хв) в дозі 1,0 Гр. При цитогенетичному аналізі рівномірно забарвлених препаратів метафазних хромосом враховували аберації хроматидного та хромосомного типів.

Результати роботи. При опроміненні ЛПК на G₀ стадії мітотичного циклу додавання АСТ призвело до суттєвого ($p < 0,001$) зниження частоти хромосомних аберацій (з $24,55 \pm 1,22$ до $8,48 \pm 0,75$ на 100 метафаз), в першу чергу, за рахунок обмінних аберацій хромосомного типу, які вважаються цитогенетичними маркерами радіаційного впливу – дицентриків (з $12,80 \pm 0,95$ до $2,37 \pm 0,41$ на 100 метафаз) та центричних кілець (з $2,76 \pm 0,47$ до $0,43 \pm 0,18$ на 100 метафаз).

Додавання АСТ перед опроміненням ЛПК на S стадії клітинного циклу не призвело до вірогідного ($p > 0,05$) зменшення в опроміненних клітинах середньо-групового рівня радіаційно-індукованих хромосомних порушень, які були представлені одиночними фрагментами ($7,94 \pm 0,67$ та $6,15 \pm 0,67$ на 100 метафаз), хроматидними обмінами ($2,27 \pm 0,33$ та $2,30 \pm 0,33$) і парними фрагментами ($10,01 \pm 0,67$ та $9,36 \pm 0,67$) при окремій дії ІВ та при сумісній дії ІВ та АСТ відповідно.

При спільній дії ІВ та АСТ на G_2 стадії мітотичного циклу частота радіаційно-індукованих хромосомних аберацій залишалася незмінною – аберації хроматидного типу складали $58,32 \pm 1,29$ та $58,42 \pm 1,47$, хромосомного типу – $14,03 \pm 0,91$ та $13,12 \pm 1,0$ на 100 метафаз при окремій дії ІВ та сумісній дії ІВ та АСТ відповідно.

Висновки. Встановлено залежність ефективності радіозахисної дії АСТ від стадії клітинного циклу, на який знаходились ЛПК під час радіаційного впливу. За цитогенетичними критеріями виявлено потужний радіопротекторний ефект АСТ тільки при опроміненні ЛПК людини на G_0 стадії клітинного циклу.

ЛОКАЛЬНЕ ОПРОМІНЕННЯ СУГЛОБІВ НЕЙТРОНАМИ У НЕЙТРОНОЗАХВАТНІЙ СИНОВЕКТОМІЇ

В. А. Лібман, В. В. Тришин, Л. Є. Червонна, Ю. Б. Шевченко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Бор-нейтронозахватна синовектомія (БНЗС) була запропонована як неінвазивний метод лікування ревматоїдного артриту [1]. Основна ідея методу полягає у селективному руйнуванні патологічного синовіуму високоенергетичними продуктами реакції поглинання нейтронів ядрами ^{10}B – ^7Li (0,84 МеВ) та ^4He (1,47 МеВ). На моделі антиген-індукованого РА була доведена висока ефективність БНЗС для руйнування патологічного синовіума [1]. Але при цьому спостерігається супутнє пошкодження гіалінового хряща, що може бути перешкодою для застосування БНЗС у клініці. Подальші роботи з БНЗС присвячені саме цій проблемі. Досліджується ступінь пошкодження хряща під час БНЗС і його подальше відновлення [2]. Ми вважаємо, що одним із способів вирішення проблеми мінімізації пошкоджень може бути по чергове опромінення ділянок синовіума локально через коліматор «по дотичній» до хряща. Методом Монте-Карло за допомогою програми MCNP-5 були проведені розрахунки розподілення нейтронних потоків і дозових навантажень у спрощеній моделі суглоба при опроміненні суглоба тотально і з щільовим коліматором. Порівняння результатів показало, що локальне опромінення призводить до значно нижчих доз на хрящі, ніж тотальне. Також з'ясувалось, що інтенсивність нейтронного поля у суглобі суттєво знижується по мірі віддалення від поверхні за рахунок самоекранування тканинами суглоба. Цей результат був підтверджений методом активаційних детекторів

у експериментах з фантомом колінного суглоба людини. Ефект самоекранування не був виявлений іншими дослідниками при численних експериментах з малими лабораторними тваринами, оскільки розміри суглобів цих тварин значно менші, ніж розміри суглобів людини.

