

Қазақстан Республикасы Энергетика  
министрлігі  
Ядролық физика институты

Қазақстанның Ядролық  
Қоғамы Ассоциациясы



І-ші ХАЛЫҚАРАЛЫҚ МЕКТЕП-  
КОНФЕРЕНЦИЯСЫ «АТОМ. ҒЫЛЫМ.  
ТЕХНОЛОГИЯЛАР»

ТЕЗИСТЕР

14-16 сәуір 2021 жыл

Алматы, Қазақстан Республикасы

Алматы, 2021

**Министерство энергетики Республики  
Казахстан  
Институт ядерной физики**

**Ассоциация Ядерное  
общество Казахстана**



**I МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА-  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
«АТОМ. НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ»**

**ТЕЗИСЫ**

**14-16 апреля 2021 года**

Алматы, Республика Казахстан

**Алматы, 2021**

**УДК 621.039.51-73; 539.12.04; 539.17; 502.175-027.21; 544.25.057**

**ББК 22.383; 22.37; 24.13; 31.42; 31.46**

**М43**

**Ответственный редактор:** к.т.н. Каракозов Б.К.

**Редакторы:** к.ф.-м.н. Жолдыбаев Т.К., Ларионов А.С.

В сборнике представлены тезисы докладов участников I Международной научной школы-конференции «Атом. Наука. Технологии» в области фундаментальной и прикладной ядерной физики, радиационной физики твердого тела, радиационной экологии, методов анализа, применения ядерных и радиационных методов в медицине и промышленности.

**ISBN 978-601-08-0927-7**

Жинаққа I Халықаралық ғылыми мектеп-конференциясының «Атом. Ғылым. Технологиялар» фундаментальды және қолданбалы ядролық физика, радиациялық қатты дене физикасы, радиациялық экология, талдау әдістері, медицинада және өндірісте ядролық және радиациялық әдістерді қолдану.

**ISBN 978-601-08-0927-7**

© РГП «Институт ядерной физики», 2021

## **МЕКТЕП ТАҚЫРЫПТАРЫ**

1. Ядролық физика
2. Материалтану және жаңа материалдардың технологиясы
3. Радиациялық экология және талдау әдістері
4. Ядролық реакторлардың физикасы мен технологиясы
5. Медицинадағы, өнеркәсіптегі және ауыл шаруашылығындағы ядролық және радиациялық технологиялар

## **МЕКТЕП ҰЙЫМДАСТЫРУШЫЛАРЫ**

- ҚР Энергетика министрлігінің «Ядролық физика институты» РМК
- Жас ғалымдар кеңесі РМК ЯФИ
- «Қазақстанның ядролық қоғамы» ассоциация

**Төраға:** Джансейтов Д.М.

### **Комитет мүшелері:**

- |                  |   |
|------------------|---|
| Жолдыбаев Т.К.   | - ядролық физика кафедрасының меңгерушісі                               |
| Кислицин С.Б.    | - қатты денелердің радиациялық физикасы кафедрасының меңгерушісі        |
| Глущенко В.Н.    | - кешенді экологиялық зерттеулер орталығының жетекшісі                  |
| Орешкин П.А.     | - үдеткіш технологиясы бөлімінің басшысы                                |
| Чакрова Е.Т.     | - радиохимия және изотоп өндірісі ғылыми-техникалық орталығының басшысы |
| Козловский А.А.  | - қатты дене физикасы зертханасының меңгерушісі                         |
| Жаканбаев Е.А.   | - ион-плазмалық технологиялар зертханасының меңгерушісі                 |
| Шаймерденов А.А. | - ядролық энергия қауіпсіздігі мәселелері зертханасының меңгерушісі     |
| Козгаева У.П.    | - Ғылыми хатшы  |
| Ларионов А.С.    | - Жас ғалымдар кеңесінің төрағасы                                       |
| Жетбаева Ш.А.    | - ақпараттық технологиялар бөлімінің басшысы                            |

## **ТЕМАТИКА ШКОЛЫ**

1. Ядерная физика
2. Материаловедение и технологии новых материалов
3. Радиационная экология и методы анализа
4. Физика и техника ядерных реакторов
5. Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве

## **ОРГАНИЗАТОРЫ ШКОЛЫ**

- РГП «Институт ядерной физики» Министерства энергетики Республики Казахстан
- Совет молодых ученых РГП ИЯФ
- Ассоциация «Ядерное общество Казахстана»

**Председатель:** Джансейтов Д.М.

### **Члены комитета:**

Жолдыбаев Т.К.	- начальник Отдела ядерной физики
Кислицин С.Б.	- начальник Отдела радиационной физики твердого тела
Глущенко В.Н.	- начальник Центра комплексных экологических исследований
Орешкин П.А.	- начальник Отдела ускорительных технологий
Чакрова Е.Т.	- начальник Научно-технического центра радиохимии и производства изотопов
Козловский А.А.	- заведующий Лабораторией физики твердого тела
Жаканбаев Е.А.	- заведующий Лабораторией ионно-плазменных технологий
Шаймерденов А.А.	- заведующий Лабораторией проблем безопасности атомной энергии
Козтаева У.П.	- ученый секретарь
Ларионов А.С.	- председатель Совета молодых ученых
Жетбаева Ш.А.	- начальник Отдела информационных технологий

## Секция 1. Ядерная физика

### АНАЛИЗ РЕДКОГО РАСПАДА $K^+ \rightarrow e^+\nu\mu^+\mu^-$ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ NA62 В ЦЕРН

Байгарашев Д.М. <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Государственный Университет «Дубна», Факультет естественных и инженерных наук, Дубна, Россия

<sup>2</sup> Объединённый институт ядерных исследований, Лаборатория физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина, Дубна, Россия.

Редкие распады  $K12g^*$  ( $K^+ \rightarrow l^+\nu l^+l^-$ ) являются важными источниками информации о  $K$ -мезоне [1]. Согласно киральной пертурбативной теории (КПТ) [1], радиационные распады  $K$ -мезона могут служить как средством её проверки, так и источником входных параметров для этой теории.

Основной целью эксперимента NA62 в ЦЕРН является измерение вероятности сверх-редкого распада  $K^+ \rightarrow \pi^+\nu\nu$  [2]. Набранная статистика за 2016-2018 годы позволяют проанализировать другие редкие распады, в частности,  $K^+ \rightarrow e^+\nu\mu^+\mu^-$ . Из-за того, что тормозное излучение для распада  $K^+ \rightarrow e^+\nu\mu^+\mu^-$  подавлено (0.03%), этот распад хорошо подходит для измерения форм факторов ( $F_V$ ,  $F_A$  и  $R$ ). Известно предсказание КПТ вероятности распада  $K^+ \rightarrow e^+\nu\mu^+\mu^-$  с значением  $1.12 \times 10^{-8}$  [3]. Предыдущий экспериментальный результат  $(1.7 \pm 0.5) \times 10^{-8}$  [4].

Представлены методика исследования, первые результаты селекции сигналов и исследовании источников фона.

#### Список литературы

1. S. Weinberg, Physica A 96, 327 (1979); J. Gasser and H. Leutwyler, Ann. Phys. 158, 142 (1984); Nucl. Phys. 250, 465 (1985).
2. Cortina Gil E. et al., Phys. Lett. B 791 156–66 (2019).
3. J. Bijnens, G. Ecker and J. Gasser, Nucl. Phys. B 396, 81 (1993).
4. M. Tanabashi et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D 98, 030001 (2018) and 2019 update.

## Секция 1. Ядерная физика

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ КЛАСТЕРНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ЯДРЕ ${}^6\text{Li}$

Калжигитов Н.К.

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Такибаев Н.Ж.

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

При исследовании структуры некоторых легких ядер и термоядерных реакций было обнаружено, что кластерная поляризация в значительной мере влияет на образование связанных и резонансных состояний и на астрофизические  $S$ -факторы ядерных реакций. Данные эффекты оказывали большое воздействие на энергию, форму и размер, как связанных, так и резонансных состояний компаунд-ядер. Поэтому основной целью проводимых исследований стало изучение влияния кластерной поляризации на спектр ядра  ${}^6\text{Li}$  и термоядерную реакцию  ${}^3\text{H} + {}^3\text{He} = {}^4\text{He} + d$ . Поляризация — это процесс при котором легкие ядра изменяют свою форму и размер при воздействии на них другими ядрами. Для исследования данных эффектов была использована микроскопическая трехкластерная модель, предложенная в [1]. Данная модель сводит трехкластерную задачу к набору бинарных каналов и использует гауссовские и осцилляторные функции для разложения волновой функции. В результате уравнение Шредингера сводится к системе линейных алгебраических уравнений. Достоинство этого метода состоит в том, что оно точно учитывает принцип Паули, кластерную поляризацию и обеспечивает более точное описание внутренней структуры двухкластерных подсистем. Для учета доминирующих бинарных каналов:  $\alpha+d$ ,  ${}^5\text{He}+p$ ,  ${}^5\text{Li}+n$  и  ${}^3\text{H}+{}^3\text{He}$  в ядре  ${}^6\text{Li}$  были учтены две трехкластерные конфигурации:  $\alpha+p+n$  и  ${}^3\text{H}+d+p$ .

Все расчеты были проведены с полуреалистичным нуклон-нуклонным потенциалом Миннесоты [2].

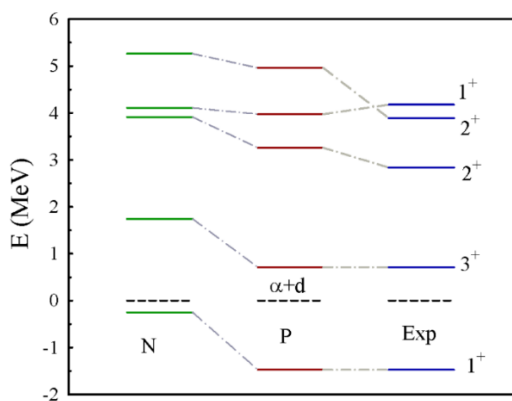


Рисунок 1 - Низкоэнергетические спектры  ${}^6\text{Li}$  получены с поляризацией (P) и без поляризации (N) и сопоставлены с экспериментальными данными (Exp)

На рисунке 1 приведены спектры связанного и резонансных состояний ядра  ${}^6\text{Li}$ , полученных с учетом (P) и без учета поляризации (N). Как видно, кластерная поляризация существенно изменяет энергии и связанного, и резонансных состояний. Например, поляризация сдвигает энергию основного состояния и  $3^+$  резонансного состояния более чем на 1МэВ. Она также заметно уменьшает ширины всех рассмотренных резонансов. Рисунок 1 также показывает, что результаты используемой модели хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Главный итог исследований — поляризация дейтрона, ядер  ${}^5\text{He}$  и  ${}^3\text{He}$ , рассмотренных как двухкластерные системы  $d = p + n$ ,  ${}^5\text{He} = {}^4\text{He} + n$  и  ${}^3\text{He} = d + p$ , играет большую роль в формировании спектра ядра  ${}^6\text{Li}$ .

#### Список литературы

1. Vasilevsky V.S., Arickx F., et al. Nucl. Phys. A. – 2009. – Vol. 824. – p. 37-57.
2. Thompson D.R., LeMere M., Tang Y.C.. Nucl. Phys. – 1977. – Vol. A286. – p. 53-66.

## Секция 1. Ядерная физика

### ВАРИАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ В КВАНТОВОЙ ЗАДАЧЕ ТРЕХ ТЕЛ. МЕТОД РИТЦА

Азнабаев Д.Т.<sup>1,2,3</sup>, Жиенбаев К.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики Министерство энергетики Республики Казахстан, 050032 г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Лаборатория теоретической физики, Объединенный институт ядерных исследований, 141980, г. Дубна, Россия

<sup>3</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, 010000, г.Нур-Султан, Казахстан

<sup>4</sup>Казахский национальный университет им.аль-Фараби, 050040, г.Алматы, Казахстан

Самой простой реальной системой, в которой обнаруживаются многочастичные эффекты, является атом с двумя электронами, движущимися в кулоновском поле ядра с зарядом  $Ze$ . К ним относится атом  $He(Z=2)$ , однократно ионизированный атом лития  $Li^+(Z=3)$ , двукратно ионизированный атом бериллия  $Be^{++}$  и.т.д. Атомы с двумя электронами называются гелиеподобными.

Запишем нерелятивистское уравнение Шредингера для атома с двумя электронами и бесконечно тяжелым ядром

$$-\frac{1}{2}[\vec{p}_1^2 + \vec{p}_2^2]\psi + \left(-\frac{Z}{r_1} - \frac{Z}{r_2} + \frac{1}{r_{12}}\right)\psi = E\psi \quad (1)$$

Найти точные решения этого уравнения с гамильтонианом до сих пор не удалось, поэтому приходится использовать приближенные методы. В этой работе мы применим вариационный метод Ритца для вычисления энергии основного состояния атома гелия [1]. Исходной точкой метода служит уравнение Шредингера.

$$H\psi = E\psi \quad (2)$$

Вариационный принцип Хиллерааса-Ундгейма, более известный в математике как вариационный принцип Релея-Ритца, считается универсальным методом при получении приближенного решения уравнения Шредингера. Основными задачами вариационного исчисления, являются задачи на определения экстремумов или стационарных значений функционалов. Сущность этого метода состоит в замене задачи поиска стационарных значений функционалов принципиально более простой задачей поиска стационарных значений функций нескольких переменных [5].

Таблица 1. Сравнение нерелятивистских энергий основного состояния атома гелия.

Авторы (год)	N-Базис	Энергий (а. е.м)
Schwartz (2006) [1]	24099	-2.90372 4377034119 59831 11592 45194 40444 66969 25310
Nakashima Nakatsuji (2007) [2]	22709	-2.90372 4377034119 59831 11592 45194 40444 66969
Наши расчеты	22000	-2.90372 4377034119 59831 11592 45194 40443
Korobov (2002) [3]	5200	-2.90372 4377034119 59831 1159
Drake (2002) [4]	2358	-2.90372 43770 34119 598311

#### Список литературы

1. Schwartz C. Further Computations of the He Atom Ground State. arXiv:math-ph/0605018. (2006).
2. H. Nakashima and H. Nakatsuji, Solving the Schrödinger equation for helium atom and its isoelectronic ions with the free iterative complement interaction (ICI) method, J. Chem. Phys. 127, 224104 (2007).
3. V. I. Korobov, Nonrelativistic ionization energy for the helium ground state, Phys. Rev. A 66, 024501 (2002).
4. G. W. F. Drake, M. M. Cassar, and R. A. Nistor, Ground-state energies for helium, H<sup>-</sup>, and Ps<sup>-</sup>, Phys. Rev. A 65, 054501 (2002).
5. D. T. Aznabayev, A. K. Bekbaev, V.I. Korobov Nonrelativistic energy levels of helium atoms Phys. Rev A, V 98, 012510, (2018).



## Секция 1. Ядерная физика

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЕ ПРОТОНОВ, ИСПУСКАЕМЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ РЕАКЦИИ (p,xp) НА ЯДРЕ $^{27}\text{Al}$

Алиева Г.Ж.<sup>1</sup>, Мукан Ж.Т.<sup>1,2</sup>, Жолдыбаев Т.К.<sup>2,3</sup>, Садыков Б.М.<sup>2</sup>, Насурлла М.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Евразийский Национальный Университет им. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан;  
<sup>2</sup> Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан;  
<sup>3</sup> Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

Роль новых ядерно-физических экспериментов в создании ядерных баз данных и разработке теоретических моделей в соответствии с современными подходами является ключевой как в фундаментальных, так и в прикладных исследованиях, связанных, в частности, с разработкой электроядерных установок (Accelerator Driven System, ADS) для ядерной трансмутации долгоживущих радиоактивных ядерных отходов и производства энергии [1,2].

Эксперимент с протонами, ускоренными до энергии 7 МэВ, выполнялся на изохронном циклотроне У-150М Института ядерной физики. Самонесущая фольга  $^{27}\text{Al}$  была выбрана в качестве объекта исследования, поскольку является конструкционным элементом гибридной атомной энергетической установки и экспериментальные данные по которой необходимы при разработке систем ADS. Дважды-дифференциальные сечения реакций с легкими частицами в выходных каналах измерялись в угловом диапазоне 30-135° с шагом угла 15°. После интегрирования по углу был получен интегральный спектр.

Теоретический анализ полученных экспериментальных результатов при энергии налетающих протонов 7 МэВ для реакций  $^{27}\text{Al}$  (p,xp) проведен в рамках расчетных программ TALYS и PRECO [3,4]. Для описания полных инклюзивных спектров рассеянных частиц были учтены все возможные механизмы ядерных реакций. Достигнуто удовлетворительное согласие между экспериментальными и расчетными значениями. Установлено различие между прямыми ядерными реакциями, предравновесным распадом и равновесным излучением.

#### Список литературы

1. A.S. Gerasimov, G.V. Kiselev // PEPAN. 2001. V.32, is.1. P.143.
2. A. Ignatyuk et al. // Atomic Energy 116 (2014) 209.
3. A.J. Koning, S. Hilaire and M.C. Duijvestijn, «TALYS-1.0», Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, April 22-27, 2007, Nice, France, editors O.Bersillon, F.Gunsing, E.Bauge, R.Jacqmin, and S.Leray, EDP Sciences, 2008, p. 211-214.
4. Kalbach C. PRECO-2006: Exiton model preequilibrium nuclear reaction code with direct reaction /C. Kalbach – Durham NC 27708–0308, 2007. – 184 p

## Секция 1. Ядерная физика

### ЛИТИЙ ККЖ ДЕЙТЕРИЙ СОРБЦИЯСЫ БОЙЫНША ЭКСПЕРИМЕНТТЕР

Әскербеков С.К.<sup>1,3</sup>, Кульсартов Т.В.<sup>2</sup>, Гордиенко Ю.Н.<sup>2</sup>, Понкратов<sup>2</sup> Ю.В., Кадыржанов<sup>3</sup> К.К., Нестеров<sup>4</sup> Е.А., Толенова<sup>5</sup> А.У., Кенжин<sup>5</sup> Е.А.

<sup>1</sup> ҚР ЭМ РМК «Ядролық физика институты», Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup> ҚР ҰЯО РМК «Атом энергиясы институты», Курчатов қ., Қазақстан

<sup>3</sup> Л.Н. Гумилев ат. Еуразия ұлттық университеті, Нұр-сұлтан қ., Қазақстан

<sup>4</sup> Томск политехникалық ұлттық зерттеу университеті, Томск қ., Ресей

<sup>5</sup> әл-Фараби ат. ҚазҰУ, ул. Аль-Фараби 71, Алматы қ., Қазақстан

e-mail: askerbekov@physics.kz

ИТЭР жобасын әзірлеу дивертор пластинасына арналған материалды таңдау және бірінші қабырғаны бұзылудан қорғау ең маңызды проблемалар екенін көрсетті. Басқарылатын термоядролық синтез (БТС) қондырғылары үшін плазмаға қарайтын материал ретінде литий капиллярлы кеуекті жүйені (ККЖ) қолдану басқа материалдармен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие және дивертордың пайдалану ресурсын едәуір арттырудың маңызды проблемасын шешуге көмектесуі мүмкін.

ТЯР-да сұйық құю жүйелерін пайдаланудың қажетті шарты олардан тритийді алып тастау мүмкіндігі болып табылады. Бұл мүмкіндікті бағалау үшін осы материалдар қондырғының нақты жұмысын модельдейтін жағдайларда, яғни нейтрондық сәулелену жағдайында зерттеледі. Әдетте мұндай эксперименттер ядролық зерттеу реакторларында жүргізіледі.

Осы жұмыста осындай зерттеулердің бірінші кезеңінің нәтижелері келтіріледі, атап айтқанда литий ККЖ үлгісімен дейтерийді сорбциялау бойынша реактордан тыс эксперименттер.

Тәжірибелер динамикалық сорбция әдісімен литий ККЖ зерттелген үлгісі бар реакторлық ампулада жүргізілді. Үлгінің әртүрлі температуралары кезінде зерттелетін үлгісі бар үздіксіз айдалатын ампулаға берілетін дейтерийдің әртүрлі ағындарындағы жүйедегі дейтерийдің квази-тепе-теңдік қысым деңгейлері анықталды.

Тәжірибелер нәтижелері бойынша литий ККЖ арқылы дейтерийдің сорбциялық константасының температураға тәуелділігі есептелінді. Эксперимент нәтижелері болашақта тритийдің түзілуін және литий ККЖ-нен бөлінуін зерттеуге арналған реакторлық тәжірибелердің нәтижелерін талдау кезінде қолданылады.

## Секция 1. Ядерная физика

### ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО И НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ДЕЙТРОНОВ НА $\text{Be}^9$ ПРИ ЭНЕРГИИ $E = 14,5$ МэВ

Кажыкенов Ш. М.  
КазНУ. г. Алматы. РК.

Измерены дифференциальные сечения упругого и неупругого рассеяния дейтронов на  $\text{Be}^9$  при  $E_d = 14,5$  МэВ. В результате были получены новые экспериментальные данные для упругого и неупругого рассеяния  $d + \text{Be}^9$ , что приводит к возбужденному состоянию с энергией 2,43 МэВ ( $5/2^-$ ) ядра  $\text{Be}^9$ . Результаты экспериментов по упругому рассеянию были проанализированы в рамках оптической модели, с использованием потенциала Вудса – Саксона и двойного-фолдинг потенциала. Теоретические расчеты для соответствующих возбужденных состояний были выполнены методом связанных каналов (CC – coupled channels). Были рассчитаны параметры оптимальной деформации возбужденных состояний ядра  $\text{Be}^9$ .

## Секция 1. Ядерная физика

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ (p, xd) НА ЯДРЕ $^{120}\text{Sn}$ ПРИ ЭНЕРГИИ ПРОТОНОВ 30 МэВ

Мукан Ж.Т.<sup>1,2</sup>, Алиева Г.Ж.<sup>2</sup>, Жолдыбаев Т.К.<sup>1,3</sup>, Садыков Б.М.<sup>1</sup>, Насурлла М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Евразийский Национальный Университет им. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан;

<sup>3</sup>Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

Перспективность использования электроядерных установок (АДС), состоящих из ускорителя протонов и подкритического реактора ставит задачу определения пространственного и энергетического распределения вторичных частиц, образующихся при прохождении первичного пучка протонов мишенной сборки. Кроме производства энергии, в качестве основного предназначения АДС можно указать трансмутацию долгоживущих радиоактивных ядерных отходов [1,2].

Экспериментальные данные получены на изохронном циклотроне У-150М Института ядерной физики [3]. В качестве предмета исследования было выбрано олово, которое является одним из основных конструктивных элементов, необходимым для разработки систем ADS. Получены энергетические спектры и угловые распределения дейтронов из реакций (p,xd) при энергиях налетающих протонов 30 МэВ на ядре  $^{120}\text{Sn}$ , рассчитано парциальное сечение исследуемой реакции. Измерения выполнялись в угловом диапазоне 15 - 135° с шагом по углу 15°. Для регистрации и идентификации продуктов ядерных реакций использовали пролетный кремниевый детектор толщиной 100 мкм и детектор полного поглощения на основе сцинтиллятора CsI (Тl) толщиной 2,5 см. Телесный угол телескопа детекторов был равен  $4.62 \cdot 10^{-5}$  sr. В эксперименте использовали самонесущую фольгу  $^{120}\text{Sn}$  с обогащением 98% и толщиной 3,8 мг/см<sup>2</sup>.

Экспериментальные данные были проанализированы в рамках феноменологической экситонной модели предравновесного распада [4] в рамках расчетных программ Talys и Preco. Определено, что исследуемое сечение в высокоэнергетической области преимущественно формируются механизмом предравновесного распада, а в низкоэнергетической механизмом распада из составного ядра. Вклад одноступенчатых прямых процессов является незначительным.

#### Список литературы

1. Герасимов А.С., Киселев Г.В. // ЭЧАЯ.- 2001. - Вып.1, № 32.- С.143-188.
2. Риволь Ж.-П. // УФН. – 2003. – Т.173, вып.7. – С.747-755
3. Арзуманов А.А., Неменов Л.М., Анисимов О.И. и др. // Изв. АН КазССР, сер. физ.-мат. – 1973. – № 4. – С.6-15.
4. Griffin J.J. // Phys.Rev. Lett.- 1966.- Vol.17.- P. 478-481.

## Секция 1. Ядерная физика

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СВЕТИМОСТИ ДЛЯ РЕАКЦИИ $pp \rightarrow \{pp\}_s \pi^0$

Баймурзинова Б. С., Цирков Д. А.

Объединённый институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Нурсултан, Казахстан

Одним из основных методов в изучении сильных взаимодействий являются нуклон-нуклонные столкновения  $NN \rightarrow NN\pi$  при промежуточных энергиях. Классический пример таких взаимодействий представляет реакция  $pp \rightarrow d\pi^+$ , которая широко исследована, также для нее набрана богатая статистика. Однако реакция  $pp \rightarrow \{pp\}_s \pi^0$ , её спин-изоспиновый партнер, слабо изучена, и может дать дополнительную информацию о динамике  $NN$  взаимодействий.