1. J.C. Yanch et al. Boron Neutron Capture Synovectomy: Treatment of Rheumatoid Arthritis Based on the $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ Nuclear Reaction. Med. Phys. 26(3), (1999) 364.
2. V.A. Trivillin et al. Therapeutic efficacy of Boron Capture Synovectomy (BNCS) mediated by GB-10 or BPA in a model of antigen-induced arthritis in rabbits: low dose radiobiological studies at RA-1 Nuclear Reactor. In: The 17th Intern. Cong. on Neutron Capture Therapy (University of Missouri, Columbia, Missouri, October 2 - 7, 2016).

**НЕПІГМЕНТНІ БІОХІМІЧНІ МАРКЕРИ РАДІАЦІЙНО
ІНДУКОВАНОГО СТАРІННЯ ЛИСТЯ РОСЛИН *Arabidopsis thaliana* (L.)
Heynh., ОПРОМІНЕНИХ РЕНТГЕНІВСЬКИМИ ПРОМЕНЯМИ
У СУБЛЕТАЛЬНІЙ ДОЗІ**

С. В. Літвінов, Н. М. Рашидов

*Інститут клітинної біології та генетичної інженерії
Національної академії наук України, Київ, Україна*

Вивчення довгострокових ефектів впливу радіації на рослини передбачає комплексний аналіз якісних та кількісних структурно-метаболических змін, що виникають через тривалий проміжок часу після опромінення. Ми спостерігали зменшення кількості живих листків в прикореневій розетці гостро опромінених в дозі 21 Гр (рентгенівські промені 180 кеВ, потужність 1,48 сГр/с) рослин арабідопсису на 35% в порівнянні з неопроміненим контролем через 30 діб після опромінення. З метою аналізу біохімічного складу листків використали метод інфрачервоної спектроскопії Фур'є (FTIR). Перевагами даного методу є швидкість, простота, надійність і відтворюваність результатів, можливість одночасного вимірювання вмісту найбільш життєво важливих біохімічних компонентів клітин без порушення цілісності об'єкта, тобто із збереженням властивого живій системі зв'язку між просторовими компартментами та макромолекулами біологічно важливих сполук [1, 2].

На основі аналізу FTIR-спектрограм ліофілізованих розеткових листків модельної рослини *Arabidopsis thaliana* через 30 діб після опромінення рентгенівськими променями в дозі 21 Гр, яка пригнічує життєдіяльність рослин, можна зробити висновок про значні зміни кількісного вмісту вуглеводів, лігнінів, нуклеїнових кислот і протеїнів, а також конформації макромолекул. Зокрема, в листі опромінених рослин в разі знижується вміст білків та нуклеїнових кислот, відбувається заміщення пектину та лігніну целюлозою і геміцелюлозою, накопичується крохмаль. Композиція жирних кислот кутину за-

знає конформаційних змін, на що вказує зростання відношення «симетричні збуджені коливання/несиметричні збуджені коливання С-Н зв'язку». Також зафіксоване невелике збільшення відношення кількості бета-шарів до кількості альфа-спіральних доменів білків.

Виявлені біохімічні маркери можуть бути зумовлені радіаційною індукцією відповіді на стрес, що призводить до деградації ДНК і РНК, модифікації клітинної стінки, накопичення крохмалю, делігніфікації, протеолізу білків, тобто до комплексу змін, що поряд із зовнішніми ознаками (темно-зелений або антоціановий колір, зменшення тургору) характеризують старіюче листя. Можливо, що й відносне збільшення частки бета-шарів у білковій фракції також пов'язане з процесами індукованого старіння на молекулярному рівні. При цьому термін вегетації рослин після опромінення не змінюється у порівнянні з контролем. Таким чином, опромінення рідкоіонізуючою радіацією у сублетальних дозах на межі вегетативної та генеративної фаз онтогенезу призводить до прискореного старіння листя рослин, відмінного від нормального процесу монокарпічного старіння.

1. Z. Movasaghi, S. Rehman, I. Rehman. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy of Biological Tissues. Applied Spectroscopy Reviews 43 (2008) 134. doi: 10.1080/05704920701551530
2. R. Wilson et al. The Mechanical Properties and Molecular Dynamics of Plant Cell Wall Polysaccharides Studied by Fourier-Transform Infrared Spectroscopy. Plant Physiology 124 (2000) 397. doi: 10.1104/pp.124.1.397

РАДІАЦІЙНА ІНДУКЦІЯ МЕТИЛУВАННЯ *DE NOVO* / ДЕМЕТИЛУВАННЯ МІКРОСАТЕЛІТНОЇ ДНК У КЛІТИНАХ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН, ОТРИМАНИХ З ОПРОМІНЕНОГО НАСІННЯ

**С. В. Літвінов, Ю. В. Шиліна, С. А. Пчеловська, А. М. Берестяна,
Д. О. Соколова, В. В. Жук, Л. В. Тонкаль, А. Г. Салівон, О. Г. Нестеренко**

*Інститут клітинної біології та генетичної інженерії
Національної академії наук України, Київ, Україна*

Відомо, що радіобіологічні реакції рослин часто супроводжуються генетичними та епігенетичними змінами у сателітній ДНК [1]. Для вивчення молекулярних ефектів опромінення використали метод ISSR-ампліфікації ДНК-послідовностей між двома короткими інвертованими мікросателітними повторами. ДНК виділяли з листя вегетуючих рослин ромашки лікарської (*Chamomilla recutita* L.), шавлії лікарської (*Salvia officinalis* L.) та череди трироздільної (*Bidens tripartita* L.), вирощених з опроміненого насіння. Ампліфіковані послідовності розщеплювали за допомогою сайт-специфічних рестриктаз *HpaII* та *Msp I*. Аналіз електрофореграм з продуктами рестрикції ISSR-ПЛР показав, що:

1. Патерни ISSR-ампліфікації-*HpaII/MspI* рестрикції містять консервативні та поліморфні, варіабельні фрагменти. Останні складають приблизно 20 - 50 % відповідних патернів опромінених лікарських рослин.

2. Рідкоіонізуюче опромінення насіння лікарських рослин в дозах 5 - 50 Гр викликає епігенетичні зміни у мікросателітній ДНК, що успадковуються клітинами, які не зазнали опромінення.

3. Аналіз радіаційно індукованих змін патерну ISSR-ампліфікації-*HpaII/MspI* рестрикції свідчить, що в мікросателітній ДНК ромашки лікарської при дозах гострого опромінення насіння 5 - 20 Гр переважають процеси деметилювання цитозину, а при дозі 50 Гр – процеси метилювання. При дозах 25 та 35 Гр може одночасно відбуватись деметилювання одних ділянок мікросателітної ДНК та метилювання інших.

4. Максимальна концентрація суми флавоноїдів в екстрактах ромашки лікарської та череди трироздільної досягається при варіантах опромінення, коли збільшується кількість ампліконів патерну ISSR-ампліфікації-*MspI* рестрикції, а патерн ISSR-ампліфікації-*HpaII* рестрикції залишається або незмінним, або ж зменшується кількість ISSR-ампліконів. Зазначена тенденція є свідченням появи повністю метилованих сайтів CC^mGG [2], тобто метилювання *de novo* / деметилювання цитозинів у послідовностях мікросателітної ДНК в клітинах опромінених рослин ромашки лікарської та череди трироздільної.

Таким чином, опромінення насіння в дозах 5-50 Гр не призводить до генетичного поліморфізму ISSR-послідовностей мікросателітної ДНК, проте після дії радіаційного чинника відбуваються епігенетичні зміни у геномі клітиннащадків опромінених клітин зародку, маркером яких є перемикання метилювання з підтримуючого режиму в режим метилювання *de novo* / деметилювання.