Реакция  $pp \rightarrow \{pp\}_s \pi^0$ , где  $\{pp\}_s$  обозначает дипротон, т. е. несвязанную взаимодействующую протонную пару в состоянии  ${}^1S_0$ , была исследована с целью получения дифференциального сечения  $d\sigma/d\Omega$  при малых углах в диапазоне энергий 1.0–2.8 ГэВ. Для того, чтобы определить поперечное сечение, необходимо определить интегральную светимость  $L_{\text{int}}$ . Её можно измерить путем регистрации событий от реакций с известными дифференциальными сечениями  $d\sigma/d\Omega$ . В данной работе использовалось упругое  $pp$ -рассеяние, которое измерялись в угловом интервале  $15^\circ \leq \theta_{\text{cm}} < 25^\circ$  при пяти значениях энергий пучка  $T_p = 1.6\text{--}2.4$  ГэВ. Акцептанс вычислялся путём моделирования с использованием программы GEANT3. В итоге, процедура позволила определить светимости с ошибкой 5%, основной вклад в которую вносят систематические ошибки моделирования, идентификации канала упругого  $pp$ -рассеяния, и ошибка измерения использованного дифференциального сечения.

## Секция 1. Ядерная физика

### ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЛЕЖАЩИХ РЕЗОНАНСНЫХ СОСТОЯНИИ В РАЗВАЛЕ ГАЛО ЯДРА $^{11}\text{Be}$

Валиолда Д.С.<sup>1,2,3</sup>, Джансейтов Д.М.<sup>1,2,3</sup>, Жауғашева С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Целью работы является теоретическое исследование низколежащих резонансов в кулоновском развале гало ядер  $^{11}\text{Be}$  на тяжелой мишени ( $^{208}\text{Pb}$ ) от промежуточного (70 МэВ / нуклон) до низких энергий (5 МэВ / нуклон) в рамках нестационарного подхода. Развал можно рассматривать как переход нуклона от ядра гало к континууму из-за изменения кулоновского поля между нуклоном и мишенью при столкновениях. Сечение развала обеспечивает полезную информацией о структуре гало ядер.

Среди гало ядер, особый интерес представляет ядро  $^{11}\text{Be}$ . Относительная простота его структуры позволяет провести аккуратные теоретические изучения. Действительно, их связанные состояния могут быть достаточно хорошо описаны в качестве кора, с которым нейтрон слабо связан ( $^{10}\text{Be}+n$ ).

В настоящей работе нестационарное уравнение Шредингера интегрируется с непертурбативным алгоритмом на трехмерной пространственной сетке. Продемонстрирована сходимость вычислительной схемы в широком диапазоне энергий, включая низколежащие резонансы  $n+^{10}\text{Be}$  в различных парциальных и спиновых состояниях  $^{11}\text{Be}$ . Обнаружен значительный вклад резонанса  $5/2^+$  ( $E = 1,23$  МэВ) в сечение развала при 30 МэВ нуклон и ниже, в то время как при более высоких энергиях резонансные состояния  $3/2^-$  и  $3/2^+$  ( $E = 2,78$  и  $3,3$  МэВ) вносят наиболее заметный вклад. Полученные результаты хорошо согласуются с существующими экспериментальными данными при 69 и 72 МэВ / нуклон.

Разработанная вычислительная схема открывает новые возможности в исследовании кулоновского, а также ядерного, развала других гало ядер как на тяжелых, так и на легких мишенях. Эта теоретическая модель потенциально может быть полезна для интерпретации и планирования экспериментов с низкоэнергетическим пучком при изучении структуры гало ядер.

## Секция 1. Ядерная физика

### ИЗУЧЕНИЕ РИДЖ-ЭФФЕКТА МЕТОДОМ МАКСИМАЛЬНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ $\rho_t^{max}$

Мыктыбеков Д.

Лаборатория Физики Высоких энергий, Объединенный Институт Ядерных исследований, Дубна 141980,  
Россия

Феномен ридж-эффекта был впервые получен в коллаборации STAR на RHIC как разложение  $\Delta\eta \times \Delta\phi$  на струйную и потоковую составляющие распределения взаимодействующих частиц для столкновений  $+$ , а также  $+$  при энергиях  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  ГэВ / с.

Ридж-эффект характеризуется значениями азимутальных и псевдобыстротных разностей  $\Delta\eta \times \Delta\phi$  для подобранных интервалов поперечного импульса для триггерных  $\rho_t^{trig}$  и связанных частиц  $\rho_t^{assoc}$ . Изучение ридж-эффекта методом максимальных поперечных импульсов  $\rho_t^{max}$ , что является глобальной характеристикой всего события, позволяет более наглядно описать струйную и потоковую составляющие на карте распределения.

## Секция 1. Ядерная физика

### АНАЛОГОВЫЙ СПЕКТРОМЕТР ГАЗОНАПОЛНЕННОГО СЕПАРАТОРА ЯДЕР ОТДАЧИ ГНС-2 - ПЕРВЫЕ ОНЛАЙН ТЕСТЫ

Ибадуллаев Д.А.<sup>1,2</sup>, Цыганов Ю.С.<sup>1</sup>, Поляков А.Н.<sup>1</sup>, Воинов А.А.<sup>1</sup>, Шлаттауэр Л.<sup>1,3</sup>,  
Субботин В.Г.<sup>1</sup>, Соловьев Д.И.<sup>1</sup>, Шумейко М.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория ядерных реакций, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия  
<sup>2</sup> Институт ядерной физики, Министерство энергетики Республики Казахстан, Алма-ата, Казахстан  
<sup>3</sup> Университет Палацкого, Дубна, Россия; Оломоуц, Чехия

Для регистрации редких событий альфа распада в экспериментах по синтезу сверхтяжёлых ядер на новом газонаполненном сепараторе ГНС-2, создан аналоговый спектрометр на основе:

- 48x128 стрипового *DSSD* детектора *Micron Semiconductor*(UK);
- 16-ти входного блока *АДП-16* (Техинвест, свободная экономическая зона «Дубна»);
- газонаполненных камер низкого давления;
- программного *Builder C++* пакета *RedStorm#2*;
- гибкого алгоритма реального времени для поиска в реальном масштабе времени корреляций  $E_{\nu R-\alpha}$  и радикального подавления фона продуктов, связанного с работой циклотрона ДЦ-280 ЛЯР ОИЯИ.

После проверочных тестов на источнике альфа частиц, спектрометр был применен на пучках тяжелых ионов во время первых экспериментов на сепараторе ГНС-2 и ускорителе ДЦ-280 ЛЯР ОИЯИ в реакциях полного слияния  $^{nat}Yb + ^{48}Ca$ ,  $^{243}Am + ^{48}Ca$  и других.

Приводятся спектры распада регистрируемых нуклидов, факторы подавления заряженных частиц камерами  $\Delta E_1$  и  $\Delta E_2$  (по совокупности, принцип ИЛИ). Рассмотрены некоторые программы обработки файлов.



## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ТОНКИХ ПЛЕНОК $\text{CuBi}_2\text{O}_4$

Гаранин Ю.А.

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

В последнее время большое внимание уделяется исследованиям, направленным на изучение свойств пленок и защитных покрытий, использующихся в качестве основы для повышения износостойкости и механической прочности, а также защите от внешних воздействий, таких как ионизирующее излучение, агрессивные среды и т.д.

Одними из перспективных материалов в данном направлении являются композитные структуры на основе  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ , обладающие высокими прочностными характеристиками, а также повышенной радиационной и термической устойчивостью к внешним воздействиям.

Исходные образцы представляют собой поликристаллические структуры  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ , обладающие достаточно высокой степенью структурных упорядочений (более 94 %) и малой деформацией структуры, которая обусловлена процессами формирования кристаллической решетки, а также разницей в атомных размерах элементов. Анализ эволюции дифракционных картин исследуемых пленок толщиной 3 мкм в зависимости от дозы облучения показал, что при дозах облучения  $1 \times 10^{14}$ - $1 \times 10^{15}$  ион/см<sup>2</sup> наблюдается не только снижение интенсивности дифракционных пиков и смещение максимумов в область малых углов, свидетельствующее об увеличении деформации структуры, но и появление пиков характерных для гранцентрированной фазы меди, концентрация которой увеличивается с флюенсом облучения. Появление новой примесной фазы для образцов обусловлено тем, что в процессе облучения большими флюенсами наблюдается резкое увеличение плотности областей перекрывания дефектов, а также вторичных дефектов. При этом малая толщина пленок (3 мкм), для которой наблюдается максимум ионизационных потерь приводит к тому, что энергетические потери ионов в данной области максимальны, что приводит к большим разупорядочениям структуры, основными механизмами которых являются баллистическое смещение и каскадное перемешивание (преобладает при больших дозах облучения). Смещение атомов из узлов решетки происходит за счет быстрой передачи энергии атомом налетающим ионом, при этом имеют случайный характер. В силу разных весовых пропорций и ионных радиусов в структуре  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  атомы меди имеют большую подвижность в структуре, что приводит к их большому смещению и частичному разрыву химических и кристаллических связей. При этом увеличение дозы облучения приводит к возникновению каскадов дефектов плотность энергии, в которых может варьироваться от  $10^{-3}$  до  $5^{-10}$  эВ/атом, что приводит к их перекрытию и увеличению степени разупорядочения структуры.

## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### ОПЫТ ПОЛУЧЕНИЯ БЕРИЛЛИДОВ ТИТАНА И ХРОМА НА АО «УМЗ»

Головков Н.И., Ударцев С.В., Вечкутов А.Н., Подойников М.А., Кылышканов М.К

Интерметаллиды бериллия представляют значительный научно-практический интерес, поскольку большинство из этих соединений обладают высокими температурами плавления, низкой плотностью, повышенной твердостью, а также специфическими ядерными свойствами, что делает данные материалы пригодными для применения в ядерных технологиях и экстремальных условиях.

Для получения интерметаллидов бериллия используются методы пирометаллургии и порошковой металлургии.

АО «Ульбинский металлургический завод» ведет исследования по получению бериллидов. Так, в Научном центре АО «УМЗ» по заказу университета Карлсруэ (Германия) были проведены испытания по получению бериллида титана различными методами. Полученная при литье заготовка имела множество дефектов: усадочные раковины, трещины и др. Методами порошковой металлургии был изготовлен прототип бланкета размножителя нейтронов из бериллида титана  $\text{Be}_{12}\text{Ti}$  для термоядерного реактора ДЕМО. Полученный образец имеет плотность 97,8 % от теоретической и средний размер зерна 5-10 мкм.

Другим материалом, рассматриваемом в качестве прототипа бланкета, является бериллид хрома  $\text{Be}_{12}\text{Cr}$ . Основной задачей при изготовлении бериллидов является достижение заданной плотности и точное соблюдение пропорций для получения заданного соединения. Блок из бериллида хрома был изготовлен методами порошковой металлургии. Полученное изделие согласуется с теоретическими данными, а металлография показала отсутствие пор в заготовке.

## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### СИНТЕЗ ЛИТИЙСОДЕРЖАЩИХ КЕРАМИК $Li_xTi_{1-x}O_3$

Дюсамбаев А.К.

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Как известно, в современном мире огромное внимание уделяется способам получения и изучению свойств оксидных, нитридных керамик, перовскитов или перовскитоподобных структур, в состав которых могут входить магнитные или редкоземельные элементы, оптически активные элементы, наночастицы и т.д. Интерес к ним обусловлен широким потенциалом применимости их в оптических устройствах, литий-ионных аккумуляторах и устройствах передачи энергии, полупроводниковых устройствах, ядерной энергетике в качестве конструкционных материалов или материалов-бланкетов, космической технике и т.д. В качестве метода получения литий-содержащих керамик  $Li_xTi_{1-x}O_3$  с различной вариацией лития и титана был выбран метод твердофазного синтеза. После смешивания и перемалывания полученные образцы подвергались термическому отжигу в кислородосодержащей атмосфере при температуре 1000°C в течение 5 часов. Остывание образцов производилось вместе с муфельной печью до достижения комнатной температуры.

Анализ РЭМ-изображений синтезированных образцов показал, что в случае, когда концентрация  $X=0.1-0.2$ , зерна имеют форму кубиков или многогранников неправильной формы, которые образуют агломераты, состоящие из 10-30 зерен, объединенных в один агломерат. Увеличение концентрации до  $X=0.3-0.4$  приводит к визуально различимому увеличению размеров зерен, а также изменению их формы. При этом в структуре агломератов наблюдаются формирования мелких сфероподобных зерен вокруг более крупных ромбических или кубических зерен. В случае, когда  $X=0.5$  наблюдается образование сферических или вытянутых сфероподобных зерен образующих агломераты из 5-10 частиц. Подобное изменение формы зерен, а также их размеров может быть связано с изменением фазового состава в результате изменения концентрации  $X$ .

## **Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NANOPARTICLES DOPED WITH Gd: PHASE TRANSFORMATIONS AS A RESULT OF THERMAL ANNEALING AND BIOCOMPATIBILITY**

Yegizbek K.B.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Astana Branch of the Institute of Nuclear Physics, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

In recent years, interest in iron-containing nanoparticles, despite a large number of studies in this area, continues to grow rapidly, since they have a number of properties that allow them to be used in various fields of science. Particular attention is attracted by magnetite nanoparticles, since they are biocompatible and resistant to degradation and corrosion since these are key conditions for the applicability of nanoparticles in targeted delivery of drugs or biomedical purposes. At the same time, magnetite nanoparticles have large specific surface area. Structural modification of iron nanoparticles allows their effective use in hyperthermia. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles were obtained in two stages: chemical synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles and mechanochemical mixing of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and Gd(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> in equal proportions. Then the samples were annealed in the temperature range of 400-800°C.

The purpose of this work is to study the effect of the phase composition of the synthesized Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles on the efficiency of using magnetic hyperthermia as a basis for experiments. This class of structures is one of the most promising materials for biomedical applications and magnetic resonance imaging. During the study, the dynamics of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> → Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/GdFeO<sub>3</sub> → GdFeO<sub>3</sub> nanoparticles phase transformations depending on the annealing temperature was established. It was determined that predominance of GdFeO<sub>3</sub> phase in the nanoparticles structure results into an increase in their size from 15 to 40 nm. However, during degradation and corrosion resistance experiments, it was found that GdFeO<sub>3</sub> nanoparticles have the highest corrosion resistance. Within hyperthermal tests, it was found that a change in the phase composition of nanoparticles leads not only to an increase in the heating rate of nanoparticles, but also to an increase in the specific absorption value, which indicates a large amount of heat released per unit time in the local region. Cytotoxicity tests of the synthesized nanoparticles were carried out via the interaction of nanoparticles with pancreatic cancer cells. It was found that all synthesized nanoparticles have low toxicity and do not cause violent cell death.

## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ДВОЙНЫХ ФОСФАТОВ И ВАНДАТОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ибрагимов Ш.Б., Бабажанов Б.А.

Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан.

Получение новых неорганических соединений с оптимальными диэлектрическими свойствами, является актуальной проблемой, так как на базе традиционно применяемых многокомпонентных составов, на основе механических смесей простых, двойных соединений и их твердых растворов, не удастся удовлетворить растущие требования промышленности, предъявляемые к материалам электроники, в том числе и по воспроизводимости, стабильности физических свойств.

Двойные ванадаты фосфаты, калия - РЗЭ. Двойные соединения  $K_3Ln(VO_4)_2$  из этого типа комплексов изучены наиболее подробно. Уже первые рентгенографические исследования, порошковым методом показали, что все эти соединения построены на тригональной основе.

Соединения можно разделить на три структурных типа:

1. К первому структурному типу относятся двойные фосфаты калия лютеция и калия-скандия. При этом, происходит увеличение элементарной ячейки глазерита в три раза. В этой структуре атомы лютеция дифференцированы по двум позициям с локальной симметрией  $C_3$  и  $C_{3'}$ , причем каждый из них координирует шесть атомов кислорода по октаэдру. Кристаллическая структура  $K_3Sc(PO_4)_2$  представляет собой несколько деформированную глазеритовую постройку, причем основная причина ее искажения некоторый наклон фосфатного тетраэдра (точечная симметрия  $C_i$ ) на оси третьего порядка исходной структуры.

2. Ко второму структурному типу относятся соединения, изоструктурные  $K_3Yb(PO_4)_2$ . Они характеризуются моноклинным искажением решетки  $K_3Ln(PO_4)_2$  с увеличением объема ячейки в восемь раз. К этому типу принадлежат двойные фосфаты  $Gd-Yb$ .

3. Структурный тип  $K_3Nd(PO_4)_2$ . Кристаллическая структура этого соединения расшифрована полностью по данным, полученным на монокристалле. Основными структурными единицами этого фосфата являются изолированные  $PO_4$ -тетраэдры и десятигранники  $NdO_7$ . Каждые  $PO_4$ -тетраэдр связывается с тремя атомами неодима, а каждый атом неодима с шестью тетраэдрами  $PO_4$ , образуя двумерные сетки  $\{Nd(PO_4)\}_{2x}$  в плоскости  $ab$ . При этом имеются два типа тетраэдров  $PO_4$ . Атом  $P(I)$  через два атома  $O$  соединяется с атомом  $Nd$  по общему ребру; через два других атома кислорода осуществляются связь  $P(I)$  с другими двумя атомами неодима по общим вершинам, а оставшийся атом кислорода связывается с калием. Ионность связи  $K-O$  много выше ионности связей  $Nd-O$  и  $P-O$ , так что атом калия может, рассматриваться в качестве своеобразного наполнителя, который не играет структурообразующей роли.

**Структура типа  $K_3Ln(VO_4)_2$ .** Рентгенофазовый анализ проводили для всех образцов от  $La$  до  $Lu$ . Как правила, эти образцы были однофазными, и лишь иногда на рентгенограммах наблюдали слабые линии, идентифицированные, как рефлексы средних ванадатов  $LnVO_4$ . Их количество не превышало 1%, что для реального неорганического материала является незначительным загрязнением. В процессе получения образцов иногда отмечалось изменение их цвета за счет восстановления ванадия до четырехвалентного состояния. Такое спонтанное восстановление известно в литературе и было, в первые, обнаружено в процессе модифицирования фосфатных стекол соединениями ванадия. Несмотря на рентгенографически благополучную картину такие образцы выбрасывались. Цвет образца, как, правило, определяется окраской соединений соответствующего иона. Контроль за однофазностью проводился путем сравнения рентгенографической картины с данными. Литературные данные по чистым двойным ванадатам ограничены соединениями  $K_3Ln(VO_4)_2$ , где  $Ln$  представлен элементами от  $Gd$  до  $Lu$ . Вначале представлялось, что соединения, отвечающие элементам начала редкоземельного ряда ( $La$ ,  $Pr$ ,  $Nd$  и  $Sm$ , особенно  $Sm$  и  $Eu$ ) также должны входить в группу, относящуюся к структурному типу  $K_3Ln(VO_4)_2$ . Элементарные ячейки этих соединений являются моноклинно-искаженными, по отношению к исходной решетке глазерита  $K_3Na(SO_4)_2$ , причем, объем последней, увеличивается в 2 раза. Тем не менее, уже предлагалось различать две подгруппы, отличающиеся углом моноклинности: подгруппу  $K_3Lu(VO_4)_2$  и подгруппу  $K_3Dy(VO_4)_2$ . Что касается рентгенофазовых данных по нашей керамике, то действительно, для керамике на основы ванадатов элементов от  $Ho$  до  $Lu$  данные полностью совпадают с литературными, как по межплоскостным расстояниям, так и по интенсивностям. Расчитанные параметры решеток также не отличаются от литературных. Сложнее обстояло дело с ванадатами начала ряда. Образцы на основе ванадатов  $Sm$ ,  $Eu$ ,  $Gd$ ,  $Tb$ ,  $Dy$  давали похожую, но не идентичную опубликованную рентгенографическую картину.

## **Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов**

Таким образом, двойные соединения редкоземельных элементов со щелочными металлами являются перспективными неорганическими материалами. Они ценны тем, что внутри большой группы однотипных соединений позволяют тонко менять выходные физико-химические параметры, из-за вклада редкоземельных ионов.

## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### СИНТЕЗ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ $\text{CuBi}_2\text{O}_4$

Калиекперов М.Е.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Астанинский филиал Института ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup> Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Материалы, эксплуатируемые в аэрокосмической промышленности, на атомных электростанциях и других объектах ядерной промышленности, должны выдерживать радиационную среду, которая имеет ключевое значение для их безопасности и сроков службы. В последние годы все большее внимание притягивают к себе тонкопленочные материалы на основе полимеров, которые могут быть использованы в качестве защитных покрытий от разрушающего воздействия ионизирующего излучения.

В данной работе рассмотрено влияние времени синтеза на фазовый состав и морфологию поверхности синтезированных тонкопленочных покрытий на основе  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  методами АСМ и ЭДА. Данные покрытия были получены методом электрохимического осаждения при напряжении 3.5В и временем осаждения от 10 до 90 минут с шагом 10 минут. Выбор элементов висмута в сочетании с медью обусловлен возможностью получения структур с разными фазами, которые могут существенно влиять на устойчивость к внешним воздействиям. В качестве подложки были использованы полимерные пленки, позволяющие получать тонкопленочные покрытия, изотропные по толщине и составу, благодаря своим адгезионным свойствам.

Анализируя полученные результаты АСМ, был установлен трехэтапный характер роста пленок. В частности, первая фаза характеризуется формированием крупных агломератов зерен сфероподобной формы. Далее происходит заполнение межзеренного пространства и перекрывание зерен. Завершающей стадией роста тонких пленок является выравнивание поверхности и дальнейшее формирование новых неоднородностей меньших размеров. Энергодисперсионный анализ показал, что соотношение меди и висмута практически не изменяется с увеличением времени осаждения, за исключением промежутка от 30 до 50 минут. Очевидно, это обусловлено изменением морфологии проводящей поверхности (образование агломератов), что приводит к небольшим локальным изменениям поля и плотности тока. При этом стоит отметить, что осаждение металлов происходит равномерно по всей поверхности

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В $ZrO_2$ КЕРАМИКАХ

Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Алин М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Астанинский филиал Института ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup> Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

На сегодняшний день, среди оксидных керамик, таких как  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $BeO$ ,  $MgO$ ,  $ThO_2$ , особый интерес вызывают керамики  $ZrO_2$ , которые обладают более высокими показателями механических и прочностных характеристик, отличными оптическими свойствами и устойчивостью к различным внешним воздействиям, включая радиационные повреждения. Благодаря этим свойствам керамики  $ZrO_2$  являются одним из перспективных материалов для инертных матриц ядерного топлива, хранения радиоактивных отходов, а также конструкционных материалов. При этом, в случае применения  $ZrO_2$  керамик в качестве конструкционных материалов, особое внимание должно быть уделено фазовым полиморфным превращениям в керамиках, так как, известно, что  $ZrO_2$  имеет несколько фаз, которые способны превращаться одна в другую в результате внешних воздействий.

Работа посвящена исследованию влияния облучения тяжелыми ионами  $Kr^{15+}$  и  $He^{23+}$  с энергиями 147 и 220 МэВ, соответственно, на изменение оптических, структурных и прочностных свойств керамик  $ZrO_2$ . В качестве объекта исследований были выбраны поликристаллические керамики  $ZrO_2$  с тетрагонального типа кристаллической структуры, обладающие высокой устойчивостью к внешним воздействиям, механической прочностью к растрескиванию и твердостью. Выбор тяжелых ионов  $Kr^{15+}$  и  $He^{23+}$  обусловлен возможностью моделирования воздействия осколков деления ядер в атомном реакторе, а выбор доз облучения  $1 \times 10^{13}$  -  $1 \times 10^{14}$  ион/см<sup>2</sup> обусловлен возможностью моделирования эффектов перекрывания дефектных областей, возникающих вдоль траектории движения ионов в материале. С применением метода рентгеновской дифракции установлено, что в случае облучения тяжелыми ионами, увеличение дозы облучения приводит к фазовым превращениям тетрагонального типа кристаллической решетки в кубическую. При этом для образцов облученных ионами  $He^{23+}$  при дозе облучения  $1 \times 10^{14}$  ион/см<sup>2</sup> наблюдается практически полное фазовое превращение. Установлены зависимости изменения прочностных и оптических характеристик от типа облучения и дозовой нагрузки.



**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ WO<sub>3</sub> МИКРОЧАСТИЦ**

Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Алина А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Астанинский филиал Института ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup> Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Работа посвящена изучению возможности применения низкоэнергетического облучения ионами гелия для повышения фотокаталитической активности WO<sub>3</sub> микрочастиц, в случае использования их в качестве катализаторов для разложения Родамина В. Перспективность данного исследования заключается в поисках новых путей решения проблемы повышения каталитической активности микро- и наночастиц.

Новизна данного исследования заключается в расширении возможностей применения ионизирующего излучения в качестве одного из методов модификации нано- и микроматериалов, а также возможности повышения эффективности фотокаталитических свойств оксидных микро- и наночастиц. При этом выбор в качестве основы для фотокатализаторов коммерческих WO<sub>3</sub> микрочастиц обусловлен большим количеством перспективных исследований, направленных не только на изучения структурных, оптических и электронных свойства WO<sub>3</sub> микро- и наночастиц, но и поиску способов модификации их свойств с помощью различных методов, включающих и облучение ионизирующим излучением.

В ходе исследования установлены зависимости изменения структурных и морфологических свойств исследуемых микрочастиц подверженных облучению, а также изучено влияние облучения на повышение эффективности разложения органического красителя Родамина В в водных средах при облучении УФ-излучением. Установлено, что применение облучения ионами гелия приводит к повышению не только скорости фотокаталитических реакций, но и степени минерализации, а также эффективности удаления COD из водных растворов. Циклические испытания показали устойчивость модифицированных микрочастиц к деградации, а также сохранению эффективности разложения, при снижении степени минерализации после 10 циклов испытаний на 30 %. При этом в отличие от исходных микрочастиц, ионная модификация приводит к увеличению устойчивости структуры к временной деградации в процессе циклических испытаний.

### ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В $\text{CeO}_2$ МИКРОЧАСТИЦ

Рспаев Р.М.<sup>1</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Астанинский филиал Института ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан

Как известно микрочастицы  $\text{CeO}_2$  представляют огромный интерес для ядерной и альтернативной энергетики в качестве элементов конструкционных материалов. Интерес к  $\text{CeO}_2$  обусловлен возможностью его применения в качестве основы для твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) за счет высокой ионной проводимости в широком интервале рабочих температур 400-800°C. Также структуры диоксида церия обладают высокой электронной проводимостью при низком давлении, что делает их одним из наиболее перспективных материалов для ТОТЭ элементов и основы топливных ячеек. Высокая ионная и электронная проводимость, а также устойчивость к деградации и коррозии делает  $\text{CeO}_2$  одним из перспективных материалов для катализаторов, огнеупорных и пиррофорных керамик и сплавов применяемых в ядерной промышленности и конструкционных материалов.

Использование микрочастиц  $\text{CeO}_2$  в качестве допируемых элементов в керамиках или основы для твердооксидных топливных элементов накладывает дополнительные условия на радиационную стойкость к деградации и набуханию микрочастиц под действием облучения. В связи с чем, представляет особый интерес изучение процессов накопления дефектов и их дальнейшая эволюция в микрочастицах  $\text{CeO}_2$  при больших дозах облучения ионами гелия. Выбор диапазона доз  $10^{15}$ - $10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> обусловлен большой вероятностью формирования агломератов гелиевых включений в структуре микрочастиц, что может привести к их деградации и разрушению.

В ходе исследования установлено, что в отличие от исходных сферических микрочастиц, облученные микрочастицы представляют собой смесь спекшихся сфероподобных агломератов, с пористыми включениями. Согласно данным энергодисперсионного анализа увеличение флюенса облучения приводит к увеличению содержания кислорода и неравномерному его распределению по структуре, что приводит к нарушению стехиометрии исследуемых микрочастиц. Установлено, что смещение атомов из узлов решетки в результате облучения, а также последующая их миграция приводит к изменению межплоскостных расстояний и возникновению искажений и деформаций кристаллической решетки. Согласно данным рентгеновской дифракции изменения кристаллической структуры исследуемых микрочастиц связаны с деформацией и искажением кристаллической структуры в результате миграции дефектов и увеличению вакансионной плотности кислородных дефектов, а также частичному набуханию кристаллической структуры.

### ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РАДИАЦИОННОЙ МОДИФИКАЦИИ $ZnCo_2O_4$ НАНОСТРУКТУР

Зикирина А.<sup>1</sup>, Кадыржанов К.К.<sup>1</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Астанинский филиал Института ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан

Одним из перспективных наноматериалов среди металлооксидов или шпинельного типа структур являются наноструктуры соединения  $ZnCo_2O_4$ , которые могут совмещать в себе как магнитные свойства, так и полупроводниковые, что позволяет их применять как в микроэлектронике, так и в качестве анодных материалов для литий-ионных батарей, фотокатализаторах, сенсоров и т.д. Сама по себе шпинельная структура  $ZnCo_2O_4$  позволяет получать нанообъекты с хорошей проводимостью и магнитной восприимчивостью и малой коэзитивностью. Однако, не смотря на уникальность свойств  $ZnCo_2O_4$  наноструктур, существует несколько серьезных ограничений связанных с их получением с высокой степенью структурных упорядочений, низкой концентрацией аморфноподобных включений и малой концентрацией дефектов, а также хорошими механическими и прочностными свойствами.

В последние годы особое внимание уделяется изучению возможности применения ионизирующего излучения для модификации свойств наноматериалов. Основной целью этих исследований является исследование процессов эволюции дефектов сформированных при взаимодействии налетающих частиц с наноструктурами, которое имеет существенное различие с процессами дефектообразования в массивных материалах. В данной работе рассмотрено влияние облучения тяжелыми ионами  $O^{2+}$  (28 MeV),  $Kr^{15+}$  (147 MeV),  $He^{22+}$  (225 MeV) структурные и проводящие свойства  $ZnCo_2O_4$  нанопроволок, полученных методом электрохимического синтеза. Флюенс облучения подбирался с учетом возможности моделирования возникновения одиночных точечных дефектов и их последующая эволюция ( $10^{10}$  ион/см<sup>2</sup>), а также эффекта перекрытия дефектных областей образованных при прохождении ионов в кристаллической структуре ( $10^{12}$  ион/см<sup>2</sup>). В ходе исследования установлено, что при малых флюенсах облучения для всех ионов наблюдается частичный отжиг структурных дефектов, обусловленный облучением. При этом применение тяжелых ионов  $He^{22+}$  при малом флюенсе облучения позволяет существенно изменить структурные и проводящие свойства нанопроволок, а также значительно увеличить скорость фотокаталитической реакции разложения органических красителей. В случае больших доз облучения, эффекты перекрытия дефектных областей для ионов  $O^{2+}$  и  $Kr^{15+}$  приводят к увеличению степени структурных упорядочений, однако для ионов  $He^{22+}$  наблюдается деградация материала, обусловленная разрушением кристаллических связей. Представленные результаты позволят внести существенный вклад в развитие технологии применения ионизирующего излучения для модификации свойств наноматериалов, путем снятия структурных искажений и деформаций малыми дозами облучения.

### СИНТЕЗ И СВОЙСТВА CoCdSe ТОНКИХ ПЛЕНОК

Омарова А.<sup>1</sup>, Кадыржанов К.К.<sup>1</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Астанинский филиал Института ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан

Среди многообразия различных типов полупроводниковых структур  $A^{II}B^{VI}$  отдельно выделяют тонкие пленки, толщина которых варьируется от нескольких нанометров до нескольких микрон. При этом среди всего многообразия методов получения тонких пленок, использование метода гальванического осаждения или электрохимического восстановления ионов металлов из растворов электролита является одним из наиболее перспективных методов получения. Данный метод позволяет получать структуры с заданным стехиометрическим составом, но и достаточно простым способом его контроля, путем изменения условий синтеза, таких как разность прикладываемых потенциалов, температура электролита и т.д. Однако основным преимуществом данного метода является возможность допирования тонких пленок магнитными элементами такими как кобальт, никель, которые оказывают существенное влияние не только на структурные и оптические свойства, но и дают возможность получения структур типа “core-shell”. В работе представлены результаты исследования влияния разности прикладываемых потенциалов на свойства тонких пленок на основе CoCdSe. Показано, что применение гальванического метода осаждения позволяет не только управлять толщиной синтезируемых пленок путем изменения разности прикладываемых потенциалов, но и изменять стехиометрический и фазовый состав тонких пленок. Установлено, что увеличение разности прикладываемых потенциалов приводит к доминированию фазы CoSe в структуре тонких пленок, приводящей к структурным упорядочениям и снижению дислокационной плотности дефектов и увеличению плотности тонких пленок. Установлено, что формирование фазы CoSe в структуре тонких пленок и ее последующее увеличение приводит к смещению ширины запрещенной зоны с 3.5 эВ до 3.8 эВ. Изменение величины ширины запрещенной зоны, обусловлено изменением фазового состава, а также стехиометрией тонких пленок, с преобладанием кадмия в структуре. Показана перспективность применения тонких пленок на основе CoCdSe в качестве основы для фотокаталитических реакций.

## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ КЕРАМИК SiC

Омарова А.<sup>1</sup>, Кадыржанов К.К.<sup>1</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Астанинский филиал Института ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан

Среди многообразия керамических материалов наиболее перспективным считается карбид кремния и различные его структурные модификации, интерес к которым обусловлен структурными и механическими характеристиками, а также широким спектром применения его в различных отраслях промышленности и техники. Однако работ посвященных изучению механических изменений приповерхностного слоя в результате облучения встречается достаточно мало, не смотря на огромный интерес к данной теме. На основании вышесказанного, основной целью данной работы изучить влияния деградации приповерхностного слоя SiC керамики на механические и прочностные свойства, в результате накопления дефектов при облучении.

В работе представлены результаты исследования влияния облучения тяжелыми ионами  $\text{Xe}^{22+}$  с энергией 440 кэВ и флюенсами облучения  $10^{14}$ ,  $5 \times 10^{14}$ ,  $10^{15}$  ион/см<sup>2</sup> на свойства керамик на основе карбида кремния (SiC). Выбор типа облучения и дозовой нагрузке обусловлен возможностью моделирования радиационных повреждений приповерхностного слоя толщиной 200 нм в результате эффекта перекрывания дефектных областей. Научная новизна полученных результатов заключается в систематических исследованиях устойчивости механических и прочностных свойств приповерхностного слоя карбидных керамик к радиационному повреждению. В ходе проведенных исследований установлено, что в случае облученных керамик глубина повреждений превышает расчетную длину пробега ионов на 20-30% в зависимости от флюенса облучения. Основным механизмом радиационных повреждений является увеличение дислокационной плотности дефектов и образованием областей разцпорядочения в случае больших доз. В результате моделирования процессов ускоренного старения установлено, что для облученных образцов снижение величины трещиностойкости не превышает 10 %. Проведенные исследования показывают высокие значения устойчивости керамик карбида кремния к радиационным повреждениям приповерхностного слоя.

## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### ВЛИЯНИЕ ДОПИРОВАНИЯ ОКСИДАМИ ГАЛЛИЯ И ИНДИЯ НА ЭКРАНИРУЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКОЛ $0.5\text{TeO}_2-(0.5-2x)\text{MoO}_3-x\text{Ga}_2\text{O}_3-x\text{In}_2\text{O}_3$

Алмасбек А.<sup>1</sup>, Кадыржанов К.К.<sup>1</sup>, Козловский А.Л.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Школа-лицей № 60, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>3</sup>Астанинский филиал Института ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан

Как известно, ежегодно область применения источников ионизирующего излучения расширяется и охватывает все большие сферы жизнедеятельности человечества, включающие в себя как прямое воздействие ионизирующего излучения, так и косвенное. При этом длительное воздействие ионизирующего излучения на живой организм может оказать существенное губительное воздействие, вплоть до летального исхода. В связи с этим, вопрос защиты и экранирования пагубного воздействия ионизирующего излучения является одним из наиболее актуальных и важных на сегодняшний день для различных исследовательских групп.

Ключевой целью данной работы является всестороннее изучение эффективности допирования оксидами галлия и индия теллуридных стекол на изменения оптических и экранирующие гамма-излучение характеристики. В качестве исследуемых объектов были выбраны  $0.5\text{TeO}_2-(0.5-2x)\text{MoO}_3-x\text{Ga}_2\text{O}_3-x\text{In}_2\text{O}_3$  с различной концентрацией допантов, которая варьировалась от 0.05 до 0.15 мол. %. В качестве методов исследования были применены энерго-дисперсионный анализ, рентгеноструктурный анализ, метод UV-Vis спектроскопии. Экранирующие гамма-излучение характеристики были определены для двух типов источников  $\text{Co}^{57}$  (137 кэВ) and  $\text{Cs}^{137}$  (660 кэВ). С применением методов энергодисперсионного анализа было установлено, что увеличение концентрации допантов приводит к частичному вытеснению кислорода из структуры стекол, а также увеличению плотности от 3 до 10 %. Анализ оптических характеристик синтезированных стекол показал, что увеличение концентрации допантов приводит к изменению величины пропускания, а также ширины запрещенной зоны и оптических характеристик. При этом с увеличением концентрации допантов наблюдается формирование дополнительных полос поглощения. Из оценки экранирующих характеристик можно сделать следующий вывод о том, что увлечение концентрации допантов позволяет уменьшать толщину для эффективного экранирования гамма-излучения, а также существенно повышает эффективность экранирования.

## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ РАСПУХАНИЯ В AlN КЕРАМИКАХ

Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Астанинский филиал Института ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup> Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

В последние годы особый интерес представляют керамические материалы на основе нитридов, которые обладают огромным потенциалом применения в качестве основы конструкционных материалов. При этом большое внимание уделяется процессам изучения радиационных повреждений и механизмов эволюции радиационных дефектов, вызывающих необратимые структурные изменения, снижающие эксплуатационные характеристики материалов.

Целью данной работы является исследование механизмов радиационных повреждений и гелиевого набухания в керамике на основе нитрида алюминия, вызванных облучением низкоэнергетическими ионами  $\text{He}^{2+}$  с энергией 40 кэВ и дозами облучения  $1 \times 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> –  $1 \times 10^{18}$  ион/см<sup>2</sup>. Выбор доз характерен для формирования больших концентраций дефектов и их эволюции, способной привести к большим разрушающим последствиям. В ходе проведенных исследований получены зависимости изменения структурных, морфологических и прочностных характеристик от дозы облучения. Установлены критические значения доз облучения ( $3-5 \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>) для которых степень радиационных повреждений резко увеличивается. Накопление имплантированного гелия в структуре керамик приводит к образованию кластерных дефектов типа He-V, способных укрупняться и образовывать агломераты. Установлено, что наибольшее проявление гелиевых агломератов в виде больших газонаполненных пузырьков или областей разупорядоченности, вызывающих деформацию структуры наблюдается при накоплении дозы выше  $1 \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>. Выше данной дозы облучения, которой характерно накопление концентрации имплантированного гелия 0.01-0.03 ат. %, происходит резкое увеличение концентрации мелких пузырьков и их последующее укрупнение, которое и приводит к набуханию и частичному охрупчиванию в результате увеличения давления в пузырьках.

## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ НАСЫЩЕНИЯ НА КИНЕТИКУ ДЕСОРБЦИИ ГЕЛИЯ ИЗ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ 12X18H10T

Акаев С.О.<sup>1,2</sup>, Диков А.С.<sup>1</sup>, Фирсова В.В.<sup>1</sup>, Партыка Я.<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Институт ядерной физики Министерства энергетики Республики Казахстан, Алматы, Казахстан.

<sup>2</sup>Satbayev University, Алматы, Казахстан.

<sup>3</sup>Люблинский технический университет, Люблин, Польша.

Приведены результаты сравнительных исследований кинетики десорбции гелия при линейном нагреве образцов аустенитной нержавеющей стали 12X18H10T насыщенных разными способами: облучение на ускорителе ДЦ-60 Астанинского филиала ИЯФ, реакторах ВВР-К и БН-350.

Облучение на ускорителе проводилось на низкоэнергетическом канале двухзарядными ионами гелия с энергией 22.5 кэВ/заряд, т.е. полный заряд альфа-частицы равен 45 кэВ. Температура облучения не превышала 473 К. Флюенс  $\alpha$ -частиц составил  $1 \cdot 10^{18}$  ион/см<sup>2</sup> [1].

Насыщение образцов в реакторе ВВР-К проводилось в наполненных гелием ампулах при температуре 1033 К. Давление гелия при облучении не превышало атмосферного. Флюенс за время облучения составил  $9 \cdot 10^{23}$  н/м<sup>2</sup>, что составляет  $\sim 1$  смещения на атом (сна), при плотности нейтронного потока ( $E > 0,1$  МэВ)  $7.6 \cdot 10^{16}$  н/(с·м<sup>2</sup>) [2].

В качестве образцов для исследования, облученных в реакторе БН-350, были использованы образцы, вырезанные из граней чехла ОТВС Н-214 с разных отметок по высоте сборки относительно центра активной зоны реактора. Доза облучения исследуемых образцов составляла  $\sim 2$  и  $\sim 15$  сна, температура облучения 673 и 610 К соответственно [3].

Проведенные исследования термодесорбции гелия показали, что кинетика его выделения из образцов, облученных ионами, т.е. при одновременном введении в сталь гелия и радиационных дефектов, отлична от кинетики выделения гелия из образцов, облученных в реакторах. На спектрах термодесорбции образцов насыщенных гелием при реакторном облучении пики интенсивного выделения гелия из стали расположены в низкотемпературной области, до 680 К, в то время как основное выделение гелия, имплантированного в сталь при ионном облучении, происходит при более высокой температуре  $\sim 823$  К. По всей вероятности, это связано с особенностями его подвижности и удержания на дефектах структуры. Игнорирование этих особенностей может привести к некорректной трактовке результатов при проведении имитационных исследований, воспроизводящих реакторное облучение.

#### Список литературы

1. С.Б. Кислицин, И.Д. Иванов, А.С. Диков, Г.З. Ганеев. Блистеринг и накопление гелия в нержавеющей стали 12X18H10T, чистых металлах вольфраме и молибдене, индуцированные облучением низкоэнергетическими альфа-частицами // Изв. вузов. Физика. 2018. №8/2. С. 68–73.
2. S.B. Kislitsin, A.S. Dikov, I.V. Khromushin, A.S. Larionov, S.O Akayev. Comparative studies of helium accumulation in structural austenitic steel implanted by low-energy alpha particles and neutron-irradiated in helium environment // ВЕСТНИК КазННТУ. 2019. №1. С. 132–136
3. А.С. Диков, В.В. Киреев, А.П. Горцев, С.Б. Кислицин, А.Ю. Нестерова. Ползучесть стали 12X18H10T – материала чехлов отработанных тепловыделяющих сборок реактора БН-350 в условиях, моделирующих длительное хранение отработанного ядерного топлива // ВЕСТНИК НЯЦ. 2011. №3. С. 77–82



## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ НА ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Ердаулетов М.<sup>2,3</sup>, Напольский Ф.<sup>1</sup>, Авдеев М.<sup>1,2</sup>, Иванов А.<sup>2</sup>, Кривченко В.<sup>1</sup>

<sup>[1]</sup> Государственный Университет «Дубна», Дубна, Московская обл., Россия

<sup>[2]</sup> Лаборатория нейтронной физики, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Московская обл., Россия

<sup>[3]</sup> Евразийский Национальный университет им Л.Н.Гумилева  
E-mail: meyr2008@mail.ru

Ограниченный запас ископаемых источников энергии, а также повсеместное ухудшение экологической обстановки, приводит к необходимости увеличения доли потребления возобновляемой энергии и к неизбежному использованию электрических приводов для транспортных средств. Широкое использование возобновляемых источников энергии и электрических транспортных средств ограничивает отсутствие высокоёмких и энергоэффективных накопителей энергии, среди которых перезаряжаемые химические источники тока (ХИТ) занимают важное место. В области «зелёной» энергетики ХИТ необходимы для выравнивания нагрузки в электрических сетях, регулирования частоты и обеспечения потребителей возобновляемой энергией в моменты провалов генерации энергии, возникающей при использовании ветряных, солнечных или волновых электростанций. В связи с этим актуальной задачей является совершенствование существующих, поиск и развитие новых энергоёмких и эффективных перезаряжаемых ХИТ.

Основной целью работы является выработка общих научно-технических критериев к оптимизации микроструктуры, как электродов на основе широкого спектра активных анодных и катодных материалов и графено содержащих углеродных добавок, так и модифицированных гель-полимерных электролитов, позволяющих добиться существенного выигрыша в удельной энергии и мощности аккумуляторов в широком диапазоне рабочих температур.

Отдельно методом малоуглового рассеяния нейтронов будет исследована пористость электродных покрытий, а также ее влияние на степень заполнения пор электролитами.

Задачей работы ставится исследование структурных особенностей электродных покрытий и определение их влияния на электрохимические характеристики. В ходе проекта будут рассмотрены широкий круг активных материалов и проведено структурное исследование покрытий, содержащих разные наноструктурированные проводящие добавки: стандартные сажи, производные графена, модифицированные углеродные нанотрубки. При этом будет прослежена эволюция формирования композиционных электродных покрытий, начиная с исходных растворов, и, далее, на всех последующих этапах, включая нанесение паст на подложку, сушку, прессование, заполнение электролитом.

Заключение: Электроды с 1% УНТ демонстрируют более высокую удельную емкость по сравнению с электродами, содержащими 5-15% сажи. Тем не менее, увеличение содержания УНТ до 10% значительно снижает объемную емкость электрода, которая даже ниже, чем для электродов с сажей. Измерения SANS показали, что сеть УНТ встроена в электродный слой обеспечивает его большую смачиваемость электролитом по сравнению с сажей, используемой в качестве проводящей добавки. Это приводит к лучшей производительности С-скорости электрода. При изготовлении толстых электродов необходимо учитывать реологические свойства электродной суспензии. Наши результаты показали, что увеличение массового содержания УНТ более 5% значительно усложняет процесс их диспергирования в растворителе и изготовление толстых однородных слоев становится проблематичным.

#### Список литературы

1. Wenxin Mei, Haodong Chen, Jinhua Suna and Qingsong Wang, *Sustainable Energy Fuels* **2019**, 3, 148
2. Tyler Du Beshter, Puneet K. Sinha, Alex Sakars, Gerald W. Fly and Jacob Jorne, *J. Electrochem. Soc.* **2014**, volume 161, issue 4, A599-A605

## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ в КРИСТАЛЛАХ LiF и LiF:OH, ОБЛУЧЕННЫХ в РЕАКТОРЕ ВВР-СМ и <sup>60</sup>Co γ-ИСТОЧНИКЕ

Ибрагимова Э.М., Бузриков Ш.Н., Муссаева М.А.

Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, пос. Улугбек, 100214, Узбекистан

Кристаллы LiF давно используются в качестве сцинтилляторов, перестраиваемых лазерных элементов на центрах окраски, и термолюминесцентных дозиметров ядерных излучений, однако агрегация анионных вакансий и образование коллоидов Li при длительном радиолизе ограничивают дозовый предел многократного использования детекторов в режиме облучения - термический отжиг [1–3]. Ранее нами было показано, что после <sup>60</sup>Co γ-облучений кристаллов LiF:Cu при 500-1000 P/c и 300 K дозами 10<sup>8</sup> - 10<sup>9</sup> P на рентгенограмме видны рефлексы нанокристаллитов Li размерами до 8 нм, а в LiF:OH обнаружен рефлекс от нанокристаллов LiOH длиной 28 нм [4,5]. Редкие статьи связаны с облучением LiF нейтронами и там обнаружены коллоиды Li [6,7]. Известны ядерные реакции для легких ядер: <sup>6</sup>Li(*n, α*)<sup>3</sup>T, <sup>7</sup>Li(*n, α*)<sup>4</sup>He и периферическая <sup>19</sup>F(*p, α*)<sup>16</sup>O без γ-эмиссии. Если энергия γ-кванта >1.022 МэВ, то при взаимодействии с полем ядра он превращается в электрон-позитронную пару. Обнаружена локализация позитрония в KCl/NaCl []. Следует отметить, что при малых Z ядер Комптон-рассеяние γ-квантов не эффективно.

Целью работы было выяснение вклада ядерных реакций в радиолиз и структурно-фазовые превращения в кристаллах LiF при воздействии флуенса нейтронов 10<sup>17</sup> см<sup>-2</sup> и γ-квантов в центре активной зоны реактора ВВР-СМ и дозами 10<sup>8</sup>-10<sup>9</sup> P в γ-источнике <sup>60</sup>Co. Был применен комплекс поверхностно-чувствительных методов, включая рентгеноструктурный и фазовый анализ, локальный элементный анализ в вакууме (EDS), сканирующую зондовую микроскопию (SPM), оптическое и ИК-отражение и поглощение.

Впервые сравнивали составы наружных и внутренних сколотых поверхностей, и была обнаружена значительная неоднородность окрашивания по глубине в масштабе нескольких мм. В исходном чистом кристалле приповерхностный слой содержит 97% LiF грицеид синтетический, и обнаружены 2% LiH и 1% Li<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. При γ-облучении высокой дозой 10<sup>9</sup> P на поверхность попал поток 10<sup>19</sup> см<sup>-2</sup>, где образовалась 80% (LiF)<sub>2</sub>(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, фаза LiH выросла до 4%, а Li<sub>2</sub>O<sub>2</sub> превратилась в 16% LiO<sub>2</sub>. Облучение в реакторе флуенсом 10<sup>17</sup> н·см<sup>-2</sup> вызвало рост до 27% Li/LiH, появление 5% B/B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3% LiBH<sub>2-4</sub> и 3% (LiF)<sub>2</sub>(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.

Однако исходный LiF:OH содержит только 44% грицеида, 20% Li/LiH, 10% Li<sub>2</sub>O/ Li<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и >20% LiOH. После γ-дозы 10<sup>8</sup> P для получения пассивного лазерного затвора [1,5] фаза LiF достигает 56%, фаза Li/LiH сохраняется, оксидные фазы уменьшаются до 6%, но образуются 20% LiBH<sub>4</sub>/LiBH<sub>2</sub>/B и 4% (LiF)<sub>2</sub>(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.

Топологический анализ на SPM показал, что примесные и радиационно-индуцированные фазы растут на поверхности в виде наноконусов, а оксиды и гидроксиды в виде нанопленки. Расчетные размеры нанофаз по формуле Шеррера от 60 до 100 нм. Энергии электронных возбуждений недостаточно для роста фаз.

Образование бор-содержащих фаз при уменьшении содержания LiF можно объяснить поглощением γ-квантов ядрами F с делением на легкие ядра по реакции "branching decay": <sup>19</sup>F<sub>9</sub> + γ → <sup>11</sup>B<sub>5</sub> + 2 <sup>3</sup>T<sub>1</sub> + 2 <sup>1</sup>H<sub>1</sub>. Тритий эмитирует мягкие β-частицы <50 эВ. Методом EDS по ослаблению/усилению линий характеристического излучения подтверждено уменьшение F (0.6768 кэВ) и O (0.5249 кэВ), но возрастание B (0.1834 кэВ). Однако этот метод не определяет Li и H. Потеря F после облучения подтверждается в ИК-спектрах: многократно ослабляется поглощение связи Li-F 1000 см<sup>-1</sup>, появляются связи Li-O и LiOH, интенсивная узкая полоса колебаний Li-Li компоненты 700 см<sup>-1</sup> (коррелирует с сильными полосами оптического поглощения и отражения в области 250 и 450 нм), усиливается деформационное колебание Li-F в полосе 1300 см<sup>-1</sup> и появляется широкая слабая полоса колебаний примесной фазы LiF-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2000 см<sup>-1</sup>.