1. D. Sokolova, G. Vengzhen, A. Kravets. An Analysis of the Correlation between the Changes in Satellite DNA Methylation Patterns and Plant Cell Responses to the Stress. *CellBio* 2 (2013) 163. doi:10.4236/cellbio.2013.23018
2. J. Fulneček, A. Kovařík. How to interpret Methylation Sensitive Amplified Polymorphism (MSAP) profiles? *BMC Genetics* 15(2) (2014) 1471. doi:10.1186/1471-2156-15-2

ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ⁶⁰Co НЕЙТРОННО-АКТИВАЦІЙНИМ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ

Г. В. Васильсва¹, Ю. М. Килівник², В. О. Мартишичкін¹,
С. І. Вучкан¹, В. В. Гриньов¹, Р. М. Плекан¹

¹ Ужгородський національний університет, фізичний факультет,
кафедра теоретичної фізики, Ужгород, Україна

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

У роботі досліджено можливість аналізу хімічної поведінки ⁶⁰Co (та його міграції в об'єктах довкілля) нейтронно-активаційним методом. Для цього

сполуку $\text{CoNO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ марки «х.ч» опромінювали нейтронами від $\text{Pu}(\alpha)\text{Be}$ джерела протягом 97 діб (густина потоку $\phi = 10^6$ н/см²·с; $E_n = 5 - 10$ МеВ; маса сполуки 10 г). Наявність ізотопів ^{60}Co контролювали з використанням сцинтиляційного спектрометра на основі сцинтиляційного детектору БДСГ-2-23 та амплітудного аналізатора імпульсів СБС-40 виробництва «Атом комплекс прилад». Калібрування здійснювали радіоактивним джерелом ^{137}Cs

Сорбційне концентрування ^{60}Co проводили з використанням неорганічного гранульованого сорбенту фосфату титану (синтезованого в ІСПЕ НАН України, м. Київ) у статичних умовах при $\text{pH} = 7$. Характеристики сорбенту такі: вміст макропор 90 %, співвідношення $\text{P}:\text{Ti} = 0,8$; розмір гранул 1 - 2 мм.

Показано що ^{60}Co добре поглинається фосфатом титану і задовільно діагностується за допомогою сцинтиляційного детектору. Паралельно із нейтронно-активаційним методом аналізу проводили аналіз сорбційного концентрування ^{60}Co методом комплексометричного титрування з індикатором Ксиленоловим оранжевим. Зроблено висновок, що використання нейтронно-активаційної методики значно спрощує аналіз хімічної поведінки ^{60}Co , хоча пов'язано з деяким ризиком для дослідників.

^{137}Cs и ^{40}K В ПОЧВЕ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ТЕРРИТОРИИ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

Н. Е. Зарубина

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

Исследования изменений содержания ^{137}Cs и ^{40}K на протяжении календарного года в различных объектах лесных экосистем были проведены на территории полигона «Парышев» (зона отчуждения ЧАЭС). В качестве объектов исследования были использованы слои почвы A_0l , $\text{A}_0\text{f} + \text{A}_0\text{h}$ и 0 - 5, 5 - 10 см слои гумусово-аллювиального горизонта, одно- и двухлетние хвоя и побеги *Pinus sylvestris* L. Пробы отбирались с периодичностью 1 раз в две недели на протяжении периода исследований – 2014 - 2015 гг. Содержание радионуклидов определялось методами гамма-спектрометрии. Содержание ^{137}Cs пересчитывалось на дату аварии для исключения влияния на расчеты периода полураспада этого радионуклида.

В результате проведенных исследований было установлено, что величина удельной активности ^{137}Cs и ^{40}K в почве не является постоянной, а скачкообразно изменяется в течение календарного года. Для растительности характерным является возрастание содержания ^{137}Cs и ^{40}K в период максимального ежегодного роста – весенне-летний период.

Содержание ^{40}K в исследованных органах *P. sylvestris* превышает его содержание в почве. Наименьшая величина удельной активности этого радионуклида характерна для двухлетней хвои, самая высокая – для однолетних побегов. В отличие от ^{40}K , содержание ^{137}Cs в почве больше его содержания в

хвое и побегах. Исключением является низкое (ниже чем в живых органах *P. sylvestris*) содержание этого радионуклида в слое A₀₁.

Изменения содержания ⁴⁰K в течение календарного года в однолетней хвое, одно- и двухлетних побегах происходит практически синхронно. Об этом свидетельствуют коэффициенты корреляции 0,78, 0,73 и 0,73 соответственно. Для уже полностью сформированной двухлетней хвои ⁴⁰K требуется в значительно меньших количествах. Об этом может свидетельствовать величина коэффициента корреляции между двухлетней хвоей и двухлетними побегами – 0,16.

В отличие от ⁴⁰K, изменения содержания ¹³⁷Cs происходят одновременно не только в однолетней хвое и одно- и двухлетних побегах, но и в двухлетней хвое (коэффициенты корреляции – от 0,55 до 0,85). Можно предположить, что потребность полностью сформированной двухлетней хвои в ¹³⁷Cs больше, чем в ⁴⁰K.

Подводя итог проведенным исследованиям, можно предположить, что потребность в ¹³⁷Cs и ⁴⁰K для растений не одинакова, а круговорот этих радионуклидов в лесных экосистемах имеет разные закономерности.

КАРТОГРАФУВАННЯ «ПЛЯМ» РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

**Ю. В. Хомутінін, В. П. Процак, В. О. Кашпаров,
С. Е. Левчук, В. В. Павлюченко**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Київ, Україна*

Однією з особливостей аварії на Чорнобильській АЕС є велика плямистість радіоактивних випаднів. У віддалений після Чорнобильської аварії період все частіше стали виникати завдання уточнення щільності радіоактивного забруднення ґрунту на локальних ділянках території. Це пов'язано з поверненням забруднених територій у сільськогосподарське використання, уточненням меж окремих «плям» радіоактивного забруднення, а так само виявленням і картографуванням ділянок, радіоактивне забруднення яких обумовлене техногенною діяльністю (місця дислокації військових підрозділів задіяних в ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС, територія пунктів спеціальної обробки техніки та ін.).

Картографування – найбільш інформативний і наочний метод представлення даних про радіаційну обстановку на місцевості. Проте достовірне репрезентативне відображення радіаційної ситуації на місцевості з плямистим радіоактивним забрудненням вимагає значних матеріальних витрат і часу. Загальноприйнятими характеристиками радіоактивного забруднення території є потужність експозиційної дози (МЭД) і щільність випаднів радіонуклідів. Математичний опис цих характеристик – це деякі функції від координат місцевості $f(x,y)$. Завданням є відновлення цих функцій з прийнятною погрі-

шністю на основі просторово-розподілених даних (вимірів у вузлах не регулярної сітки $f_i(x_i, y_i)$ з найменше можливими витратами матеріальних засобів і часу. Функція $f(x, y)$ у даній роботі розглядатимемо у вигляді мультиплікативної імовірнісної моделі $f(x, y) = A_0 \cdot \prod_{i=1} f_{i, loc}(x, y) \cdot f_r$ де A_0 – «фонове» значення характеристики радіоактивного забруднення на обстежуваній ділянці; $\prod_{i=1} f_{i, loc}(x, y)$ – твір безрозмірних функцій, що описують "плями"; f_r – безрозмірна випадкова компонента, не залежна від координат точки на обстежуваній території, і що має логнормальний закон розподілу ймовірності з медіаною рівної 1. У цій роботі для виділення аномалій («плям» на фоні) квазіоднорідного радіоактивного забруднення результати вимірювань на обстежуваній території $f_i(x_i, y_i)$ розглядаються як випадкова вибірка з суміші двох логнормальних розподілів. Перший розподіл характеризує «фоновий» для обстежуваної території рівень радіоактивного забруднення. Втретє розподіл – аномальні значення радіоактивного забруднення – «плями». Для логарифмів результатів виміру $z_i = \ln(f_i(x_i, y_i))$ це буде суміш нормальних розподілів, що має вигляд $\alpha \cdot \Phi(z; m_1; s_0) + (1 - \alpha) \cdot \Phi(z; m_2; s_n)$ де $\Phi(\dots)$ – розподіл Гауса; $m_1(m_2)$ – середнє значення логарифма характеристики «фонового» забруднення («плям»); s_0 – стандартне відхилення логарифма характеристики «фонового» забруднення, яке вважаємо апіорі відомим; s_n – стандартне відхилення логарифма характеристики радіоактивного забруднення в області «плям»; α – частка вибірки, що характеризує «фонове» забруднення. Якщо отримана оцінка α статистичне не відрізняється про нуля, то на обстежуваній ділянці «плями» відсутні. Ділянка має квазіоднорідне (без градієнтне) забруднення радіонуклідами. Якщо $\alpha > 0$, перші $\alpha \cdot n$ значень варіаційного ряду відносяться до «фону», а інші $m = (1 - \alpha) \cdot n$ значень характеризують «плями».