Таким образом, в радиолизе LiF и LiF:OH в реакторе следует учитывать ядерные реакции с продуктами в виде боро-содержащих фаз, где Бор эффективно поглощает нейтроны. Наноразмерные интерфейсы нанометаллических частиц, упорядоченно расположенных в диэлектрической решетке, обладают интенсивным плазмонным светорассеянием и обеспечивают оптическую нелинейность облученного кристалла LiF:OH, используемого в качестве пассивного пикосекундного лазерного затвора [1,5].

#### Список литературы

1. G. Baldacchini, Colored LiF: an optical material for all seasons, J. of Lumin. **100** (2002) 333.
2. L.W. Hobbs, A.E. Huges, G. Chassagne, Nature **252** (1974) 383.
3. V.I. Dubinko, A.A. Turkin, D.I. Vainstein, H.W. den Hartog, J. Nucl. Mater. **277** (2000) 184-198.
4. M.A. Mussaeva, E.M. Ibragimova, M.U. Kalanov, M.I. Muminov, Physics of the Solid State **48** (2006) 2295.
5. E.M. Ibragimova, M.A. Mussaeva, M.U. Kalanov, et al, J. Phys. Conf. Ser. 391 (2012) 012172.
6. S.D. Knutson, H.O. Hooper, P.J. Bray, J. Phys. Chem. Solids, **27** (1966) 147.

## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙТРОННОГО АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА НА МГНОВЕННЫХ ГАММА КВАНТАХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА УНИКАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

Жомартова А.Ж.<sup>1,2</sup>, Дмитриев А.Ю.<sup>1</sup>, Борзаков С.Б.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Московская область

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан

<sup>3</sup>Государственный университет Дубна, Московская область

E-mail: zhomartova@jinr.ru

Впервые в России и в странах (СНГ) для исследования исторических артефактов и других уникальных образцов применяется метод нейтронного активационного анализа на мгновенных гамма квантах.

Авторам неизвестны иные попытки использования данного метода для изучения элементного состава артефактов в отечественной науке.

Нейтронный активационный анализ на мгновенных гамма квантах (ААМГК) является полностью неразрушающим аналитическим методом качественного и количественного одновременного определения с различной чувствительностью нескольких десятков элементов в образцах массой от примерно 100 миллиграмм до нескольких грамм и более. Метод подходит для исследования однородных образцов больших размеров, может использоваться для анализа образцов с матрицами из легких элементов, которые слабо детектируются другими методами.

В качестве источника нейтронов используется импульсный реактор ИБР-2 (ЛНФ ОИЯИ). Канал оборудован изогнутым нейтроноводом, с зеркальной поверхностью, выполненной из никелевого отражателя. Установка была создана для анализа содержания элементов в различных образцах с помощью регистрации мгновенных гамма-квантов, испускаемых в результате захвата тепловых нейтронов. Гамма-кванты регистрировались радиационно-стойким HPGe детектором фирмы Canberra с разрешением 2,3 кэВ для гамма-линии <sup>60</sup>Со с энергией 1332,5 кэВ и относительной эффективностью 80%. Детектор был расположен на расстоянии 20 м от активной зоны реактора и 14 см от оси нейтронного пучка.

Были исследованы фрагменты керамических сосудов из красной глины XV-XVI века, обнаруженных при раскопках в Московском Кремле, уникальный природный сплав AuAg под названием Электрум, редкий астрофизический объект- Челябинский метеорит. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами нейтронного активационного анализа (Объединенный институт ядерных исследований).

СИНТЕЗ БИОГЕННЫХ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ (II) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЭНДЕМИЧНЫХ РАСТЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Айманова Н. А.<sup>1,2</sup>, Алдамбергенов М.Т.<sup>2</sup>, Машенцева А.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Евразийский государственный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

E-mail: [nurgulim.a.a@gmail.com](mailto:nurgulim.a.a@gmail.com)

В данном исследовании с использованием экстракта серпухи венценосной (*Serratula coronata* L.), произрастающей на территории Центрального Казахстана, методом мокрого сжигания были синтезированы наночастицы оксида меди(II) средним размером  $52 \pm 5$  нм. Комплексное исследование структуры и состава синтезированных наночастиц методами растровой электронной микроскопии, энергодисперсионного и рентгенофазового анализа (рисунок 1) показало, что полученные наночастицы не содержат в составе каких-либо дополнительных примесей, имеют моноклинную структуру и обладают высокой степенью кристалличности, средний размер кристаллитов составляет  $28 \pm 4$  нм.

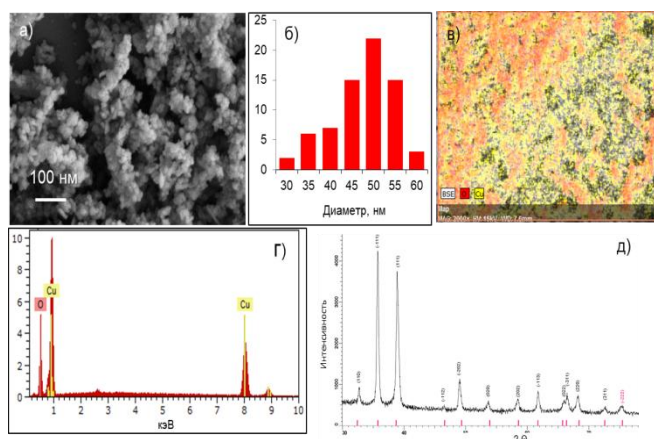


Рисунок 1 - Электронная микрофотография порошка наночастиц CuO (а), диаграмма распределения наночастиц по размеру (б), энергодисперсионный спектр (в), картирование (г) образца, спектр рентгеновской дифракции наночастиц (д)

Каталитическую активность исследовали на примере разложения красителя метиленового голубого под действием видимого света (500 Вт, 7500 лм). Эффективность разложения была изучена в зависимости от массы катализатора и начальной концентрации красителя. Установлено, что даже при загрузке катализатора равной 10 мг происходит разложение более 54% красителя в реакционной смеси. Исследование стабильности свойств катализатора показало, что эффективность разложения уменьшается на 6.1 и 33.3% после 2 и 5 цикла испытаний соответственно.

*Работа выполнена в рамках проекта AP09057856 «Разработка и экологическое применение биогенных катализаторов и сорбентов из эндемичных растений Казахстана», финансируемого Министерством образования и науки Республики Казахстан.*

## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР ЦЕМЕНТИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ГРАФИТА МЕТОДОМ НЕЙТРОННОЙ РАДИОГРАФИИ И ТОМОГРАФИИ

Кенесарин М.Р.<sup>1,2</sup>, Зель И.Ю.<sup>1</sup>, Кичанов С.Е.<sup>1</sup>, Балашою М.<sup>1,3</sup>, Козленко Д.П.<sup>1</sup>, Назаров К.М.<sup>1,4</sup>,  
Nicu M.<sup>3</sup>, Ionascu L.<sup>3</sup>, Dragolici A.C.<sup>3</sup>, Dragolici F.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Лаборатория нейтронной физики имени Франка, ОИЯИ 141980 Дубна, Россия

<sup>2</sup>Университет “Дубна”, 141980 Дубна, Россия

<sup>3</sup>“Horia Hulubei” National Institute of Physics and Engineering, P.O.BOX  
MG-6, Bucharest-Magurele, Romania

<sup>4</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, 010000, Нур-Султан,  
Казахстан

Цементные материалы являются ключевыми строительными элементами при возведении специальных сооружений для хранения различных видов радиоактивных отходов. Эти строительные материалы подчиняются довольно жестким критериям и требованиям по механическим и физико-химическим свойствам. В частности, чтобы обеспечить стабильность конструкции примерно на сто лет, цементные материалы должны обладать стойкостью к коррозии и радионуклидам. Эта проблема особенно актуальна для цементных материалов, предназначенных для длительного захоронения или утилизации графита.

Полученные экспериментальные методы рассеяния нейтронов позволяют анализировать данные по фазовому анализу или особенностям кристаллической структуры, образованию наночастиц и зерен внутри матрицы, старению, трещинам и эволюции пор. Методы нейтронного рассеяния используются для определения структурных характеристик цементных материалов и бетонов и позволяют нам понять природу и происхождение механических и химических свойств цемента, прогнозируя функциональные свойства, представляя способы оптимизации состава новых цементных материалов.

В данной работе мы исследовали внутреннюю структуру некоторых цементных материалов, перспективных для хранения радиоактивного графита методом нейтронной томографии.

Эксперименты по нейтронной радиографии и томографии проводились на установке НРТ, по нейтронной дифракции на дифрактометрах ДН-12 на высокопоточном импульсном реакторе ИБР-2.

Специфика взаимодействия нейтронов с разными компонентами исследуемых фрагментов различных цементов и использование современных математических алгоритмов анализа данных позволили получить распределение графита по объему образцов, а также определить морфологические особенности включений графита. На основании проведенного структурного анализа обсуждается использование исследуемых цементов для хранения радиоактивного графита.

## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### СИНТЕЗ ПОКРЫТИЯ ИЗ ТА ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИКЕЛИДА ТИТАНА

Жаканбаев Е.А., Диков А.С., Байгонов М.Т., Мамырбаев А.К.

Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

Сплавы с эффектом памяти формы на основе никелида титана (NiTi) нашли широкое применение во многих сферах человеческой деятельности, в том числе и в медицине при изготовлении различных по назначению имплантов. Изделия такого рода представляют сложные пространственные структуры работающие в биологически активной среде и следовательно подвержены коррозии. Несмотря на то, что сплав NiTi является биологически инертным, ионы структурно свободного никеля, присутствующие в сплаве, в результате коррозионных процессов попадают в организм оказывая токсическое и аллергическое воздействие [1,2]. Для обеспечения надежности и повышения функциональности, необходимо предусматривать дополнительную антикоррозионную защиту таких изделий.

В работе приводятся результаты экспериментов по синтезу коррозионностойкого покрытия из тантала на поверхности никелида титана. Выбор покрытия основан на высокой биологической совместимости Ta с живыми тканями и стойкостью к воздействию химически агрессивных сред. Синтез покрытия осуществлялся методом магнетронного распыления тантала в магнетронной установке постоянного тока с осаждением на поверхность никелида титана. Параметры напыления следующие: плазмообразующий газ – Ar, остаточное давление в рабочей камере -  $3 \cdot 10^{-5}$  Па, мощность тока, подаваемого на танталовую мишень 111Вт. При времени осаждения 90 минут толщина синтезированного коррозионностойкого покрытия из Ta составила  $350 \pm 5$  нм. Микроструктурный анализ качества синтезированного покрытия показал, что слой покрытия из Ta полностью повторяет морфологию поверхности образцов из никелида титана. Согласно результатам рентгеноструктурного анализа, в зависимости от времени осаждения, на поверхности NiTi синтезируются покрытия с различными характеристиками и фазовым составом –  $\alpha$ -Ta,  $\beta$ -Ta или смесь. Согласно [3],  $\beta$ -тантал характеризуется большой твердостью, хрупкостью и температурной нестабильностью, в то время как  $\alpha$ -Ta является более пластичным.

Дальнейшее направление исследований направленно на совершенствование режимов синтеза покрытия из тантала с целью получения пластичного покрытия.

*Работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан № AP08052572*

#### Список литературы

1. Xiaoying Lu, Xiang Bao, Yan Huang, Yinghua Qu, Huiqin Lu, Zuhong Lu. Mechanisms of cytotoxicity of nickel ions based on gene expression profiles // *Biomaterials*, 2009. - Vol. 30. – P. 141–148
2. Wataha J., O'Dell N., Singh B., Ghazi M., Whitford G., Lockwood P. Relating nickel-induced tissue inflammation to Ni release *in vivo* // *Journal of Biomedical Materials Research*, 2001. - Vol. 58. – P. 537- 544.
3. Myers S., Lin J., Martins Souza R., Sproul W.D., Moore J.J. The  $\beta$  to  $\alpha$  phase transition of tantalum coatings deposited by modulated pulsed power magnetron sputtering // *Surface & Coatings Technology*, 2013. - Vol. 214. – P. 38–45.

## Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов

### ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ КРАСИТЕЛЯ АЛИЗАРИНОВОГО КРАСНОГО КОМПОЗИТНЫМИ ТРЕКОВЫМИ МЕМБРАНАМИ НА ОСНОВЕ МИКРОТРУБОК МЕДИ

Алтынбаева Л.Ш., Машенцева А.А., Айманова Н. А.

Институт ядерной физики Республики Казахстан, Алматы, Казахстан  
Евразийский государственный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
E-mail: [lilija310378@gmail.com](mailto:lilija310378@gmail.com)

В данном исследовании рассматриваются вопросы об экологически безопасном синтезе композитных трековых мембран (КТМ) с осажденными химическим темплатным методом микротрубками меди (МТ). Полимерные темплаты были изготовлены из ПЭТФ ТМ с плотностью пор  $4,2 \times 10^7 \text{ см}^{-2}$  и диаметром пор  $396,3 \pm 12 \text{ нм}$ . В качестве восстановителей были использованы диметиламинборан [1] и аскорбиновая кислота [2]. Структура и состав КТМ исследованы методами рентгеновской дифракции, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии. Ализариновый красный (AR) относится к группе антрахиноновых красителей и является одним из основных загрязнителей в сточных водах текстильных производств [3]. Сорбционную активность полученных композитов в отношении AR исследовали спектрофотометрическим методом [4] в стационарном режиме в диапазоне pH – 3.0- 9.0. Концентрацию красителя после сорбции определяли при длине волны 260 нм по уравнению калибровочной кривой  $y = 0,0472x + 0,0078$  ( $R^2=0,97$ ). Исследование влияния pH раствора на эффективность сорбции (рисунок 1а) показало, что максимальное значение величины наблюдается при значении pH равном 3-5. Полученные данные согласуются с результатами исследования  $pH_{pzc}$  для полученных образцов: для КТМ состава Cu/DMAB значение  $pH_{pzc}$  составило порядка 5, а для образцов Cu/Asc – 4. Кинетику сорбции исследовали в интервале 10-130 мин (концентрация красителя 10 мг/мл, температура  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , pH- 3.5). Сорбционные кривые представлены на рисунке 1б. Из полученных экспериментальных данных были рассчитаны [3] значения равновесной сорбционной емкости сорбирования  $Q_e$  из раствора равные 706,38 и 190,25  $\mu\text{г}$  AR/гр сорбента для Cu/Asc Cu/DMAB КТМ соответственно. Столь существенное различие в сорбционной активности синтезированных композитов вероятнее всего обусловлено присутствием фазы оксида меди(I) в составе МТ меди образцов Cu/DMAB установленного методом рентгеновской дифрактометрии.

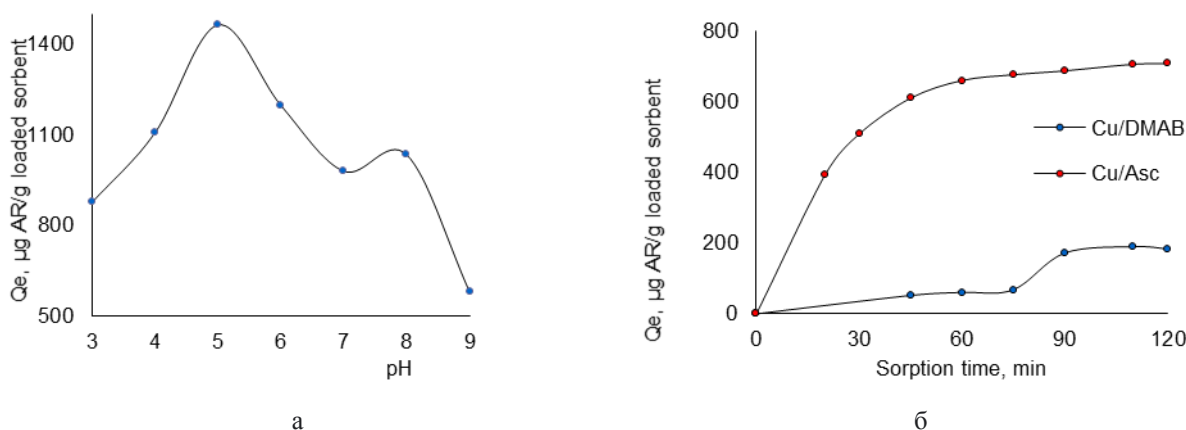


Рисунок 1. Влияние pH на эффективность сорбции AR Cu/DMAB композитами (а) и изменение сорбционной емкости КТМ в зависимости от времени сорбирования

*Работа выполнена в рамках проекта AP0885527, финансируемого Министерством образования и науки Республики Казахстан.*

#### Список литературы

1. Y. Liao, S. Zhang, and R. Dryfe, Particuology **10**, 487 (2012).
2. Q. LIU, T. YASUNAMI, K. KURUDA, and M. OKIDO, Trans. Nonferrous Met. Soc. China **22**, 2198 (2012).
3. S. S. M. Hassan, A. H. Kamel, A. A. Hassan, A. E.-G. E. Amr, H. A. El-Naby, and E. A. Elsayed, Nanomaterials **10**, 254 (2020).
4. M. B. Gholivand, Y. Yamini, M. Dayeni, S. Seidi, and E. Tahmasebi, J. Environ. Chem. Eng. **3**, 529 (2015).



### СТРУКТУРНЫЙ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СВИНЦОВО СИЛИКАТНОГО СТЕКЛА

Ибрагимова Э.М.<sup>1</sup>, Муссаева М.А.<sup>1</sup>, Элмуротова Д.Б.<sup>2</sup>, Исмадова Л.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики АН РУзб, Ташкент, пос. Улугбек, 100214

<sup>2</sup>Тошкентский Государственный Технический Университет, Ташкент, ул. Университетская 2, 100097.

Актуальной проблемой является выяснение электронной структуры границы раздела между диэлектрической матрицей и наночастицей металла и создание нанокompозитов металл-диэлектрик для устройств наноэлектроники и нанопотоники. Ранее нами было показано с помощью рентгеноструктурного анализа, что в барий-силикатном стекле обнаруживаются нанокристаллиты двух фаз  $\text{BaO}_2$  размерами ~28 нм и  $\alpha\text{-SiO}_2$  размерами ~15 нм с когерентной границей раздела, которым соответствуют интенсивные оптические резонансы 255 и 215 нм в спектре поглощения [1]. После облучения гамма-квантами  $^{60}\text{Co}$  наблюдались структурно-фазовые превращения, рост размеров нанокристаллитов до 50 нм и, соответственно, длины волны оптических резонансов. Также нами было показано, что в результате гамма-облучения в силикатном стекле с 24%  $\text{PbO}$  образуются центры окраски, оптическое поглощение которых свидетельствуют о накоплении носителей заряда на интерфейсе стекло-свинец содержащая фаза [2].

Цель настоящей работы – изучение электронной структура и оптические свойства  $\text{SiO}_2$  стекла с наночастицами содержащее влияния добавок  $\text{PbO}$  на характер электрической проводимости.

Объекты – были выбраны  $\text{SiO}_2$  стекла, содержащие 24%  $\text{PbO}$ . Интерес вызван тем, что свинец содержащее стекла обладают высокой плотностью, которая напрямую связана со способностью стекла поглощать рентгеновские лучи, высоким светопропусканием в видимой части спектра, а также низкой температурой варки. Образцы имели вид полированных пластинок диаметром 10–15 мм, толщиной 2–4 мм и 20 мм.

Элементный анализ - Рентгенорадиометрическим методом с использованием радиоизотопного источника  $\text{Am-241}$ , возбуждающего рентгеновское излучение элементов с атомной массой больше 40, был определен элементный состав стекла: 24% и 34,5%  $\text{PbO}$ .

Облучение – Облучали гамма-квантами изотопа  $^{60}\text{Co}$  с энергиями ~1,25 МэВ при мощности 406 Р/с в интервале доз  $10^5$ – $10^8$  Р при 320 К.

Структурный и фазовый состав определяли на дифрактометре ДРОН-3М с  $\lambda_{\text{CuK}\alpha} = 0,1542$  нм при 300 К, оценивая по рефлексам межплоскостные расстояния  $d/n$  (нм). Размеры наночастиц рассчитывали по формуле Селякова–Шеррера  $D=K\lambda/V\cdot\cos\theta_B$  [3].

Рентгенограмма необлученного образца с концентрацией 24%  $\text{PbO}$  состоит из двух широких диффузных рефлексов с разной шириной и интенсивностью с  $d/n \approx 3.24 \text{ \AA}$  ( $2\theta \approx 27.5^\circ$ ) и  $d/n \approx 1.70 \text{ \AA}$  ( $2\theta \approx 54^\circ$ ), соответственно. Из рентгенограмм образца облученного дозой  $3 \times 10^8$  Р гамма источником  $^{60}\text{Co}$  (1.25 MeV) видно, что дифракционная картина облученного образца существенно отличается от картины необлученного образца. Анализ рентгенограммы облученного образца показал следующее: уровень неупругого фона снизился на 7%, интенсивность второго диффузного отражения также упала на 13 %, ширина первого диффузного пика сузилась на 23 % по сравнению с величинами этих параметров для необлученного образца, и появился дополнительный сравнительно узкий структурный рефлекс с  $d/n \approx 2.840 \text{ \AA}$  ( $2\theta \approx 31.5^\circ$ ). Сужение первого диффузного пика говорит о росте критического размера связанного с ним структурного фрагмента до размера  $L_1 \approx 9.5 \text{ \AA}$ . В пользу такого вывода говорит еще уменьшение интенсивности второго диффузного максимума с  $d/n \approx 1.70 \text{ \AA}$  ( $2\theta \approx 54^\circ$ ) обусловленного свинец содержащими ячейками. В кластерообразовании немаловажную роль играет и энергия связи между одно - и разноименными ионами, а также зависит от их валентности. Возможно, энергия связи свинец–свинец преобладает над энергиями связи свинец–кислород, свинец–кремний и кремний–кремний. С дальнейшим повышением дозы облучения, кластеры самоорганизуются и растут как нанокристаллы свинца. Анализ показал, что дополнительный рефлекс (111) с  $d/n \approx 2.840 \text{ \AA}$  ( $2\theta \approx 31.5^\circ$ ) обусловлен нанокристаллами свинца размером  $L_{\text{Pb}} \approx 9 \text{ nm}$ . Об этом свидетельствует сравнительно узкая ширина этого рефлекса  $\omega_3 = 0.0174$  рад. Это самый интенсивный рефлекс от кристаллической решетки металлического свинца.

#### Список литературы

1. Ibragimova E.M., Mussaeva M.A., Kalanov M.U., Rustamova V.M. //Izvestiya VUZ: fizika. 2011. 54. 288.
2. Ibragimova E.M., Mussaeva M.A. Electron structure modification of interfaces in  $\text{SiO}_2$  glass with  $\text{PbO}$  nanoparticles at gamma-irradiation. //Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2012.Vol. 12. 1–4 .
3. Guozhong Cao. Nanostructures & Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications, London, Imperial College Press. 2004. 433 p.



### РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ LiF И NaCl

Ибрагимова Э.М.<sup>1</sup>, Бузриков Ш.Н.<sup>1</sup>, Муссаева М.А.<sup>1</sup>,  
Элмуротова Д.Б.<sup>2</sup>, Бобожонов Б.А.<sup>2</sup>, Таубалдиев А.А.<sup>2</sup>, Хайтов Ф.Н.<sup>2</sup>,  
Исмаева Л.Н.<sup>2</sup>, Махмудова Д.Ж.<sup>2</sup>, Чариева Г.Ю.<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Институт ядерной физики АН РУзб, Ташкент, пос. Улугбек, 100214

<sup>2</sup>Тошкентский Государственный Технический Университет, Ташкент, ул. Университетская 2, 100097.

В наше время щелочно-галогидные кристаллы активно применяются при создании приборов твердотельной электроники, оптики. Так кристаллы хлорида натрия используются для изготовления линз, призм, плоскопараллельных пластин, входящих в состав лазерных систем. Фторид лития среди щелочно-галогидных кристаллов наиболее широко используется для получения активных лазерных сред на центрах окраски. Образование наночастиц лития в ионно-облученных кристаллах LiF методом атомно-силовой спектроскопии, оптическими методами и методом малоуглового рентгеновского рассеяния в нейтронно-облученных LiF - в [1], в электронно-облученных LiF – в [2], в электронно-облученных NaCl – в [3]. Авторы этих работ отмечают, что появление коллоидных частиц наблюдается с увеличением дозы и мощности облучения. Ранее в работе [4] методом РСА обнаружены гамма-индуцированные нанокристаллиты Li размером 8 нм после сухого облучения и LiOH длиной 28 нм после влажного облучения. В работе [5] впервые установлено влияние исходной (ростовой) нестехиометрии поверхности монокристалла NaCl с дефицитом Хлора на агрегацию точечных дефектов как в анионной (поры с Cl<sub>2</sub> и HCl) так и в катионной (наночастицы Na и NaH) подрешетках. Обнаружены примесные наночастицы NaClO<sub>3</sub> и Na<sub>2</sub>O. Впервые обнаружены гамма-радиационно-индуцированные фазовые переходы, в результате которых частично восстановилась базовая решетка NaCl. В поверхности кристалла LiF при интенсивном облучении в результате ионизации происходит радиолиз и удаление фтора по межблочным границам, где оставшиеся катионы лития нейтрализуются электронами и образуют наночастицы Li, которые собираются и взаимно ориентируются в микронити [6].

Целями настоящей работы было экспериментальное исследование радиационно-индуцированные структурно-фазовых превращений на поверхностях ионных кристаллах LiF и NaCl.

Образцы заворачивали в Al фольгу для изоляции от воздуха и облучали в сухом канале при 320 К <sup>60</sup>Co гамма-квантами при мощности дозы 145 Р/с (энергия 1.25 МэВ), дозами от 0.4 МР, когда накапливаются пары Френкеля до 30 МР когда эффективно образуются агломераты и коллоиды. Впервые количественно определить 5 масс% дефицит Cl относительно Na в приповерхностном слое оптически чистого полированного кристалла NaCl и обнаружить обусловленные им примесные фазы 47 масс% NaClO<sub>3</sub> и 40 масс% Na<sub>2</sub>O и только 6 масс% NaCl. Такое соотношение фаз обеспечивает электронейтральность ионного кристалла. При облучениях на воздухе при 320 К дозами 0.4-30 МР происходит радиолиз примесных фаз с потерей до 15 масс% Cl, а также кислорода. После малой дозы (<1 МР) облучения эти фазы преобразуются: NaClO<sub>3</sub>→NaCl и Na<sub>2</sub>O→NaOH→NaH, а после большой гамма-дозы (>30 МР) фаза NaH (78 масс%) в виде наноконусов уже преобладает над остальными, а фаза NaOH (6 масс%) образует островковую нанопленку на поверхности {100} кристалла NaCl (14 масс%).

#### Список литературы

1. Schwartz K., Trautmann C., Steckenreiter T., Geiß O., Kramer M. Damage and track morphology in LiF crystals irradiated with GeV ions // Phys. Rev. B. 1998. 58. 11232. doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.58.11232>.
2. Beuneu. F., Vajda P., Zogal O.J. Li colloids created by electron-irradiation of LiF: A great wealth of properties Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B. 2002. Vol. 191. Issues 1–4. P. 149–153.
3. Dubinko V.I., Turkin A.A., Vainshtein D.I., Hartog den H.W. A new mechanism for radiation damage processes in alkali halides // J. Appl. Phys. 1999. 86, 5957. <https://doi.org/10.1063/1.371639>.
4. Mussaeva M.A., Ibragimova E.M., Kalanov M.U., Muminov M.I. Formation of nanodefects in LiF crystals at gamma-irradiation // Physics of the solid state. ISSN: 1063-7834. 2006. Vol 48. No 12. P. 2295–2299. <https://doi.org/10.1134/S1063783406120092>.
5. Ибрагимова Э.М., Бузриков Ш.Н., Муссаева М.А., Искандаров Н.Э. Элементный состав и дефекты структуры гамма облученных кристаллов NaCl / VII –Республиканская конференция молодых физиков Узбекистана «Ядерная физика и ядерная технология» 1-2 декабря. 2020. С.157–171.
6. Mussaeva M.A., Ibragimova E.M. Electron microscopy and elemental composition of the near-surface layer of electron-irradiated LiF crystals // [Technical Physics Letters](https://doi.org/10.1134/S1063785019020299). 2019. 45(2). P.155–158. <https://doi.org/10.1134/S1063785019020299>.

### Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

#### ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ФЕРРОЦИАНИДНЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ СИЛИКАГЕЛЯ

Байханова Н.Х.<sup>1,2</sup>, Расулова Ф.А.<sup>2</sup>, Егамедиев С.Х.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный Университет Узбекистана

<sup>2</sup>Институт Ядерной Физики АН РУз

Высокое сродство к цезию имеют ферроцианиды переходных металлов. Они обладают лучшими сорбционными свойствами по отношению к цезию, чем другие сорбционные материалы, например органические ионообменники или цеолиты. К сожалению, чистые ферроцианиды переходных металлов в большинстве своем являются микрокристаллическими и тонкодисперсными веществами [1], непосредственное их использование в процессах выделения радионуклидов цезия в качестве фильтрующего материала невозможно. Поэтому с целью улучшения характеристик ферроцианидных сорбентов их получают в виде композиций с использованием в качестве матриц различных материалов (анионообменные смолы, цеолиты, глины, целлюлоза, углеродные и полимерные волокна) [2].

Настоящая работа посвящена изучению сорбционных свойств ферроцианида меди нанесенного на крупнопористый силикагель КСКГ по отношению к радионуклиду цезий-134.

Изучены экспериментальные образцы ферроцианидных сорбентов на основе ферроцианида меди и силикагеля КСКГ с радиусом частиц 0,1 – 0,25 мм, 0,25 - 1 мм, 1-3 мм, 3-5 мм. Так на образцах ферроцианидного сорбента с радиусом частиц 0,25 - 1 мм и 0,1 – 0,25 мм коэффициент распределения цезия-134 составляет  $(1,3-1,6) \times 10^4$ . При этом процент адсорбции радионуклида цезий-134 достигает 99,8 % в течение 24 ч из реальной воды ЖРО. На образце ферроцианидного сорбента с радиусом частиц 1-3 мм коэффициент распределения цезий-134 составляет 9986. При этом процент адсорбции радионуклида цезий-134 достигает 99,7 % в течение 24 ч из реальной воды ЖРО. Таким образом установлено, что с уменьшением размера частиц исходного силикагеля коэффициент распределения цезия-134 увеличивается. Полученные данные приведены в таблице.

Также была изучена десорбция радионуклида цезий-134 кислыми и щелочными растворами. Установлено, что при промывке ферроцианидных сорбентов на основе ферроцианидов меди, содержащих цезий-134, растворами 0,5 - 3 моль/л HCl наблюдается количественное удерживание радионуклидов цезия-134. Процент десорбции составляет 0,1 %. Промывка ферроцианидных сорбентов растворами азотной кислоты (до 7 моль/л) также показало более низкую степень удерживания радионуклида <sup>134</sup>Cs в отличие от ферроцианидных сорбентов на основе ферроцианидов никеля. Процент десорбции радионуклида <sup>134</sup>Cs составляет 1,8 -3,5 %. Установлено, что при промывке сорбентов щелочными растворами степень десорбции цезия существенно выше, чем при промывке кислыми растворами. Проведенные эксперименты показали, что при выдерживании сорбента в растворе с концентрацией NaOH 0,5 моль/л в течение 72 часа процент десорбции составляет 7 %. Увеличение концентрации гидроксида натрия до 1 моль/л увеличивает процент десорбции до 35%. Дальнейшее увеличение концентрации NaOH до 5 моль/л позволяет количественно десорбировать цезий и процент десорбции составляет 75%.

Таблица - Сорбционные свойства сорбентов на основе ферроцианида меди в зависимости от размера частиц исходного силикагеля КСКГ

№	Время контакта, час	Сорбент			
		Размер частиц 4-5 мм	Размер частиц 1-3 мм	Размер частиц 0,25<R<1 мм	Размер частиц 0,1<R<0.25 мм
		Коэффициент распределения, мл/г (процент адсорбции Cs-134, %)			
1	1	257 (91)	522 (95,4%)	4827 (99,5%)	6816 (99,6%)
2	5	506 (95)	4221 (99,4%)	7612 (99,7%)	11146 (99,8%)
3	24	1187 (97,9)	9866 (99,7%)	13660 (99,8%)	16064 (99,8%)

Полученные данные по десорбции радионуклидов цезий-134 позволят разработать радиохимическую методику по выделению и очистке радионуклида цезий-137 из жидких радиоактивных отходов ядерного реактора ВВР-СМ.

#### Список литературы

1. Тананаев И.В. Химия ферроцианидов. –Москва: Наука, 1971. 320 с.

### Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРОВ НАВЕДЕННОЙ АКТИВНОСТИ ОБЛУЧЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАА НА КИР ВВР-К

Дмитриев А.Ю.<sup>2</sup>, Ленник С.Г.<sup>1</sup>, Соколенко Е.К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>-Институт ядерной физики (ИЯФ), г. Алматы, Республика Казахстан

<sup>2</sup>-Объединённый институт ядерных исследований (ОИЯИ), г. Дубна, Российская Федерация

Актуальность развития нейтроноактивационного анализа (НАА) в Казахстане обоснована необходимостью решения множества разнообразных аналитических задач, связанных с производственными, экономическими и социальными проблемами страны.

В настоящее время в рамках выполнения научно-исследовательских и прикладных работ методом НАА проводятся исследования элементного состава проб различного происхождения на определение более 30 элементов. В условиях массового многоэлементного анализа весьма важной задачей является автоматизация процесса измерений спектров наведенной активности облученных образцов. Для этого измерительный пост на реакторе ВВР-К был оборудован автоматической системой, включающей в себя устройство смены образцов, гамма-спектрометр на базе высокочистого германиевого детектора с блоком спектрометрической аппаратуры, оригинальное управляющее программное обеспечение, разработанное в ОИЯИ. Данная система предназначена для автоматического измерения спектров с сохранением в спектре всей необходимой для последующей обработки информации (калибровок по энергии и по эффективности в зависимости от выбранной высоты образца над детектором, массы образца, даты и времени начала и окончания измерения и т.п.), автоматическим подбором высоты образца над детектором в зависимости от предварительно измеренного мертвого времени, сохранением информации о проведенных измерениях в базе данных НАА.

Проведение автоматизации процесса измерений спектров наведенной активности облученных образцов позволяет минимизировать участие человека при проведении рутинных долговременных измерений, повысить производительность НАА, снизить количество субъективных ошибок и трудозатраты, а также, что очень важно, уменьшить радиационную нагрузку на персонал.

### Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОЙ АЛЬФА-, БЕТА- АКТИВНОСТИ В ВОДЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ЖИДКОСЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

Берікхан Қ.Ә.

В работе разрабатывается методика определения суммарной альфа-,бета-активности в воде, позволяющая обнаруживать активности ниже регламентируемых значения по ГН СЭТОРБ.

Высокая чувствительность к радиационному фону, в частности к радону и его ДПР – основной недостаток радиометров с полупроводниковым детектором, которые используются на пространстве СНГ для измерения суммарной альфа-бета активности. Использование жидкостных сцинтилляционных счетчиков помогает решить эту проблему, поскольку образец полностью растворяется в жидком сцинтилляторе и не контактирует с внешней атмосферой. Метод находит широкое применение в мировой практике, однако в Республике Казахстан по прежнему используются радиометры с твердотельными детекторами.

Метод определения суммарной альфа-, бета- активности, основанный на жидкостных сцинтилляциях, имеет ряд преимуществ: сверхнизкий уровень альфа-,бета-разделения, высокая эффективность регистрации (до 100%), а также низкий уровень фоновых измерений.

В процессе выполнения данной работы получены следующие результаты:

- выполнен обзор методов определения суммарной альфа/бета-активности в воде.
- проведена калибровка спектрометра для альфа/бета разделения;
- проанализированы и обсуждены следующие параметры: фон, эффективность альфа-, бета разделения, гашение в образце, объем образца для измерений, минимальная детектируемая активность, время экспозиции, методика подготовки образца;
- выполнена отработка методики на модельных образцах;
- выполнена отработка методики на пробах воды объектов водопользования.

Основными потребителями разработанной методики являются органы в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения, радиозоологии, экологического мониторинга и производства.

СОРБЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ

Буранов Ж.Ю.<sup>1</sup>, Байханова Н.Х.<sup>1</sup>, Егамедиев С.Х.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный Университет Узбекистана

<sup>2</sup>Институт Ядерной Физики АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

Известно, что сорбенты на основе бентонитовых глин обладают радиационной стойкостью, твердостью, устойчивостью к воздействию различных химических веществ и факторов окружающей среды и не подвергаются разрушению во времени.

Целью настоящей работы было исследование нескольких способов модифицирования бентонита с целью определения и достижения наилучших адсорбционных свойств по отношению к радионуклидам и тяжелым металлам.

Для определения оптимальных условий активации и модифицирования бентонитовой глины в качестве модельной системы использовали систему: радионуклид Со-57 – бентонит- дистиллированная вода. В качестве радиоактивного индикатора использовали радионуклид <sup>57</sup>Со без носителя («Тезлаггич»).

Для приготовления сорбентов использовали бентонитовую щелочноземельную глину Навбахорского месторождения. Исходный бентонит представлял собой порошок с размером частиц ~ 30 -35 мкм слабожелтой окраски. Данный бентопорошок производится для нефтяной промышленности и сельского хозяйства на ООО «Бентонит» (Навбахор, Навоинская область).

Было исследовано несколько случаев предварительной обработки бентонитовых глин, которые включали в себя: 1) солевая обработка (5% NaCl), 2) содовая обработка (5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), 2) обработка минеральными кислотами (HCl, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) в диапазоне 0,5 -3 моль/л, 3) термообработка бентонита в интервале температур от 200 до 800 °С.

Была изучена кислотная активация растворами соляной и ортофосфорной кислот в диапазоне 0,5 -3 моль/л. Установлено, что активация растворами соляной кислоты в диапазоне 2-3 моль/л приводит к увеличению коэффициента распределения кобальт-57 при его сорбции из дистиллированной воды, при этом коэффициент распределения составляет 2298. Степень адсорбции 99,3%. При этом коэффициент распределения кобальта возрастает в 4,5 раза. Показано, что наиболее лучший эффект кислотной активации наблюдается после последовательной активации бентонита растворами 3 моль/л соляной кислоты и 1 моль/л ортофосфорной кислоты. При этом коэффициент распределения кобальт-57 при его сорбции из дистиллированной воды составляет 8037. Степень адсорбции 99,8%. При этом коэффициент распределения кобальта возрастает в 15 раз.

Изучено влияние предварительной термообработки бентонита в интервале температур от 200 до 800 °С на адсорбцию радионуклида кобальт-57 из дистиллированной воды. Установлено, что при предварительной термической обработке бентонита в интервале температур 200 - 450 °С наблюдается количественная адсорбция кобальт-57 из дистиллированной воды, при этом степень адсорбции составляет 98,6 – 99,5 %. Показано, что оптимальной температурой предварительной термообработки бентонита является 400 °С, при этом коэффициент распределения составляет 4731. Дальнейшее увеличение температуры прокаливания бентонита до 600-800 °С приводит к снижению коэффициент распределения Со-57.

Полученные образцы модифицированных бентонитов были испытаны для дезактивации реальных жидких радиоактивных отходов ИЯФ АН РУз. Общая удельная активность жидких радиоактивных отходов находится в диапазоне 10<sup>-8</sup> – 10<sup>-6</sup> Ки/л при общем солесодержании от 4 до 6 г/л. Было установлено, что при применении кислотноактивированного бентонита коэффициенты очистки от радионуклидов цезия-137 и кобальта-60 составили 5,3 и 15 соответственно.

### Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

#### ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Ленник С.Г., Мирхаджи Д.В.

РГП Институт ядерной физики МЭ РК, Алматы, Казахстан

При исследованиях радионуклидного состава объектов окружающей среды методом инструментального гамма-спектрометрического анализа немаловажное значение имеет выбор эталонов для градуировки оборудования. Энергетическая градуировка чаще всего выполняется по точечным образцовым стандартным гамма-источникам. Для градуировки по эффективности регистрации гамма-излучения используют спектры эталонов известного радионуклидного состава, измеренных в той же геометрии, что и исследуемые образцы. Энергии аттестованных радионуклидов эталона должны охватывать весь энергетический диапазон спектрометрического оборудования или иметь аналогичный с исследуемыми образцами радионуклидный состав. Кроме того, сравнимыми должны быть уровни радиоактивности изотопов эталона и исследуемых образцов.

При радиоэкологических исследованиях радионуклидный состав изучаемых проб в основном состоит из естественных радионуклидов рядов урана-238, урана-235 и тория-232 и отдельных техногенных примесей (в случае загрязнения окружающей среды продуктами человеческой деятельности в области ядерной промышленности). Значения активностей отдельных естественных радионуклидов для экологически чистых территорий составляет менее 100 Бк/кг, что существенно ниже естественной радиоактивности изотопа калия-40 (500-1000 Бк/кг) в тех же пробах.

Для корректного проведения исследований «экологических» проб была изготовлена серия лабораторных модельных образцов с заданным диапазоном активностей естественных радионуклидов, моделирующих пробы окружающей среды как по радионуклидному составу, так и по величине активностей. В качестве источников радионуклидов использовались насыпные стандартные образцы МАГАТЭ урановой и ториевой руды с аттестованными активностями основных радионуклидов 4940 Бк/кг и 3250 Бк/кг, соответственно. В качестве наполнителя выбраны предварительно исследованные экологически чистые песок и щебенка.

Проведены исследования элементного и радионуклидного состава изготовленных модельных образцов. Показана их пригодность для использования в качестве градуировочных эталонов при определении радионуклидного состава объектов окружающей среды методом гамма-спектрометрии.

### Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

#### ВОЗМОЖНОСТИ АЛАНИНОВОЙ ЭПР-ДОЗИМЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОЗ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЛУЧЕНИЯХ НА ИЛУ-10 ИЯФ РК

Муқан Ж.Т.<sup>1,2</sup>, Середавина Т.А.<sup>1</sup>, Сушкова Н.С.<sup>1</sup>, Данько И.В.<sup>1</sup>, Глущенко Н.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт Ядерной физики, г.Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>ЕНУ им.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Радиационные технологии (РТ) востребованы в различных сферах деятельности человека и направлены на решении разных проблем науки и техники. Для обеспечения дозиметрического контроля при технологических облучениях необходимо соблюдать ГОСТы и стандарты обработки пищевых продуктов и изделий для медицины. Эта работа также проводится и в РГП ИЯФ РК на электронном ускорителе ИЛУ 10. В радиационных технологиях, особенно при облучении пищевых продуктов, важно придерживаться интервала доз, необходимых и достаточных для выполнения задачи, например, для всхожести семян или при деконтаминации вредителями, и в области относительно небольших доз возможности метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) могут быть полезны.

Доклад посвящен возможностям адаптации аланиновой ЭПР-дозиметрии для оценки доз при радиационной обработке пищевых продуктов и медицинских изделий на ИЛУ-10 в ИЯФ РК.

Для оценки поглощенных доз был применен метод ЭПР, основанный на обнаружении и определении концентрации стабильных парамагнитных центров (ПМЦ), возникающих при облучении вещества. В качестве дозиметрического детектора использовали таблетки на аланине, сигнал в которых линеен в широком диапазоне доз.

Объектом изучения были аланиновые детекторы, облученные электронами на ИЛУ 10 с малыми дозами при средних токах от 0.25 до 6.0 мА.

Результаты измерений получены на ЭПР- спектрометре ESP 300E фирмы «Bruker». Были выбраны оптимальные параметры регистраций спектров, использованы возможности существенного повышения чувствительности спектрометра при регистрации слабых сигналов ЭПР.

Полученные данные хорошо согласуются с данными радиохромных пленочных дозиметров (фирмы GEX, модель В3002) и показали возможности применения аланиновых ЭПР-дозиметров на электронном ускорителе ИЛУ 10 для решения указанных выше задач.

### Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

#### РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОВЕДЕННЫХ РГП ИЯФ НА ПОЛИГОНЕ «АЗГИР»

Глущенко В.Н., Макарова В.А, Нугманов Д.К., Севериненко М.А, Аристов П.А., Ахметжанова Д.С.

РГП институт ядерной физики  
050010, Республика Казахстан, г. Алматы, м-н Алатау, ул. Ибрагимова 1

Начиная с 1964 года, на объекте «Галит» проводились научно исследовательские работы (НИР), целью которых было проведение опытно-промышленных исследовательских работ по отработке технологии создания подземных полостей в массиве каменной соли для применения их в качестве больших хранилищ многоцелевого назначения. Однако оказалось, что соль имеет неоднородность и содержит ангидриты и гипсоподобные породы, которые при определенных условиях создают деформацию соляных пластов. В связи с чем, ожидаемые результаты удалось достичь лишь отчасти.

В период 1932-1964 гг. на солянокупольном поднятии Большой Азгир был проведен ряд геологических исследований, и в 1966 году на расстоянии 1,5 км (площадка А-I) от поселка Азгир на глубине 161 метров был произведен первый ядерный взрыв с мощностью заряда 1,1 кт, а на площадке А-II в 8 км от поселка Азгир за все время проведения испытаний было осуществлено 7 взрывов. В целом с 1966 по 1979 гг. на соляно купольном месторождении Большой Азгир на 10 площадках было произведено 17 ПЯВ, при которых подорвано 22 заряда.

В результате ПЯВ на технологических площадках образовались 9 подземных полостей различного объема, от 10 тыс. м<sup>3</sup> до 240 тыс. м<sup>3</sup>. В соответствии с данными проведенных экспериментальных исследований, при проведении ядерного взрыва в соляных пластах, стенки сферы образовали расплавленную породу, которая остывая превратилась в герметичную стекловидную массу. На сегодняшний день почти все полости, кроме полостей А8 и А11, частично либо полностью заполнены водой, а на площадке А9, из-за недостаточной изученности геологического строения соляного пласта при проведении ПЯВ, образовалась провальная воронка, диаметром 500 м и глубиной 30 м, в результате которой образовался водоем дождевых и талых вод, имеющий частичную подпитку грунтовых вод.

В 1994 году Распоряжением первого заместителя премьер министра РК была создана межведомственная комиссия для осуществления приемки объектов «Галит», а в 1995 году в целях усиления радиоэкологических и научно-исследовательских работ, в составе Алматинского филиала ИРБиЭ в поселке Азгир на базе ЮСЭ была организована «Азгирская экспедиционная группа». В 1996 году в связи с ликвидацией Алматинского филиала ИРБиЭ, на базе Азгирской экспедиционной группы была создана «Азгирская научно-производственная экспедиция» (АНПЭ) в составе лаборатории радиоактивных излучений Института ядерной физики Национального ядерного центра Республики Казахстан (ИЯФ НЯЦ РК).

В период с 1996-2001 годы силами РГП ИЯФ НЯЦ РК регулярно проводились научные исследования территории полигона с целью выявления последствий ядерных взрывов, в рамках которых были выполнены работы по сбору и систематизации информации по проведенным на полигоне «Азгир» взрывам, обследованию радиационной обстановки на площадках полигона, прилегающей территории и в населенных пунктах. В 2005 году проведено комплексное радиоэкологическое обследование полигона. В 2007 году проведены мероприятия по реабилитации и рекультивации территории технологических площадок, по очистке территории полигона. В 2009-2012 годах проведены работы по исследованию влияния полигона Азгир на экологическое состояние подземных вод. В 2013 Реконструкция дозовых нагрузок населения азгирского региона для оценки последствий ядерных испытаний. В 2014-2020 годах проведена комплексная оценка вклада полигонов «Азгир» и «Капустин яр» в формирование радиоэкологической обстановки населенных пунктов, прилегающих к полигонам. На сегодняшний день ведется комплексный радиоэкологический мониторинг территории бывшего полигона «Азгир», прилегающих территорий и населенных пунктов.

Подземные полости, хоть и существуют уже более 4-х десятков лет, они еще многие десятилетия будут являться радиационно опасным объектом и представлять потенциальную радиоэкологическую опасность для региона и страны в целом. Остается актуальным вопрос о возможной миграции радионуклидов на дневную поверхность и в подземные воды, а также, в случае непредсказуемого изменения геологической ситуации существует риск поступления радиоактивных рассолов из водонаполненных полостей в вышележащие водоносные горизонты.



### Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

#### ОЦЕНКА ЗНАЧЕНИЙ СУММАРНОЙ АЛЬФА- И БЕТА-АКТИВНОСТИ ПРОБ ВОДЫ АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ленник С.Г., Мирхаджи Д.В., Тимурова Д.Б.

РГП ИЯФ, г. Алматы, Казахстан

Измерение удельной суммарной альфа- и бета-активности природных вод является одной из самых распространенных радиоаналитических процедур, которые широко применяются в качестве методов скрининга в области радиоэкологического мониторинга окружающей среды для установления радиологических характеристик питьевой воды. Согласно Гигиеническим нормативам Республики Казахстан «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности», предварительная оценка допустимости использования воды для питьевых целей по показателям радиационной безопасности дается по удельной суммарной альфа- ( $A_a$ ) и бета-активности ( $A_b$ ). При значениях  $A_a$  и  $A_b$  ниже 0,2 и 1,0 Бк/кг, соответственно, дальнейшие исследования воды не являются обязательными. В случае превышения указанных уровней проводится определение содержания радионуклидов в воде. Таким образом, анализ воды на суммарную активность является очень актуальным, рекомендуется к измерению в питьевой воде руководящими принципами всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и при исследовании воды проводится в первую очередь.

В связи с вышесказанным были проведены исследования удельной суммарной альфа- и бета-активности проб питьевой воды и воды из открытых источников, отобранных на территории Алматинской области. Подготовка счетных образцов и измерения на низкофоновом радиометре УМФ-2000 проведены в соответствии с методикой радиационного контроля «Суммарная альфа- бета- активность природных вод (пресных и минерализованных). Подготовка проб и выполнение измерений», разработанной ФГУП «ВИМС» и внесенной в Государственный реестр средств измерений РК под номером KZ.07.00.03548-2017.

Результаты свидетельствуют о превышении суммарной удельной альфа-активности значения 0,2 Бк/л почти для все исследованных проб, а, следовательно, требуют проведения дальнейших исследований для определения основных вкладов альфа-излучающих радионуклидов.

### Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

#### МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ТРИТИЯ В ПРОБАХ ГАЗОКОНДЕНСАТА, ОТОБРАННЫХ ИЗ ПОЛОСТЕЙ ОБЪЕКТА «ЛИРА»

Краснопёрова М.В., Ойнар Ә.М., Желтов Д.А., Харкин П.В.

Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

Основными задачами программы «Комплексное исследование и мониторинг объектов ЛИРА», являются обеспечение радиационной безопасности на КНГКМ и снижение рисков воздействия объектов ЛИРА на нефтегазовые операции, проводимые на территории месторождения, и окружающую среду.