Випробування на території Іванківського району, запропонованого алгоритму виділення і омониторингування «плям» радіоактивного забруднення ґрунту, підтвердили його ефективність і результативність. Стійкість його роботи і простота практичного застосування дає змогу використати його як для побудови карт радіоактивного забруднення, так при вирішенні приватних завдань пов'язаних з уточненням і деталізацією щільності радіоактивного забруднення на локальних ділянках території.

ЕКСПРЕС-ПРОГНОЗ ВМІСТУ ¹²⁹I В МОЛОЦІ КОРІВ КОРОСТЕНСЬКОГО І НАРОДИЧСЬКОГО РАЙОНІВ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

**Ю. В. Хомутінін, В. О. Кашпаров, М. М. Лазарєв,
Л. М. Отрешко, Л. В. Йошенко**

Йод є важливим біогенним елементом для організму людини, а молоко корів є одним із основних джерел його надходження до організму людини. Вміст йоду в молоці визначається його вмістом у компонентах добового раціону. У разі забруднення пасовищної і лугової рослинності радіоактивними ізотопами цього елемента, «молочний» шлях його надходження в організм обумовлює більше 90 % поглинутої дози опромінення щитовидної залози людини. Саме тому прогнозування вмісту йоду в молоці корів у різних ґрунтово-ландшафтних умовах є важливим науковим і практичним завданням.

У наслідок Чорнобильської аварії в Україні найбільшого забруднення радіоізотопами йоду зазнала ендемічна за змістом стабільного йоду (^{127}I) територія Полісся. У роботі використана ймовірнісна модель прогнозування вмісту ізотопів йоду в молоці корів $C_m = F_m \cdot \sum_{j=1} p_j \cdot C_j$, де p_j – добове споживання j -ої компоненти раціону твариною, кг/добу; C_j – питомий вміст йоду в j -ій компоненті раціону тварини, мг/кг (Бк/л); F_m – коефіцієнт переходу йоду з добового раціону в молоко корів при постійному його вмісті в раціоні, доба/л. Параметри C_j і F_m у даній моделі розглядаються як випадкові величини, що мають логнормальні розподіли імовірності.

Прогнозування вмісту ^{129}I в рослинах і молоці корів актуально лише для територій, що зазнали забруднення цим ізотопом. Для України – це території, забруднені чорнобильськими радіоактивними випадіннями. Для таких територій (Народичський і Коростенський райони Житомирської області) спостерігається кореляційна залежність між щільністю випадінь ^{129}I і ^{137}Cs . Вона має вигляд $A_n^{129\text{I}} = a \cdot (A_n^{137\text{Cs}})^b$, де $A_n^{129\text{I}}$ мБк/м² ($A_n^{137\text{Cs}}$ кБк/м²) відносно щільності випадінь ^{129}I і ^{137}Cs на 1986 р.; $a = \exp(1,02 \pm 0,2)$; $b = 0,72 \pm 0,03$.

Для прогнозування вмісту ^{129}I в рослинних компонентах раціону корів використана модель $C_p^{129\text{I}} = КП^{129\text{I}} \cdot A_n^{129\text{I}}$, де $C_p^{129\text{I}}$ – концентрація ^{129}I в рослині, узята для повітряно сухої маси; $A_n^{129\text{I}}$ – щільність випадінь ^{129}I , мБк/м²;

$КП^{129\text{I}}$ – коефіцієнт переходу. При прогнозуванні вмісту ^{129}I в рослинах, що є компонентами раціону корів, для отримання консервативних експрес-оцінок прийнято, що $КП^{129\text{I}} = 2 \cdot КП^{127\text{I}}$.

У роботі отримані прогнозні оцінки питомого вмісту ^{129}I в молоці корів у пасовищний і стійловий періоди для характерних населених пунктів Житомирської області.