Принимая во внимание то, что наличие в газе трития при возникновении аварийного выброса газа из полостей является усугубляющим фактором, с целью контроля содержания трития в газе полостей ежегодно проводится отбор проб и исследование углеводородного газа из подземных полостей.

Для определения степени загрязнения техногенными радионуклидами углеводородного сырья продукции, находящейся в подземных полостях объектов ЛИРА, была разработана программа определения содержания трития с использованием метода жидкостной сцинтилляционной спектрометрии. Прямое определение трития в жидких органических продуктах с применением данного метода измерения затруднено присутствием компонентов, которые приводят к гашению сцинтилляции и искажению результатов измерения. Наиболее целесообразно в этом случае выделять тритий из органических веществ в виде, пригодном для измерения.

Существует метод определения содержания трития в газоконденсате и его продуктах. Метод основан на окислении этих веществ в реакторе с оксидом меди (II), в качестве окислителя, при 400-500 °С в атмосфере инертного газа, конденсации образующихся тритированных водяных паров и определении концентрации трития в выделенных и очищенных пробах воды методом жидкостной сцинтилляционной спектрометрии. Данный метод отличается высокой чувствительностью обнаружения  $^3\text{H}$  (~10-15 Бк/л), но довольно сложен в аппаратном оформлении, т.к. требует конструирования и изготовления специального реактора, но получаемые результаты по содержанию  $^3\text{H}$  отличаются высокой надежностью, т.к. обеспечивается полнота окисления ЖУВ, и минимизированы потери пробы и получаемой воды.

Существует метод «мокрого сжигания» жидких углеводородов для определения трития. Т.к. ГК Карачаганакского газоконденсатного месторождения в основном состоит из нафтенных (~78 %), с общей формулой  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2-2c}$ , где  $c$  - число циклановых колец, и принимая в среднем  $n = 9$  и  $c = 3$ , то по стехиометрической оценке по для «мокрого сжигания» 1 мл ГК необходимо ~6,5 г  $\text{CrO}_3$ , ~12 мл конц.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , в результате образуется ~2,2 мл воды. Предел обнаружения для данного метода ~ 100-150 Бк/л.

Для проведения процесса "мокрого сжигания" ЖУВ использована установка с обратным холодильником, который после проведения окисления меняется на прямой для отгонки/перегонки воды. В процессе отработки были определены оптимальные значения температуры и продолжительности процессов по стадиям процедуры, были эмпирически уточнены значения исходной аликвоты пробы ГК, массы триоксида хрома и объема серной кислоты для наиболее полного окисления ГК, а также введены дополнительные стадии пробоподготовки.

Метод окисления газоконденсата в реакторе с оксидом меди является более высокочувствительным, чем метод «мокрого сжигания», но ввиду сложного аппаратного оформления является менее применимым. Чувствительность метода «мокрого сжигания» достаточна для обнаружения объемной активности трития в исследуемых пробах.

Проведены бета-спектрометрические измерения полученных тритированных дистиллятов на бета-спектрометре TRI CARB 3100TR.

По результатам отработки процедуры определения трития в ГК методом "мокрого сжигания" разработана и утверждена методическая инструкция (МИ) "Жидкосцинтилляционное бета-спектрометрическое определение объемной активности трития в газоконденсате с предварительным окислением методом "мокрого сжигания".

Все полученные результаты оценки объемной активности  $^3\text{H}$  в ГК полостей ТК заметно меньше уровня изъятия из сферы действия больших количеств радиоактивного материала (ГК) в рамках практической деятельности. Радиационные риски, связанные с таким ГК в рамках практической деятельности, можно оценить как низкие.

*Разработаны совместно с АЯЭ/ОЭСР, ВОЗ, ЕК, МАГАТЭ, МОТ, ПАОЗ, ФАО, ЮНЕП, МАГАТЭ. Вена, декабрь 2015. STI/PUB/1578.*

## Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

### КАЛИЙ В РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Базарбаев Н.Н.<sup>1</sup>, Темиров Ш.С.<sup>2</sup>, Тухтаев У.У.<sup>2</sup>, Химматов И.Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> - Национальный университет Узбекистана,  
<sup>2</sup> - Самаркандский государственный университет,

Калий один из важнейших биогенных элементов, необходимый для развития и жизнедеятельности живых организмов, стимулирующий работу нервной системы, сердца и мозга. Его концентрации в растительной продукции зависят от их вида, места и условий прорастания.

Калий состоит из стабильных изотопов <sup>39</sup>K (93,08%), <sup>41</sup>K (6,91%) и радиоактивного <sup>40</sup>K (0,01%, T<sub>1/2</sub>=1,248·10<sup>9</sup> лет), а также пренебрежимо малых концентрации короткоживущих изотопов. Активности <sup>40</sup>K наиболее просто и экспрессно, позволяют установить содержания калия в исследуемых объектах.

В настоящей работе, гамма – спектрометрическим методом, исследованы содержания калия в натуральных образцов растительной продукции, выращенной в различных зонах Самаркандской области, а также, для сравнения импортного банана.

Гамма спектры проб, упакованные в однолитровые сосуды Маринеллы, измерялись (2 час) на сцинтилляционном спектрометре с кристаллом NaI(Tl) (Ø63x63 мм, энергетическое разрешения R≈8% на линии 661 кэВ <sup>137</sup>Cs), находящегося в свинцовом (10 см) защитном домике, регистрации спектрометрической информации, с помощью АЦП, осуществлялись в памяти РС.

Обработка γ – спектров проводилась по методике [1], с использованием эталонных источников <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, и <sup>232</sup>Th из комплектов ОМАСН, и инертных проб. Пренебрежимо малых активностей соответствуют активности пренебрежимо малые массы соответствует исследуемым пробам. Относительная погрешность в установленных значениях активности <sup>40</sup>K и δ=10-20%. Активности <sup>226</sup>Ra и <sup>232</sup>Th во всех пробах ниже уровня минимально детектируемой активности A<sub>min</sub>=5 Бк/кг

Часть полученных результатов приведена в таблице

Таблица

**Удельной активности <sup>40</sup>K и содержания калия в отдельных видах растительной продукции**

Виды	А, Бк/кг	С, %	Виды	А, Бк/кг	С, %
<b>Банан</b>	100	0,41	<b>Орехи</b>		
<b>Сухофрукты</b>			грецкие	110	0,41
Курага	620	2,4	Миндаль	65	0,24
Яблоки	400	1,52	Арахис	320	1,23
Кишмиш чёрный	275	1,0	<b>Овощи</b>		
<b>Бобовые</b>			Картофель	95	0,36
Горох	246	0,91	Морковь красная	100	0,37
Фасоль	320	1,59	Репка белая	300	1,24
Маш	490	0,47	Редка маргеланская	260	0,97
<b>Специи</b>			Топинамбур	120	0,45
Перец жгучий	563	2,18	<b>Зерновые</b>		
Тмин индийский	360	1,34	Пшеница	120	0,46
Барбарис	230	0,9	Овес	170	0,63
Зизифора	185	0,72			

#### Список литературы

1. A.N.Azimov, Sh.Kh.Hushmuradov, I.T.Muminov, T.M.Muminov, B.S.Osmanov, A.N.Safarov, A.A.Safarov/ gamma-spectrometric determination of natural radionuclides and <sup>137</sup>Cs concentrations in environmental samples. The improved scintillation technique/ Radiation Measurements Vol.43(2008), P.66-71.

### Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

#### ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ДЕЗАКТИВАЦИИ И РЕГЕНЕРАЦИИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ПОЛОТЕН, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

Кылышканов М.К., Хлебникова И.А., Ярошенко Н.Н.

АО «УМЗ», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Известно, что в процессе гидрометаллургической переработки урансодержащих соединений образуются отходы, содержание ценных компонентов в которых нередко превышает их содержание в добываемых рудах. В настоящее время накоплен обширный опыт применения ультразвуковой (УЗ) обработки различных металлических изделий и оборудования, в том числе дезактивации радиоактивно загрязненных почв. Информация о дезактивации тканых материалов с использованием УЗ обработки крайне ограничена.

Целью проведения данных исследований являлось определение возможности применения УЗ обработки фильтровальных полотен, выведенных из эксплуатации, при этом рассматривались два концептуальных подхода:

- «глубокая» дезактивация фильтровальных тканей с целью снижения остаточного уровня радионуклидов в материале с последующим захоронением тканей;
- регенерация фильтротканей с целью повторного использования в технологическом процессе.

Исследования проводились на двух видах фильтротканей: полипропиленовой и хлопколавсановой, применяемых на операциях фильтрации растворов переработки ХКПУ и скрапов и выведенных из технологического процесса. Реализованные исследования позволили сделать заключение, что выбор наиболее результативного режима регенерации фильтровальных тканей с использованием УЗ воздействия в большей степени зависит от физико-химического состава осадков, образующих слой твердых частиц на поверхности фильтровальной ткани и/или задержанных в порах материала при фильтрации суспензий с разных технологических участков. Использование УЗ воздействия в процессе дезактивации позволяет снизить содержание урана в фильтровальных тканях в 7÷70 раз, в зависимости от степени исходного загрязнения.

При проведении исследований изучены возможности повторного использования регенерированных фильтровальных тканей. Качество регенерации ткани контролировали по водопроницаемости и содержанию твердых взвесей в фильтрах. Установлено, что все рассмотренные типы фильтровальных тканей подлежат регенерации с возможностью последующей их эксплуатации в промышленных условиях. Повторное использование в технологическом процессе регенерированных фильтровальных тканей позволит существенно увеличить срок их эксплуатации, сократить расходы материалов при переработке урансодержащих соединений и минимизировать количество радиоактивных отходов, что в целом способствует созданию на предприятии малоотходной технологии.

## ГИДРОФОБИЗАЦИЯ ПЭТФ ТМ ДЛЯ ПРЯМОЙ КОНТАКТНОЙ МЕМБРАННОЙ ДИСТИЛЛЯЦИИ

Есжанов А.Б.<sup>1,2</sup>, Корольков И.В.<sup>3</sup>, Здоровец М.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Докторант 3-го года обучения специальности «Химия» ЕНУ им.Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup> Младший научный сотрудник Технологической лаборатории трековых мембран Астанинского филиала «Институт ядерной физики», Нур-Султан, Казахстан

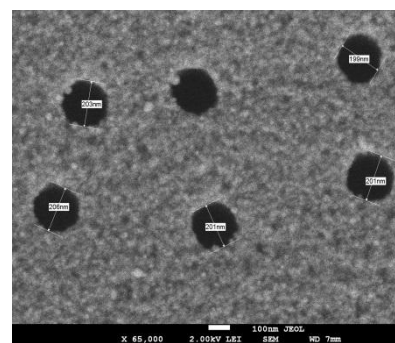
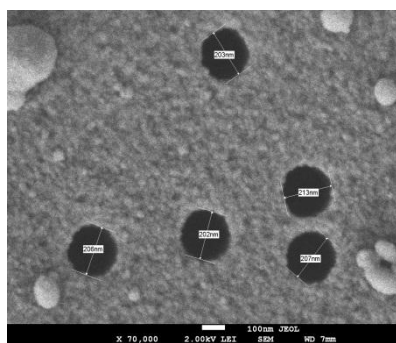
<sup>3</sup> Старший научный сотрудник Технологической лаборатории трековых мембран

<sup>4</sup> Директор Астанинского филиала «Институт ядерной физики», Нур-Султан, Казахстан

С развитием атомных электростанций, обращение с жидкими радиоактивными отходами уделено пристальное внимание во всем мире. Трагедия на Фукусиме, экологические проблемы бывших ядерных полигонов, в том числе в Казахстане (Семипалатинский ядерный полигон) привели к тому, что необходим поиск эффективных методов очистки вод ЖРО. В последние годы интенсивно развиваются мембранные методы разделения жидких смесей, позволяющие решать широкий спектр научных и экологических проблем. Одним из таких процессов является МД - метод разделения и концентрирования водных растворов веществ. Преимуществами МД являются низкое энергопотребление, низкая рабочая температура, не требуется избыточное давление. Недостатками этого процесса являются небольшой срок службы мембран из-за постепенного загрязнения поверхности. Несмотря на это, МД широко используется для опреснения морской воды и подземных вод, очистки сточных вод и природных вод от тяжелых металлов[1].

В статье описывается очистка жидких радиоактивных отходов (ЖРО), образующихся в исследовательском ядерном реакторе, путем мембранной дистилляции с использованием трековых мембран на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ ТМ). ПЭТФ ТМ были модифицированы стиролом и триэтоксивинилсиланом (ТЭВС) фотоиницируемой УФ-прививочной полимеризацией[2]. Модификация привела к увеличению контактного угла смачивания ПЭТФ ТМ до 99 ° (размеры пор варьировались от 150 до 300 нм). Гидрофобные ПЭТФ ТМ были охарактеризованы с помощью РФЭС, ИК-спектроскопии, СЭМ.

Микрофотографии СЭМ модифицированных ПЭТФ ТМ представлены на рисунке 1.



*Рис.1. Микрофотографии СЭМ поверхности модифицированных Стирол-ТЭВС-г-ПЭТФ в соотношении 50:50 (20%)*

В данном исследовании был рассмотрен простой и эффективный метод гидрофобизации ПЭТФ ТМ путем УФ-прививочной сополимеризации стирола и триэтоксивинилсилана. Полученные образцы были использованы для очистки жидких низкоактивных радиоактивных отходов. Увеличение диаметра пор с 135 до 268 нм привело к увеличению производительности пермеата, однако вместе с этим происходило понижение степени очистки раствора. Данный тип метода гидрофобизации можно эффективно использовать в процессе мембранной дистилляции для очистки жидких радиоактивных отходов.

#### Список литературы

1. F.E.Ahmed, B.S.Lalia, R. Hashaikeh Membrane-based detection of wetting phenomenon in direct contact membrane distillation, Journal of Memb.Sci. 535(2017) 1-9
2. I.Korolkov, A.Yezhanov, Y.Gorin, M.Zdorovets Hydrophobization of PET track-etched membranes for direct contact membrane distillation, Mater. Res. Express. 5 (2018) 1–7.

### Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

#### КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ТРЕХМЕРНОЙ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Артамонов Ю.Е., Умаров М.А., Бакланова Ю.В., Мустафина Е.В.

Филиал "Институт радиационной безопасности и экологии", Национальный ядерный центр Республики Казахстан, г. Курчатов, Казахстан, [artamonov@nnc.kz](mailto:artamonov@nnc.kz)

Наличие обширных радиационно-загрязненных территорий, таких как места проведения различных военных и мирных ядерных испытаний, а также развитие отрасли по добыче и переработке природного урана в Республике Казахстан подразумевает необходимость создания эффективной системы контроля за радиационной обстановкой вокруг предприятий ядерно-топливного цикла (ЯТЦ). Одной из проблем в области контроля радиационной обстановки вокруг предприятий ЯТЦ является отсутствие инструментариев, позволяющих оперативно определять уровни и границы радиоактивного загрязнения, в случае возникновения нештатных радиационных ситуаций. В большинстве случаев контроль осуществляется посредством лабораторного анализа проб окружающей среды, отобранных в контрольных точках, установленных самим предприятием. Такой метод, как правило, требует длительного времени на проведение всех необходимых лабораторных анализов и, как следствие, приводит к потерям оперативности контроля и реагирования на возможный инцидент. В этой связи, актуальной задачей является отработка и внедрение методов контроля, позволяющих достаточно быстро получить достоверную информацию о радиоактивном загрязнении, определять его характер и уровни, с высокой точностью выявлять локальные очаги загрязнения.

В качестве такого метода, позволяющего в режиме реального времени строить карты с полями радиоактивного загрязнения местности и объектов предприятий ЯТЦ, предлагается метод трехмерной характеристики радиоактивного загрязнения с угловым коллимированием  $\gamma$ -спектрометра. Метод заключается в последовательном наборе  $\gamma$ -спектров в контрольных измерительных точках, образующих сеть радиационного обследования объекта. Затем производится детектирование  $\gamma$ -полей, излучаемых радиоактивным источником и на основе полученных данных, строится 3D модель пространственного распределения радиоактивного загрязнения. Данный метод позволяет получать сведения о содержании естественных и искусственных радионуклидов в пространстве, осуществлять поиск и локализацию источников радиоактивного загрязнения, строить 3D модели, открывающие широкие возможности для характеристики радиационной обстановки и обеспечения оперативности принятия конкретных управленческих решений при эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов предприятий ЯТЦ, а также радиационно-загрязненных территорий.

Установлено, что угловое и горизонтальное коллимирование  $\gamma$ -детектора позволяет разграничить пространство как по высоте, так и по направлениям, вследствие чего становится возможным определение места расположения источника радиоактивного загрязнения. Однако, нужно отметить, что из-за сложной геометрии измерений и применения свинцовой коллимирующей защиты уменьшается чувствительный объем детектора и существенно снижается эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов. Комплексный метод трехмерной характеристики радиоактивного загрязнения с угловым коллимированием  $\gamma$ -спектрометра эффективен в работе с высокоактивными источниками радиоактивного загрязнения, активность которых не менее  $1,2 \times 10^4$  Бк, причем МДА для низкоэнергетических  $\gamma$ -линий ниже, чем для высокоэнергетических. Объясняется это тем, что  $\gamma$ -детектор наиболее эффективно регистрирует и определяет интенсивность  $\gamma$ -квантов, энергия которых находится в области малых энергий, поскольку низкоэнергетическое излучение при взаимодействии с веществом детектора отдает всю свою энергию. Так как энергия фотонов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{152}\text{Eu}$  находится в комптоновской области энергий их регистрация осложняется тем, что при попадании в чувствительный объем детектора кванты отдают лишь часть своей энергии.

Разработанный метод является полезным инструментом анализа и наглядного представления пространственных исследовательских данных, поскольку позволяет детально оценить текущую радиационную обстановку объекта анализа, идентифицировать, охарактеризовать и визуализировать с помощью 3D моделирования радиоактивное загрязнение в пространстве, что, в свою очередь, открывает широкие возможности для оперативной обработки информации направленной на обеспечение принятия конкретных управленческих решений при эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов предприятий ЯТЦ.

### Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

#### РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БЫВШЕГО ПОЛИГОНА «АЗГИР» ЗА 2020 ГОД

Севериненко М.А., Ахметжанова Д.С., Кошжанов А.Т., Матиенко Л.Д.  
РГП «Институт ядерной физики», г.Алматы, Республика Казахстан

*В докладе представлены результаты комплексного радиоэкологического мониторинга бывшего полигона «Азгир», за 2020 год.*

Система комплексного радиоэкологического мониторинга на полигоне «Азгир» разработана функционирует с 2001 года и проводится силами Центра комплексных экологических исследований (ЦКЭИ) РГП «Институт ядерной физики» (РГП ИЯФ). Целью работ является контроль параметров, характеризующих текущую радиационно-экологическую обстановку на территории полигона и прилегающих территорий. Радиоэкологическая обстановка определяется уровнем гамма-фона на дневной поверхности, уровнем загрязнения природными и искусственными радионуклидами и химическими элементами почвы, воды (подземной и поверхностной) и растительности. Для этого по установленной сети, включающей посты мониторинга почв, воды (поверхностной и подземной), растительности, расположенных на полигоне и прилегающих территориях (включая населенные пункты Азгир, Балкудук), дважды в год (весной и осенью) отбираются пробы для последующего лабораторного анализа. Лабораторные исследования проводятся в базовых лабораториях ЦКЭИ РГП ИЯФ, аккредитованном на соответствие ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019. В процессе работ в 2020 году был выполнен отбор и лабораторные исследования 196 проб объектов окружающей среды, в том числе 38 проб подземных и поверхностных вод, 128 проб почвы, 8 проб донных отложений и 22 пробы растительности.

Как следует из результатов исследования радионуклидного состава проб почвы, удельные активности техногенных радионуклидов в населенных пунктах не превышают 0,34 Бк/кг для  $^{239+240}\text{Pu}$  и меньше 8,5 Бк/кг для  $^{90}\text{Sr}$ , средние значения для  $^{137}\text{Cs}$  составляют 3,11 Бк/кг. По результатам определения удельной активности естественных радионуклидов в почвах следует, что почвы исследуемых территорий характеризуются постоянством состава, а значения удельных активностей характерны для почв исследуемого региона. Отмечается наличие загрязненности почв технологических площадок А-3, А-10 тяжелыми металлами, соответствующего категории умеренно опасного загрязнения. В п. Азгир и п. Балкудук не зафиксировано повышенных концентраций тяжелых металлов, что доказывает отсутствие влияния проведения технологических операций на полигоне на качество почв в этих населенных пунктах. По результатам исследования радионуклидного состава проб растительности, присутствие техногенных радионуклидов находится на уровне предела обнаружения применяемых методик.

Исследование радионуклидного состава воды показало, что удельные активности естественных и техногенных радионуклидов в пробах подземных и поверхностных вод ниже уровней вмешательства и ниже предела обнаружения использованных методик, не зафиксировано присутствие трития в подземных водах. По результатам исследований качества вод по общехимическим показателям, практически во всех пробах вод, обнаружено присутствие ряда тяжелых металлов и токсичных элементов (естественного происхождения) 1-го и 2-го классов опасности, что свидетельствует о непригодности применения этой воды в питьевых целях. Указанный факт обусловлен только природными факторами, характерными для всего аридного региона Западно-Казахстанской области и не имеет отношения к воздействию полигона.

По данным контроля МЭД гамма-фона на технологических площадках (А-2, А-10, А-3, А-5) фиксируются точки радиационных аномалий с небольшим превышением среднего гамма-фона местности. Предварительными исследованиями показано, что обнаруженные аномалии находятся на надфоновом уровне, в целом, соответствующим радиационному фону региона и фиксируются только на территории технологических площадок. Для исследования причин и механизмов их появления в 2020 году РГП ИЯФ провел дополнительно отбор проб с площадки А-2 полигона.

Несмотря на то, что современная обстановка на полигоне является стабильной, полигон остается радиационно-опасным объектом, требующем повышенного внимания. Остается актуальным вопрос о возможной миграции радионуклидов на дневную поверхность и в подземные воды, а также, в случае непредсказуемого изменения геологической ситуации существует риск поступления радиоактивных рассолов из водонаполненных полостей в вышележащие водоносные горизонты. Поэтому, комплексный мониторинг полигона необходимо продолжать и постоянно совершенствовать. Так, например, до 2022 года РГП ИЯФ для развития системы комплексного радиоэкологического мониторинга полигона и прилегающих территорий намечены работы по увеличению существующего парка наблюдательных гидрогеологических скважин, предназначенных для контроля возможной миграции радионуклидов из подземных технологических полостей в подземные водоносные горизонты на глубинах до 20 м.

### Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

#### ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОЛУЧЕНИЮ ОКСИДА ГАДОЛИНИЯ ИЗ ОТХОДА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ УРАН-ГАДОЛИНИЙСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Кылышканов М.К., Ярошенко Н.Н., Гусакова Г.В., Гофман А.А., Варывдин Ю.В., Дорн А.А.  
АО «УМЗ», Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

Одним из видов деятельности Уранового производства АО «УМЗ» является переработка трудновскрываемых уран-гадолинийсодержащих скрапов. При переработке материалов указанного вида, после их растворения, проводят операцию осаждения фторида гадолия с последующей экстракционной очисткой полученных растворов уранилнитрата.

На стадии осаждения практически весь гадолий, содержащийся в скрапах, переводят в осадок  $GdF_3$  и в составе твердых отходов направляют на хвостохранилище. При существующих объемах переработки скрапов, содержащих до 7,0 % гадолия, ежегодно на хвостохранилище может попадать  $\approx 500$  кг Gd.

Целью исследовательской работы являлось определение возможности получения оксида гадолия из отхода технологии переработки уран-гадолинийсодержащих материалов Уранового производства АО «УМЗ».

В ходе проведения работ в указанном направлении был проведен анализ существующих способов получения оксида гадолия, определены преимущества и недостатки описанных способов, обоснован выбор направленности поисковых работ.

В ходе проведения исследований были опробованы различные способы получения оксида гадолия. Проведен ряд экспериментов по отработке режимов получения оксида гадолия методом двухстадийного осаждения оксалата и выбору оптимальных параметров ведения процессов. Разработана технологическая схема, по которой получен готовый продукт, пригодный для дальнейшего применения в технологии получения уран-гадолиниевых таблеток АО «УМЗ».



### **Секция 3. Радиационная экология и методы анализа**

#### **РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГРАМОТНОСТЬ С НАЧАЛЬНЫХ КЛАССОВ**

Игнатенко Г.К.

ООО НПП «Доза», г. Зеленоград, Россия

С развитием ядерных технологий и широким внедрением их в различные сферы деятельности человека, возрастают требования к знаниям ядерной физики, дозиметрии, радиационной безопасности и радиационной гигиены. Качество этих знаний закладывается в школе. Одним из направлений в повышении этого качества является мотивация школьника к познанию ядерных технологий, их направлений. В работе, кратко представлены основные направления в ядерных технологиях, отмечен образовательный школьный стандарт по физике, его недостаток -отсутствие лабораторной практики по изучению процессов ионизирующего излучения, его безопасности. Представлен созданный ООО НПП «Дозой» в ИАТЭ НИЯУ МИФИ (Обнинск) Учебно-Демонстрационный центр, который позволяет школьникам, студентам и аспирантам использовать инструментальные методы в изучении ионизирующего излучения и защиты от него. Предложены мероприятия для повышения мотивации к изучению вопросов радиационной безопасности и ядерных технологий.

### **Секция 3. Радиационная экология и методы анализа**

#### **УЧЕБНО- ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ПО ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТЕНАХ УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ**

Комиссаров А.Б., Игнатенко Г.К.

ООО НПП «Доза» ,г. Зеленоград, Россия

Представлен трехлетний опыт Учебно-демонстрационного центра (УДЦ) в стенах Обнинского института атомной энергетики ИАТЭ НИЯУ МИФИ, созданным ООО НПП «Доза». В УДЦ реализуется инновационная программа по радиационной безопасности с учетом новых требований ядерных технологий и перспективных новых разработок автоматизированных систем радиационного контроля НПП «Доза» на предприятиях ЯТЦ и других народнохозяйственных объектах, где используются источники ионизирующего излучения. Очень эффективными оказались полевые занятия на «загрязненных» территориях с использованием индивидуальных средств защиты и дозиметра. Практика показала, что подобный центр может быть рекомендован для его тиражирования в технических вузах.

### Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

#### ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ ОБЪЕКТОВ ЛИРА

Макарова В.А., Филиппова Л.Н., Сляднева В.Н.

Институт Ядерной физики, Алматы, Республика Казахстан

РГП «Институт ядерной физики» (РГП ИЯФ) и его Аксайский филиал с 1998 года осуществляет долгосрочный комплексный мониторинг объектов ЛИРА и прилегающих территорий, включая населенные пункты. Объекты ЛИРА представляют собой шесть подземных резервуаров на глубине около 1000 м, созданные ядерными взрывами на территории Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения. В процессе изучения радиоэкологической обстановки на территории объектов ЛИРА и в их окрестностях за 20 с лишним лет РГП ИЯФ накопил большой объем данных в области радиоэкологических исследований, отличающихся постоянно увеличивающимся диапазоном и динамической изменчивостью. Так как работа с таким разноплановым материалом требовала оперативного, но в то же время, удобного манипулирования данными в различных цифровых и графических форматах, данные были организованы в виде хранилищ информации с функциями быстрого поиска и оперативного анализа для принятия управленческих решений, с развитыми инструментами доступа к данным хранилища и их обработки.

Постоянное увеличение объема и структурной сложности хранимых данных, расширение круга пользователей информационных систем привели к разработке наиболее удобных баз данных. В Центре комплексных экологических исследований РГП ИЯФ разработаны и функционируют четыре баз данных (БД), касающихся объектов ЛИРА, отличающихся своей тематикой, предназначением и способом подачи информации.

База данных «Паспорт мониторинга» содержит комплексную информацию о содержании в почве и воде искусственных и естественных радионуклидов, результаты контроля качества питьевой воды и давления на устьях технологических скважин на территории объектов ЛИРА и близлежащих населенных пунктах. База данных «Паспорт мониторинга» обеспечивает возможность наблюдения изменений мониторируемых параметров с течением времени и своевременной фиксации динамики экологической ситуации в районе объектов ЛИРА. Анализ результатов проводится путем составления диаграмм, графиков или статистической обработки. В БД хранится вся информация, начиная с 2005 года (внедрение системы мониторинга) по текущий момент.

Электронный архив «Проект ЛИРА» был создан для хранения, поиска и систематизации большого объема научной и технической информации, касающейся объектов ЛИРА. Вся документация по проекту с 1982 года была объединена в единую базу и систематизирована в соответствии с тематической классификацией. На данный момент в архиве содержится около 2000 текстовых и графических материалов. Для удовлетворения информационных потребностей пользователей база данных предоставляет широкий спектр возможностей для предметного, хронологического и семантического поиска информации.

ГИС-проект «ЛИРА» создан на основе программных продуктов линейки ArcGIS для данных, характеризующих радиационную обстановку и имеющих, как правило, географическую привязку, что позволяет их визуализировать на картографической основе. Созданный ГИС-проект широко применяется для решения задач планирования, проведения пространственного анализа данных, для формирования графических материалов и отчетной документации.

Также существует база данных «ЦКЭИ», в которой хранятся результаты аналитических работ Центра комплексных экологических исследований. Она предназначена для обеспечения регистрации и контроля процессов аналитических исследований в лабораториях центра. Используя базу данных, можно получить информацию об основных этапах работ по анализу проб, интересующие исследователя, а также узнать сведения о планировании и контроле рабочего процесса.

Базы данных активно используются при планировании, обработке и визуализации полевых работ и аналитических исследований, для получения необходимой документации, подготовки иллюстративной графики, презентаций, отчетных материалов, а также позволяют получать заинтересованным лицам оперативную информацию о радиоэкологической обстановке в районе расположения объектов ЛИРА. Базы данных постоянно актуализируются и совершенствуются в функциональном плане.

## Секция 4. Физика и техника ядерных реакторов

### ИЗМЕРЕНИЕ НЕЙТРОННЫХ ПОТОКОВ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ КАНАЛАХ РЕАКТОРА ВВР-СМ

Байтелесов С.А., Кунгуров Ф.Р., Таджибаев Д.П., Тоджибоев Д.

Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан  
Г. Ташкент, Узбекистан

Представлены результаты определения плотностей потоков нейтронов в активной зоне и горизонтальных каналах реактора ВВР-СМ ИЯФ АН РУз при использовании топлива ИРТ-4М (19,75% обогащения по  $^{235}\text{U}$ ). Хорошее согласие экспериментальных и расчётных данных позволяет использовать результаты этой работы при выборе оптимальных режимов эксплуатации реактора.

Измерение плотности потоков нейтронов в активной зоне и в бериллиевом отражателе реактора ВВР-СМ проводилось известным методом нейтронно-активационного анализа образцов (фольг), вводимых в нейтронный поток. В этих измерениях в качестве образца использовался сплав алюминия и кобальта, содержащий 0,1%  $^{59}\text{Co}$  массой 2 мг. Наведённая активность образца измерялась с помощью германиевого детектора эффективностью 10% со спектрометрической системой GENIE 2000 фирмы CANBERRA. При этом разрешение спектрометра по линии  $\gamma$ -излучения элемента  $^{60}\text{Co}$   $E_{\gamma}=1332$  кэВ было 1,8 кэВ, а точность калибровки в диапазоне энергии  $\gamma$ -излучения 0-1500 кэВ составляла  $\pm 2$  кэВ.

Плотность потоков тепловых нейтронов в вертикальных каналах реактора ВВР-СМ измерялась методом термо-нейтронного датчика (ТНД). Сам ТНД был выполнен в виде дифференциальной термопары с чувствительным к тепловым нейтронам материалом на «горячем» спае. Принцип его работы основан на возникновении температурного перепада между чувствительными тепловыми элементами и окружающей средой при размещении датчика в поле нейтронов. Чувствительным элементом ТНД является уран-никелевый сплав. Диапазон измеряемых потоков тепловых нейтронов находится в пределах от  $5 \times 10^{12}$  до  $5 \times 10^{14}$  нейтрон/см $^2$ ·с в водной среде.

Полученные результаты в ходе измерений плотности потоков тепловых нейтронов в вертикальных каналах сравнивались с расчётами, проведенными с помощью программы MCNP4C. На рис. 1 показано соответствие результатов измерений и расчётов для вертикального канала №3-4. Видно, что для облучения испытываемых образцов на максимальной дозе их необходимо помещать на уровне 20-40 см от верхнего края ТВС.

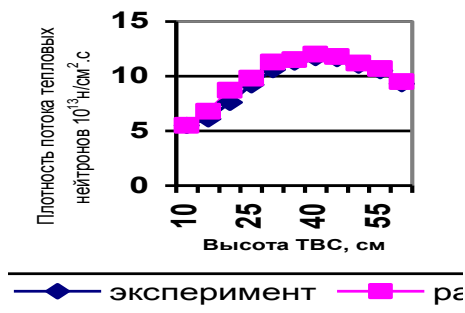


Рис. 1. Сравнение экспериментальных и расчётных значений распределения плотностей нейтронных потоков по высоте ТВС в вертикальном канале № 3-4.

Для определения величин потоков нейтронов в горизонтальном канале реактора использовалась методика активации тонких фольг. Измерения проводились в 6-м горизонтальном канале реактора. Использовалась фольга из золота толщиной 10-20 мкм и весом 1-5 мг парами, размещаемыми у входа в канал и на выходе. Одну из золотых фольг в каждой паре помещали в кадмиевый чехол толщиной 0,5 мм. Проводили облучение в течение 10 минут. Перед измерением активности образец выдерживался сутки в биологической защите.

По результатам измерений плотность потока тепловых нейтронов внутри горизонтального канала с 12% точностью равна  $\Phi_{\text{внк}}=1,8 \times 10^{12}$  нейтронов/см $^2$ ·с, а на выходе из канала -  $\Phi_{\text{внк}}=1,1 \times 10^{10}$  нейтронов/см $^2$ ·с. На выходе из тепловой колонны плотность потока тепловых нейтронов  $\Phi_{\text{тк}}=1,3 \times 10^{10}$  нейтронов/см $^2$ ·с  $\square$  12%, а кадмиевое отношение  $R_{\text{Cd}}=28 \square$  3.

Хорошее согласие экспериментальных и расчётных данных позволяет использовать результаты этой работы при выборе оптимальных режимов эксплуатации реактора.

## Секция 4. Физика и техника ядерных реакторов

### ИЗУЧЕНИЕ РАДИОНУКЛИДНОГО СОСТАВА ВОДЫ ИЗ ПЕРВОГО КОНТУРА ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ВВР-СМ

Расулова Ф.А., Байханова Н.Х., Буранов Ж.  
Институт Ядерной физики АН РУз  
fazilat.rasulova.1995@mail.ru

С целью оценки работы реактора, необходимо изучать изотопный состав воды первого контура. В практике водоочистки теплоносителя ядерных реакторов, а также дезактивации жидких отходов низкого и среднего уровней активности известны способы очистки с помощью органических ионообменных ионитов [1]. Так, при очистке продувочных реакторных вод используют сильнокислотный катионит и сильноосновной анионит в  $H^+$  – и  $OH^-$  – формах в виде смешанной загрузки либо используют отдельные фильтры. Согласно [2] для очистки воды реактора бассейнового типа от активности применяют ионообменный фильтр, загруженный головным слоем из катионита КУ-2-8 и смешанным слоем из КУ-2-8 и анионита АВ-17-8 соответственно в  $H^+$  – и  $OH^-$  – формах.

В наших исследованиях мы сорбировали 15 мл воды первого контура. При этом воду пропустили сначала через силикагель КСКГ, а затем пропустили через анионит А-23. Полученные  $\gamma$ -спектры исходной воды и сорбента приведены на рис.1. Было установлено, что силикагель КСКГ с радиусом частиц (0,1-1 мм) полностью сорбировал радионуклиды  $^{60}Co$  и  $^{140}La$  и частично изотопы йода. Оставшаяся часть радионуклида  $^{131}I$  сорбируется на анионите А-23. Таким образом, совместное применение этих двух сорбентов позволит провести одновременное определение активности радионуклидов  $^{60}Co$ ,  $^{140}La$  и  $^{131}I$  в воде первого контура ВВР-СМ.

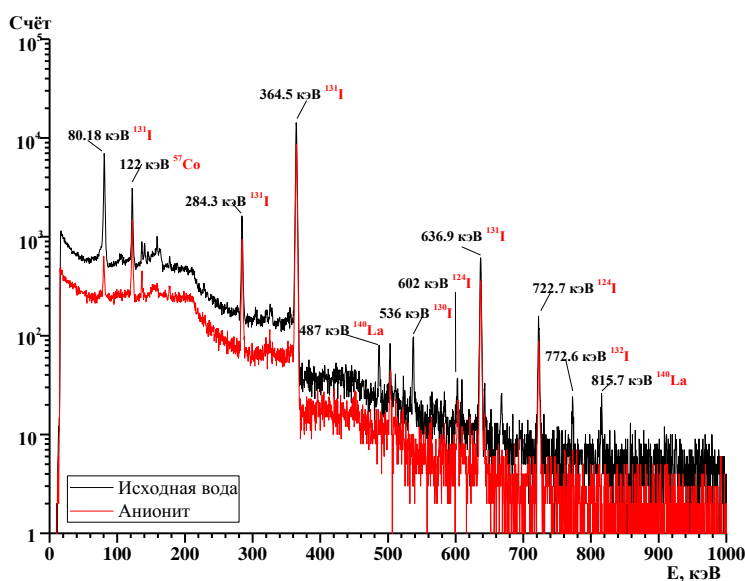


Рис.1. Спектр воды первого контура и её сорбента

Табл.1. Радионуклиды в воде первого контура

№	Ядро	$E_\gamma$ , кэВ	$T_{1/2}$
1	Co-60	1173,24	5,2714 лет
		1332,5	
2	I-123	158,97	13,27 ч
3	I-124	602,73	4,176 сут
		722,79	
		1690,98	
4	I-130	536,09	12,36 ч
		668,54	
		739,48	
5	I-131	80,18	8,0207 сут
		284,3	
		364,49	
		636,99	
6	I-132	522,65	2,295 ч
		630,19	
		667,72	
		772,6	
		954,55	
7	Xe-133	1398,57	5,243 сут
		80,99	
8	La-140	328,76	1,6781 сут
		487,02	
		815,77	
		1596,21	
9	La-142	641,28	91,1 мин

#### Список литературы

1. Кульский Л.А., Страхов Э.Б., Волошинова А.М., Близнюкова В.А.. Очистка вод атомных электростанций. – Киев: Наукова Думка, 1979, 208 с.
2. Егоров Е.В., Макарова С.Б.. Ионный обмен в радиометрии. – М.: Атомиздат, 1971, 408 с.

## Секция 4. Физика и техника ядерных реакторов

### НЕРАЗРУШАЮЩИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ БЕТОНА РАЗНЫХ МАРОК

Дюсамбаев Д.С.<sup>1</sup>, Айткулов М.Т.<sup>1</sup>, Мадиянова Ә.Н.<sup>2</sup>, Касымов А.Б.<sup>2</sup>,  
Бұғыбай Ж.Т.<sup>1</sup>, Киселев К.С.<sup>1</sup>, Аханов А.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт ядерной физики, ул. Ибрагимова 1, 050032, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> НАО “Университет имени Шакарима города Семей”, ул. Танирбергенова 1, 071412, Семей, Казахстан

Бетон – один из самых распространённых строительных материалов, который используется во многих сферах человеческой деятельности, начиная от строительства жилых домов и заканчивая промышленными строениями и не только. В атомной энергетике бетон используется как материал биологической защиты. Обычно бетонная смесь состоит из цемента, крупного и мелкого заполнителя, воды и различных добавок. Исходя, из области применения бетона подбирается правильное соотношение его составляющих. В данной работе приведены результаты исследования влияния состава бетона на его внутреннюю структуру. Исследования проведены неразрушающим методом нейтронной радиографии и томографии. Показано распределение пор и трещин в каждом образце. Приведены коэффициенты ослабления нейтронного излучения для исследуемых марок бетона. Оценена скорость миграции воды в бетоне разных марок.

## Секция 4. Физика и техника ядерных реакторов

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ УРАН-ГРАФИТОВОГО ТОПЛИВА РЕАКТОРА ИГР

Бочков В.С.<sup>1</sup>, Гордиенко Ю.Н.<sup>1</sup>, Понкратов Ю.В.<sup>1</sup>, Кульсартов Т.В.<sup>1,2</sup>,  
Бакланова Ю.Ю.<sup>1</sup>, Тулубаев Е.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> филиал Институт атомной энергии Национального Центра Республики Казахстан, Курчатов, Казахстан

<sup>2</sup> НИИЭТФ КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Использование высокообогащенного уран-графитового топлива (ВОУ-топливо) в исследовательских реакторах (ИР) вызывает серьезную озабоченность мирового сообщества в связи с опасностью распространения ядерных материалов, пригодных для создания ядерного оружия. В связи с этим в настоящее время в филиале ИАЭ НЯЦ РК проводятся масштабные работы, связанные с конверсией двух уникальных исследовательских реакторов ИВГ.1М и ИГР, которые должны пройти процедуру конверсии со снижением обогащения топлива с 90 % до 19,75 % по U-235 (НОУ-топливо).

Индивидуальные решения конструкции ядерного топлива обоих реакторов ставят серьезные требования к разработчикам нового низкообогащенного вида топлива.

Прежде чем осуществлять перевод реактора ИГР на НОУ-топливо необходимо провести ряд испытаний, одним из которых является высокотемпературная стойкость топлива в условиях циклического нагрева-охлаждения.

В данной работе приводится описание методики экспериментов и результаты термоциклических испытаний уран-графитового топлива реактора ИГР. Подробно описываются испытания, которые проводились на экспериментальном комплексе ТиГра. Экспериментальный комплекс был создан на базе термогравиметрического анализатора TGA/DSC3+ и системы масс-спектрометрического анализа газов ThermoStar. В ходе испытаний топлива реактора ИГР было проведено 100 циклов нагрева-охлаждения в температурном интервале от 150 °С до 1100 °С со скоростью нагрева 100 °С/мин и охлаждения 50 °С/мин. При этом велась регистрация изменения массы образца и состава газовой фазы над образцом.

Полученные в ходе проведения испытаний результаты будут являться контрольными в критерии пригодности нового низкообогащенного уран-графитового топлива, которым планируется заменить топливо в активной зоне реактора ИГР по программе конверсии исследовательских реакторов РК.

## Секция 4. Физика и техника ядерных реакторов

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЖИМА ЯДЕРНОГО НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИ ЭКСПОРТЕ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ С ЗАМКНУТЫМ ЯТЦ

Горин Н.В.<sup>1</sup>, Кузнецов Е.В.<sup>1</sup>, Волошин Н.П.<sup>1</sup>, Чуриков Ю.И.<sup>1</sup>, Чебесков А.Н.<sup>2</sup>,  
Кучинов В.П.<sup>3</sup>, Шидловский В.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ФГУП РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина, г. Снежинск, Челябинской обл., Россия.

<sup>2</sup>ГНЦ РФ-ФЭИ, г. Обнинск, Калужской обл., Россия.

<sup>3</sup>НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия.

<sup>4</sup>АО «Прорыв», г. Москва, Россия.

В настоящее время энергоносители – это основной товар на международных рынках, с которым связаны наиболее острые международные проблемы, как, например, из-за газопровода «Северный поток-2». Вполне возможно, что через несколько десятилетий использование угля, нефти и газа уменьшится из-за истощения запасов или будет законодательно ограничено из-за экологических угроз. Тогда единственным энергоносителем останется уран, но не для открытого топливного цикла на уране-235, а для замкнутого с использованием урана-238 в реакторах на быстрых нейтронах. В течение ближайших десятилетий возможно начало экспорта быстрых реакторов с замкнутым ядерным топливным циклом в страны, не обладающие ядерным оружием, что потребует усиления режима нераспространения и повышения эффективности гарантий МАГАТЭ. Они могут быть достигнуты совершенствованием системы учета и контроля ядерных материалов и надежностью их физической защиты. Известно, что существующие в настоящее время погрешности системы учета и контроля не гарантируют выполнения режима нераспространения. Предстоит оценить достижимые погрешности и определить необходимые для этого сроки и трудозатраты так, чтобы система учета и контроля позволяла делать вывод о несанкционированном вмешательстве в процесс переработки топлива и, следовательно, о соблюдении/нарушении режима нераспространения. Система физической защиты ядерного материала более подготовлена к контролю режима нераспространения, однако необходимы дополнительные исследования ее устойчивости на территории государства-импортера. Рассмотрены особенности выполнения режима ядерного нераспространения при экспорте Россией быстрых реакторов с замкнутым ЯТЦ для двух вариантов – с возвратом ОЯТ на переработку в Россию и переработкой на месте на предприятиях замкнутого ЯТЦ, приобретенных страной-импортером вместе с быстрым реактором. Показано, что при возврате ОЯТ на переработку в Россию режим ядерного нераспространения полностью выполняется, возможностей существующих систем физической защиты и гарантий МАГАТЭ вполне достаточно, что подтверждается многолетней практикой экспорта российских ВВЭР с возвратом ОЯТ в Россию.



## Секция 4. Физика и техника ядерных реакторов

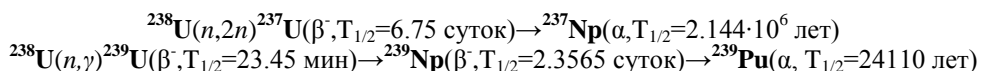
### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ МИНОРНЫХ АКТИНИДОВ (Np-237 и Pu-239) ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ НЕЙТРОНОВ С ПРИРОДНЫМ УРАНОМ

Тютюнников С.И.<sup>1</sup>, Стегайлов В. И.<sup>1</sup>, Юлдашев Б.С.<sup>1,2</sup>,  
Розов С.В.<sup>1</sup>, Бруква А.Е.<sup>1</sup>, Хушвактов Ж.Х.<sup>1</sup>, Перевошиков Л.Л.<sup>1</sup>, Шакун Н.Г.<sup>1</sup>,  
Крячко И.А.<sup>1</sup>, Расулова Ф.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Объединенный институт ядерных исследований, г.Дубна, Россия

<sup>2</sup> Институт Ядерной физики АН РУз, г.Ташкент, Узбекистан

Данная работа посвящена к проблеме трансмутации и сделана с целью определения наработки минорных актинидов в урановой мишени. Минорные актиниды <sup>237</sup>Np и <sup>239</sup>Pu образуются в результате реакций:



Мишень природного урана облучена во вторичном нейтронном поле, которое получено при облучении свинцового конвертора на пучке протонов ( $E_p=660$  МэВ). Измерение спектров облученных мишеней проведено на Ge-Li детекторе планарной геометрии. Спектры обработаны с помощью программы DEIMOS 3.5, которая даст возможность разложить мультиплеты. При обработке вводились поправки: на эффективность регистрации гамма-квантов в детекторах и на самопоглощение гамма-квантов внутри образцов во время измерения. При этом введено понятие реальной абсолютной эффективности системы, которая содержит неточный образец с детектором. В ходе обработки данных идентифицированы более 20 ядер на основе энергии и периода полураспада гамма-переходов. На основе идентифицированных ядер получена массовая диаграмма продуктов деления [2].

Чтобы оценить коэффициента наработки минорных актинидов в мишени необходимо вычислять отношение выхода продукта захвата к половине суммы выходов продуктов деления, поскольку в одном делении образуются две продукты деления. Применяя понятие реальной абсолютной эффективности, вычислены выходы идентифицированных ядер. На основе выполненных расчётов построена зависимость относительного выхода от массового числа образовавшихся ядер [рис.1]. Из рисунка видно, что при больших энергиях налетающих частиц в мишени урана происходит реакция деления и можно наблюдать двугорбая кривая деления.

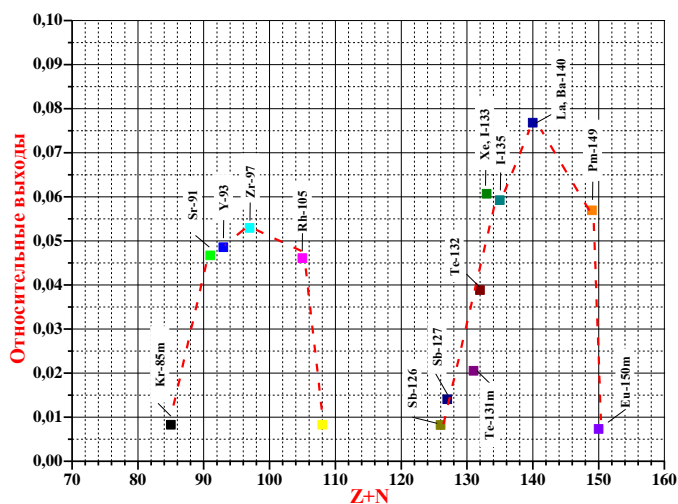


Рис.1. Относительные выходы в облученной мишени <sup>238</sup>U

Продолжается обработка спектров облученных мишеней природного урана, нептуния-237, плутония-239 и америция-241 по получению отношения захвата к делению, что существенно расширяет возможности определения и проведения экспериментов по трансмутации и выжиганию актинидов.

*Благодарности. Исследование выполнено в рамках проекта «Энергия и трансмутация» в ОИЯИ.*

#### Список литературы

1. S. Kilim et al., Nucleonika 63(1), 17 (2018).
2. S.I.Tutyunnikov, F.A.Rasulova, V.I.Stegailov, et al., «Nucleus–2020», St-Petersburg, 115 (2020).

## Секция 4. Физика и техника ядерных реакторов

### ИЗМЕРЕНИЕ ПОТОКОВ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ ОТ РЕАКТОРА ВВР-К НЕЙТРОННЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ СНМ-18

Мухамеджанов Е.С.<sup>1,2,3</sup>, Садуев Н.О.<sup>1</sup>, Каликулов О.А.<sup>1</sup>, Оскомов В.В.<sup>1</sup>, Седов А.Н.<sup>1</sup>,  
Жумабаев А.И.<sup>1</sup>, Ережеп Н.О.<sup>1</sup>, Шинбулатов С.К.<sup>1</sup>, Бактораз А.Е.<sup>1</sup>,  
Утей Ш.Б.<sup>1</sup>, Шаймерденов А.А.<sup>2</sup>, Айткулов М.Т.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НАО Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>РГП «Институт ядерной физики» МЭ РК, г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия

В данной работе представлены первичные результаты измерения потоков тепловых нейтронов от реактора ВВР-К по новой методике автоматического измерения потоков нейтронов.

При разработке аппаратуры для автоматического измерения потоков нейтронов от излучения реактора ВВР-К, определяющими критериями оптимизации являются потребляемая мощность, вес, габариты нейтронного детектора [1].