Таким чином, на основі імовірнісного опису питомого вмісту ізотопів йоду в ґрунті, рослинах і можливих значень коефіцієнтів переходу запропонований експрес-метод прогнозування вмісту ^{129}I в молоці корів, який не потребує безпосереднього виміру вмісту ^{129}I у ґрунті. Цей метод є узагальненням (розширенням можливостей) широко поширеного в літературі методу прогнозування питомого вмісту в молоці корів різних елементів на основі точкових оцінок їхнього вмісту у компонентах раціону.

Авторський покажчик

- Атті Д. Д5
Барабаш А. С. Д11
Барсук С. Д5
Безшийко О. Д5
Беллі П. Д11
Берестяна А. М. Д18
Бернабей Р. Д11
Бурмістров Л. Д5
Вариола А. Д5
Васильєв Я. В. Д11
Васильєва Г. В. Д19
Венедиктов В. М. Д14
Вучкан С. І. Д19
Гайсак А. І. Д9
Гайсак І. І. Д9
Голінка-Безшийко Л.
Д5
Гриньов В. В. Д19
Грицай О. О. Д14
Гуськов А. В. Д9
Даневич Ф. А. Д11
Демченко О. М. Д15
Демьянов А. В. Д9
Джонсон Д. Д6
Дибська О. Б. Д15
Дідковський В. І. Д6
Добішук В. М. Д6, Д11
Желтоножський В. О.
Д6, Д7
Жук В. В. Д18
Зарубина Н. Е. Д20
Йощенко Л. В. Д22
Ідарага Д. Д5
Інчікитті А. Д11
Каденко І. Д5
Кальченко О. І. Д14
Камышников Ю. И. Д9
Каппелла Ф. Д11
Караччіоло В. Д11
Касперович Д. В. Д11
Кашпаров В. О. Д21,
Д22
Килівник Ю. М. Д19
Кирищук В. І. Д6
Кобищев В. В. Д11
Кола П. Д5
Колієв С. М. Д8, Д11
Колосов А. И. Д9
Коновалов С. І. Д11
Кот О. А. Д11
Крилов В. Д5
Курінний Д. А. Д15
Лазарев М. М. Д22
Лаубенштейн М. Д11
Левчук С. Е. Д21
Лібман В. А. Д16
Літвінов С. В. Д17, Д18
Лопес Р. Д5
Мартишичкін В. О. Д9,
Д19
Монард Х. Д5
Нестеренко О. Г. Д18
Отрешко Л. М. Д22
Охріменко О. Ю. Д8,
Д11
Павлович В. М. Д14
Павлюченко В. В. Д21
Петренко С. О. Д11
Пілінська М. А. Д15
Плекан Р. М. Д19
Пода Д. В. Д11
Поліщук О. Г. Д11
Процак В. П. Д21
Пугач В. М. Д6, Д8,
Д11
Пчеловська С. А. Д18
Пшеничний В. А. Д14
Рашидов Н. М. Д17
Рушковський С. Р. Д15
Саврасов А. М. Д6
Саврасов А. М. Д7
Салівон А. Г. Д18
Соколова Д. О. Д18
Стрільчук М. В. Д7
Тітов М. Д5
Томассіні Д. Д5
Тонкаль Л. В. Д18
Третяк В. І. Д7, Д11
Тришин В. В. Д16
Уматов В. І. Д11
Федорчук О. Д5
Хомутінін Ю. В. Д21,
Д22
Чаус А. Д5
Червонна Л. Є. Д16
Черняк Д. М. Д11
Черулі Р. Д11
Шахов В. П. Д14
Шевченко Ю. Б. Д16
Шелков Г. О. Д9
Шиліна Ю. В. Д18
Шлегель В. М. Д11
Шмідт Б. Д6

Наукове видання

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

(Київ, 16 - 20 квітня 2018 року)

Додаток до збірника тез доповідей

Укладач *Пугач Олександр Михайлович*

Тези публікуються в авторських редакціях

Комп'ютерна верстка *О. Д. Григоренко*

Підп. до друку 29.03.2018. Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 1,5.

Інститут ядерних досліджень НАН України,
просп. Науки, 47, м. Київ, 03028, тел. (044) 525-14-56
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4051 від 18 квітня 2011 р.