На основании проведенных экспериментальных исследований были определены оптимальные уровни питающих напряжений, а также определена конструкция аппаратуры для автоматического измерения нейтронных потоков от реактора [2,3]. Основные элементы конструкции детектора нейтронов, следующие:

- Блок водородсодержащего замедлителя;
- Элементы крепления детектора нейтронов (СНМ-18 или аналогичного);
- Конструкция узла усилителя и микроконтроллера для анализа сигнала от детектора;
- Конструкция узла для высоковольтного источника питания и передатчика сигналов.

В результате измерения были выявлены корреляции измеряемых потоков с режимами работы реактора.

#### Список литературы

1. N.O. Sadyev, O.A. Kalikulov, A.N. Sedov, Y.S. Mukhamejanov, V.V. Oskomov, S.K.Shinbulatov, N.O.Yerezhep, A.I.Zhumabayev, Sh.B.Utey, A.Y. Baktoraz Development of an automated system for the determination of the snow water equipment and soil moisture by the neutron component of cosmic rays // Acta Physica Polonica B. – 2020. –Vol. 51, –No. 3, –P. 887-892.
2. Оскомов В. В., Седов А. Н., Садуев Н. О., Каликулов О. А., Мендибаев К. О., Жумабаев А. И., Мухамеджанов Е. С., Искаков Б. А., Байгарашев Д. М., Таутаев Е. М., Кенжина И. Е. Микромощные узлы радиоэлектронного тракта нейтронного детектора // Известия НАН РК, Серия физико-математическая 2(294). – 2014. – С. 69-73.
3. Oskomov V., Sedov A., Saduyev N., Kalikulov O., Kenzhina I., Tautayev E., Mukhamejanov Y., Dyachkov V., Utey Sh. Data collection system for a wide range of gas-discharge proportional neutron counters // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 936. – 2017. – P. 012047 (1-5).

## Секция 4. Физика и техника ядерных реакторов

### МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИСПЫТАНИЮ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ РЕАКТОРЕ ИВГ.1М

Самарханов К.К.<sup>1</sup>, Понкратов Ю.В.<sup>1</sup>, Кашайкин П.Ф.<sup>2</sup>, Гордиенко Ю.Н.<sup>1</sup>,  
Гныря В.С.<sup>1</sup>, Тулубаев Е.Ю.<sup>1</sup>, Бочков В.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> филиал Институт атомной энергии Национального Центра Республики Казахстан, Курчатов, Казахстан

<sup>2</sup> Научный центр волоконной оптики им. Е.М. Дианова РАН, Москва, РФ

В настоящее время оснащение ядерных реакторов волоконными световодами (ВС) волоконно-оптическими датчиками на основе волоконных брэгговских решеток (ВБР) [1, 2] является растущей тенденцией в развитии атомной промышленности [3], а также целого ряда других отраслей науки [4]. ВБР, устанавливаемые в таких сильных внутриреакторных радиационных полях, в настоящее время интенсивно развиваются (например, см. [5, 6]). В международном термоядерном реакторе ИТЭР больше половины параметров плазмы планируется измерять оптическими и лазерными системами, неотъемлемой частью которых являются ВС [7].

Разработана методика проведения реакторных измерений с *in-situ* контролем, позволивших провести сравнительные испытания радиационно-стойких одномодовых волоконных световодов ведущих зарубежных производителей с различным защитным покрытием, а также волоконно-оптических ВБР-датчиков температуры в условиях комбинированного нейтронно-гамма облучения. Приведено описание и адаптирование ВС и ВБР-датчиков температуры, а также экспериментально-измерительного оборудования для проведения облучательных испытаний на исследовательском реакторе ИВГ.1М. Приведено описание и различные этапы сборки конструкции прототипа облучательного устройства (ОУ) для проведения реакторных испытаний радиационно-стойких ВС и волоконно-оптических ВБР-датчиков температуры в ближнем ИК-диапазоне. Представлены методические испытания датчиков и оптоволоконна при различных условиях температуры и накопленного нейтронного флюенса. Приводится интерпретация полученных результатов и выработаны методические рекомендации для последующих полномасштабных реакторных испытаний.

Работа выполнена в рамках исполнительного соглашения № 1 между НЯЦ РК и ИТЭР по проекту «Испытания радиационной стойкости волокон и оптоволоконных датчиков для изучения поведения датчиков в условиях ИТЭР».

#### Список литературы

1. J. Canning, "Fiber gratings and devices for sensors and lasers," *Lasers and Photonics Reviews*, vol. 2, no. 4, 275-289, 2008.
2. C. E. Campanella, A. Cuccovillo, C. Campanella, A. Yurt, V. M. N. Passaro, "Fibre Bragg grating based strain sensors: review of technology and applications," *Sensors*, vol. 18, Art 315, 2018. DOI:10.3390/s18093115.
3. P. Ferdinand, S. Magne, G. Laffont, "Optical fiber sensors to improve the safety of nuclear power plants," *Photonic Sensors*, pp. 1-7, 2014. DOI: 10.1007/s13320-013-0138-z
4. O. V. Butov, A. P. Bazakutsa, Yu. K. Chamorovskiy, A. N. Fedorov, I. A. Shevtsov, "All-Fiber Highly Sensitive Bragg Grating Bend Sensor", *Sensors*, vol. 19, no. 19, Art 4228, 2019, <https://doi.org/10.3390/s19194228>
5. O.V. Butov, Y.K. Chamorovskii, K.M. Golant, I.A. Shevtsov, A.N. Fedorov, "Fibers and sensors for monitoring nuclear power plants operation", *Proc. SPIE*, vol. 9157, Art 91570X, 2014. DOI: 10.1117/12.2059041.
6. G. Cheymol, L. Remy, A. Gusarov, D. Kinet, P. Mégret, G. Laffont, T. Blanchet, A. Morana, E. Marin, S. Girard,, "Study of fiber Bragg grating samples exposed to high fast neutron fluences," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 65, no. 9, pp. 2294-2501, 2018. DOI: 10.1109/TNS.2018.2820505.
7. De Vicente S. M. G., Hodgson E. R., Shikama T. Functional materials for tokamak in-vessel systems—status and developments // *Nuclear Fusion*. – 2017. – Т. 57. – №. 9. – С. 092009.

## Секция 4. Физика и техника ядерных реакторов

### КОМПАКТНЫЙ НЕЙТРОННЫЙ СЕЛЕКТОР СКОРОСТЕЙ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗМЕРЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ОХН

Турлыбекулы К.<sup>1,2,3</sup>, Лычагин Е.В.<sup>1</sup>, Муzychка А.Ю.<sup>1</sup>, Нехаев Г.В.<sup>1</sup>, Стрелков А.В.<sup>1</sup>, Сахиев С.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>3</sup>Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

В экспериментах нейтронной физики очень часто бывает, что знание и определение скорости рассматриваемых нейтронов и их энергии необходимо для проведения полноценного эксперимента. Для выделения определенной скорости медленных нейтронов нужен экспериментальный инструмент, называемый нейтронный селектор скоростей.

В экспериментах группы ОЯФ ЛНФ ОИЯИ по определению коэффициента отражения очень холодных нейтронов, важнейшей частью является нейтронный селектор скоростей[1]. Таким образом, в целях эксперимента ставилась цель создания нового нейтронного селектора скоростей с высоким пропусканием и умеренным разрешением, оптимальным для его использования в эксперименте.

Нейтронный селектор скоростей – крутящийся цилиндр из поглощающего материала с определенным диаметром, по периферии которого располагались по всей длине цилиндра винтовые щели нужной ширины по всей длине цилиндра с заданным углом сдвига входного и выходного отверстий щели.

В этой работе представлен теоретический расчет нейтронного селектора скорости для очень холодного нейтронного пучка в диапазоне длин волн 30–160 А, а также процедура оптимизации геометрии. Вычисляются выходная длина волны и разрешение по скорости вращения. Также оцениваются эффекты расходимости входящего пучка.

#### Список литературы

1. E.V. Lychagin, A.Yu. Muzychka, V.V. Nesvizhevsky, G. Pignol, K.V. Protasov, A.V. Strelkov. Storage of very cold neutrons in a trap with nano-structured walls // Physics Letters B 679 (2009) 186–190

## Секция 5. Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТА РАДИОСЕНСИБИЛИЗАЦИИ

Абдуллаева Г.А., Кулабдуллаев Г.А., Небесный А.Ф., Ким А.А., Норматов Э.Х.

Институт ядерной физики Академии Наук Республики Узбекистан, Ташкент

В течение последнего десятилетия широко исследуется увеличение дозы облучения, вызванное насыщением опухоли тяжелыми атомами, такими как золото, гадолиний, висмут, платина [1-7]. Результаты этих исследований указывают на сильную зависимость этого эффекта от энергии фотонного излучения. При этом для достижения эффекта радиосенсибилизации в качестве источника фотонного излучения, можно рассматривать следующие варианты: рентгеновская трубка, радионуклиды используемые в однофотонной томографии с энергией от 60 до 300 кэВ, используемые в брахитерапии радионуклиды, испускающие, в основном, рентгеновские кванты с энергией до ~30 кэВ. При использовании радионуклидных источников фотонного излучения потребуется проведение дополнительных расчетов интенсивности пучка необходимой энергии с учетом периода полураспада, а также создание устройств коллимации. Также пучки моноэнергетических фотонов получают на синхротронах, но это является достаточно не простой задачей для использования как клинической технологии. Наиболее простым и достаточно удобным способом получения фотонов является использование «ортовольтных» рентгеновских аппаратов с различными фильтрами, которые позволяют создавать в ткани определенную форму распределения энергетического спектра первичных фотонов, оптимальной для протекания физических процессов, на которых основана радиосенсибилизация. Использование в качестве источника фотонного излучения рентгеновской трубки удовлетворяет требованию монохроматичности пучка. Для этой цели могут быть использованы рентгеновские микрофокусные аппараты, предназначенные для научных исследований, рентгенодиагностики, просвечивания. Функциональные возможности и технический уровень рентгеновской аппаратуры в значительной степени определяются параметрами используемых в ней источников излучения, важнейшей характеристикой которых является спектр излучения. При этом данные по спектрам излучения рентгеновских трубок зачастую отсутствуют и заменяются качественными оценками по слою половинного ослабления мощности дозы в стандартном материале, по «эффективной» и средней энергии. Решение данной задачи возможно путем расчета спектра излучения рентгеновской трубки в зависимости от ее конструктивных и технических параметров.

Для моделирования рентгеновского спектра нами были использованы соотношения из [8] и выбраны следующие параметры: мишень анода трубки – W; толщина мишени – 50 мкм; ток - 100 мкА; напряжения - 100 кВ, 150 кВ, 200 кВ и 300 кВ, толщина Be окна – 100 мкм. Полученные спектры излучения показывают возможность осуществления эффекта радиосенсибилизации с использованием современных рентгеновских трубок используемых в медицине и являются первым шагом на пути решения проблемы клинического применения радиосенсибилизаторов в фотонной терапии.

#### Список литературы

1. Butterworth K.T., McMahon S.J., Currell F.J. et al. // *Nanoscale*. 2012. № 4. P. 4830.
2. E. Porcel et al. // *Nanotechnology*, 2010, № 21, P. 85103.
3. J. Marill et al. // *Radiat. Oncol.*, 2014, № 9, P. 150.
4. L. Sancey et al. // *Br. J. Radiol.*, 2014, № 87, P. 134.
5. F.-K. Huang et al. // *Phys. Med. Biol.*, 2010, № 55, P. 469.
6. C. Wälzlein et al. // *Phys. Med. Biol.*, 2014, № 59, P. 1441.
7. Stewart C, Konstantinov K, McKinnon S. et al. // *Phys. Medica*. 2016. № 32. P. 1444.
8. Рентгентехника: Справочник. В 2-х кн. / Под ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение. 1980. С. 375.

## Секция 5. Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТА РАДИОСЕНСИБИЛИЗАЦИИ В ПРИСУТСТВИИ ГАДОЛИНИЯ

Абдуллаева Г.А., Кулабдуллаев Г.А., Ким А.А., Небесный А.Ф., Джуроева Г.Т., Юлдашев Д.О.

*Институт ядерной физики Академии Наук Республики Узбекистан, Ташкент*

Лучевая терапия, основанная на рентгеновском облучении, является широко применяемой стратегией лечения онкологических заболеваний. Однако такое лечение обычно приводит к недостаточному накоплению дозы облучения в опухолевых клетках, что неизбежно имеет серьезные побочные эффекты для сохранения нормальных тканей. Одним из методов повышения эффективности радиотерапии является предварительное насыщение опухоли элементами с высоким  $Z$  ( $Z \geq 53$ ) и последующим облучением рентгеновским излучением. Возникающее при этом выделение энергии за счет фотоэффекта локализуется в биологической ткани соответственно распределению препарата, содержащего «тяжелые» элементы. Проблема достижения максимального эффекта при радиосенсибилизации заключается в отсутствии подходящего специфичного для опухоли механизма доставки элементов с высоким  $Z$ . В последние годы наблюдается значительный интерес к применению наночастиц для этой цели [1-4]. Эффект радиосенсибилизации наночастицами зависит от их состава, морфологии и размера, что сильно влияет на эффективность визуализации и терапии при применении наночастиц.

В данном исследовании мы оцениваем особенности усиления дозы МРТ-контрастным веществом – магневистом, содержащим Gd. Из-за увеличения времени релаксации и высокого атомного номера ( $z=64$ ) Gd может быть использован в лучевой терапии в качестве радиосенсибилизатора. Наш интерес обусловлен тем, что ранее нами проводились исследования фармакокинетики магневиста при внутриопухолевом и внутримышечном введении на животных и по накоплению гадолиния в глиомных опухолях головного мозга человека [5-6].

Чтобы осуществить количественную оценку эффекта радиосенсибилизации необходимо определить параметр, называемый фактором повышения дозы - DEF (Dose enhancement factor). В работе определены значения DEF, основанные на анализе массовых коэффициентов поглощения-  $\mu_{en}/\rho$  гадолиния к биологической ткани при энергиях моноэнергетического рентгеновского излучения – 27,0; 59,5; 100,7 и 324,3 кэВ. Увеличение DEF наблюдается при энергии излучения выше энергии ионизации  $K$ -оболочки атома Gd, указывая на то, что фотоэффект играет главную роль в радиосенсибилизации, которая сильно зависит от энергии излучения.

#### Список литературы

1. D. B. Chithrani et al. // Radiat. Res., 2010, № 173, P. 719.
2. S. Jain, et al. // Int. J. Radiat. Oncol., Biol., Phys., 2010, № 79, P. 531.
3. J.-K. Kim, et al. // Phys. Med. Biol., 2012, № 57, P. 8309.
4. J. Hainfeld, et al. // Future Med. Chem., 2013, № 8, P. 1601.
5. A. Kim, G. Kulabdullaev, Yu. Koblik et al. // IJNESE. 2014. V.4. № 2. P. 43.
6. G. Kulabdullaev, G. Abdullaeva, G. Djuraeva et al. // Open Phys. 2015. № 13. P. 183.
7. Kulabdullaev G.A., Kim A. A., Abdullaeva G.A. et al. // IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS). 2019. V. 18, Issue 7 Ser. 8. P. 69-75.

## Секция 5. Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОХИМИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЫ РАДИОНУКЛИДА ХЛОРИДА ЛЮТЕЦИЙ-177, ПРИМЕНЯЕМОГО В ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ

Хажиев Л.О.<sup>2</sup>, Садиков И.И.<sup>1</sup>, Абдукаюмов А.М.<sup>2</sup>, Рихсиев А.З.<sup>2</sup>, Усаров З.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики АН РУз

<sup>2</sup>Предприятию «Радиопрепарат»

hajiyev.lazizbek@mail.ru

В настоящее время радионуклид лютеций-177 (<sup>177</sup>Lu), обладающий оптимальными ядерно-физическими характеристиками ( $T_{1/2}=6,7$  суток), приемлемой энергией  $\beta$ -частиц (максимум 0,5 МэВ), что позволяет уничтожать небольшие опухоли и метастазы, не затрагивая здоровые ткани; мягкое сопутствующее  $\gamma$ -излучение с достаточной энергией для визуализации, широко используется в ядерной медицине для терапии нейроэндокринных опухолей [1].

За последние несколько лет радионуклид <sup>177</sup>Lu привлек значительное внимание и продемонстрировал большие перспективы в научных, коммерческих и клинических кругах для использования в различных терапевтических процедурах [2-3].

За относительно короткий период времени, <sup>177</sup>Lu не только укрепил свой потенциал, но и прочно закрепился в области таргетной радионуклидной терапии (ТРТ), а также <sup>177</sup>Lu практически проник во все области радионуклидной терапии *in vivo* и, возможно, готов стать ключевым терапевтическим радионуклидом выбора для ТРТ [4].

В настоящей работе приведен результат экспериментов по определению радиохимической чистоты (РХЧ) хлорида лютеция (<sup>177</sup>LuCl<sub>3</sub>) методом тонкослойной хроматографии (ТСХ).

В качестве подвижной фазы был использован раствор цитрата натрия концентрацией 0,1 моль/л. В этой системе свободный лютеций <sup>177</sup>Lu<sup>3+</sup> продвигается с фронтом растворителя с  $R_f=0,9\pm 0,02$ , а коллоид или LuCl<sup>4+</sup> остается на старте  $R_f=0,0-0,2$ .

На рис. Приведен результат хроматографирования хлорида Лютеция.

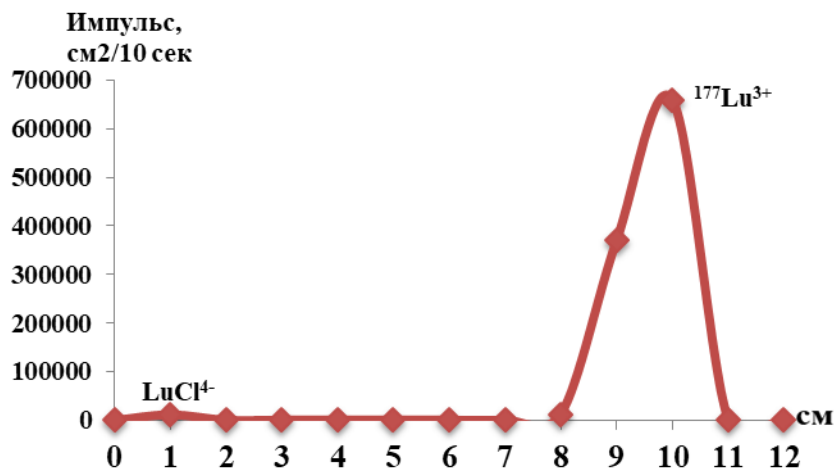


Рис. Гистограмма распределения активности лютеция-177 подлине хроматограммы.

Из хроматограмм видно, полное разделение на тонкослойной пластинке <sup>177</sup>Lu<sup>3+</sup> и коллоид или LuCl<sup>4+</sup>. Из полученных результатов видно, что РХЧ радионуклида лютеция-177 составляет 99,6 %.

#### Список литературы

1. Чувиллин Д.Ю., Загрядский В.А., Меньшиков Л.И., Прошин М.А., Семенов А.Н., Патент РУ, №2594020 МПК G21G4/08 публ. бюл. №22 2016 г.
2. Cutler CS, Hennkens HM, Sisay N, Huclier-Markai S, Jurisson SS. Radiometals for combined imaging and therapy. Chem Rev. . 2013;113:858–883
3. Dash A, Knapp FF, Jr, Pillai MRA. Targeted radionuclide therapy—an overview. Curr Radiopharm. 2013;6:152–180.
4. Dash, Maroor Raghavan Ambikalmajan Pillai, Furn F. Knapp. Jr. Production of <sup>177</sup>Lu for Targeted Radionuclide Therapy: Nucl Med Mol Imaging. 2015; 49(2): 85–107.

## **Секция 5. Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве**

### **ПЛАЗМЕННАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ЗАМКНУТОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА**

Тихонов А.Е., Головков Н.И., Беспала Ю.Р., Новоселов И.Ю.

Научный руководитель: Новоселов И.Ю., преподаватель Отделения ядерно-топливного цикла Инженерной школы ядерных технологий ТПУ  
Томский политехнический университет, Россия, г. Томск

Госкорпорация «Росатом» первой в мире приступила к созданию замкнутого ЯТЦ, который предусматривает поставку с АЭС отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), его выдержку в бассейнах, переработку с извлечением Pu-239 и U-238 для производства на их основе МОКС-топлива для дальнейшей поставки на АЭС.

Основой технологии переработки ОЯТ радиохимических заводов является PUREX-процесс, обеспечивающий высокую степень извлечения урана и плутония [1]. При этом в качестве экстрагентов для извлечения урана и плутония применяют трибутилфосфат с различными разбавителями (керосин, очищенные углеводороды, четыреххлористый углерод, гексахлорбутадиен).

Под действием радиоактивного облучения, обусловленного высоким содержанием в растворе продуктов деления, экстрагенты с течением времени теряют свою эффективность и превращаются в горючие отходы переработки ОЯТ (ГОП ОЯТ), технологий утилизации которых в настоящее время нет.

В связи с этим представляют научный и практический интерес возможность использования низкотемпературной плазмы для утилизации таких отходов. Как показано в работе [2], плазменная утилизация отходов в виде оптимальных по составу горючих водно-органических композиций, имеющих адиабатическую температуру горения около 1200 °С, обеспечивает их энергоэффективную и экологически безопасную утилизацию.

В данной работе представлены результаты исследований процесса плазменной утилизации ГОП ОЯТ в виде диспергированных горючих водно-органических композиций. В результате проведенных расчётов определены и рекомендованы для практической реализации оптимальные составы горючих водно-органических композиций и режимы их плазменной утилизации. С учетом полученных результатов проведены экспериментальные исследования процесса плазменной утилизации диспергированных горючих водно-органических композиций в воздушной плазме высокочастотного факельного разряда. Показано, что применение плазменной утилизации ГОП ОЯТ в воздушной неравновесной плазме высокочастотного факельного разряда позволяет обеспечить их энергоэффективную и экологически безопасную утилизацию.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии плазменной утилизации горючих отходов переработки ОЯТ и других жидких радиоактивных отходов.

#### **Список литературы**

1. Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 448 с.
2. Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Ковалев А.В., Новоселов И.Ю. Расчет и оптимизация процесса плазменной утилизации горючих отходов переработки отработавшего ядерного топлива // Известия вузов. Физика. – 2014. – Т. 57. – № 2/2. – С. 31–34.



## Секция 5. Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве

### МОНИТОРИНГ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ С ПОМОЩЬЮ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Безноско Д.<sup>1</sup>, Бердыхалых Т.<sup>2</sup>, Жуков В.В.<sup>3,4</sup>, Искаков Б.А.<sup>2,5\*</sup>, Садыков Т.Х.<sup>2,5</sup>,  
Салихов Н.М.<sup>3,6</sup>, Таутаев Е.М.<sup>2,5</sup>, Щепетов А.Л.<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Университет Гарвард, Кембридж, США

<sup>2</sup>Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Тянь-Шанская высокогорная научная станция, Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>ФИАН РФ имени Л.П. Лебедева, Москва, Россия

<sup>5</sup>Сатбаев Университет, ТОО «Физико-технический институт», Алматы, Казахстан

<sup>6</sup>Институт ионосферы, Алматы, Казахстан

Нерешенной проблемой традиционной сейсмологии к настоящему времени остается выделение из потока регистрируемой многочисленными сейсмическими датчиками информации строго определенного сигнала о приближении конкретного во времени и пространстве катастрофического землетрясения. Такой сигнал обычно теряется на постоянном фоне от большого числа. На рубеже 1980-х и 1990-х годов учеными из Физического института им. П. Н. Лебедева и Института физики Земли была разработана предварительная концепция нового перспективного направления в сейсмологии: использование для прогноза землетрясений сигнала от упругих колебаний в акустическом диапазоне частот, которые, предположительно, могут генерироваться под воздействием локальной ионизации, образованной в момент прохождения проникающих частиц космического излучения — мюонов высокой энергии, — через сейсмически напряженную среду в глубинных слоях земной коры [1-3]. В случае, если бы такой подход оказался осуществимым, зондирование земной коры пучком проникающих энергичных мюонов, постоянным источником которых являются космические лучи высокой энергии, позволило бы вести непосредственный мониторинг внутреннего состояния литосферы на глубинах 1–20 км, что максимально близко к зоне формирования очагов землетрясений.

Установка для мониторинга геоакустических сигналов, коррелированных по времени с потоком высокоэнергичных мюонов космических лучей, рожденных в широких атмосферных ливнях, функционирующая на базе экспериментального комплекса «ATHLET» на Тянь-Шаньской Высокогорной Научной Станции, на территории Алматинского сейсмоактивного региона, совместно с созданной здесь представительной региональной сетью сейсмических станций, представляют собой уникальный экспериментальный полигон для набора статистического материала по влиянию потока мюонов космических лучей на сейсмоактивную среду, что в итоге не только расширит фундаментальные знания в области геокосмических связей, но и позволит решить прикладную задачу - разработать новый космогеофизический метод прогноза сильных землетрясений в регионе.

#### Список литературы

1. Царев В. А. О геофизических приложениях нейтринных пучков // *УФН*. — 1985. — Т. 147, № 10. — С. 426–427.
2. Царев В. А., Чечин В. А. Атмосферные мюоны и высокочастотные сейсмические шумы // Препринт ФИАН. -1988. -№ 179.
3. Салеев В.А., Царев В.А., Чечин В.А. О мюоном методе в нейтринной геофизике // Краткие сообщения по физике ФИАН, -1985. -№7, -С. 49

## Секция 5. Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ FLUKA И GEANT4 ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПРОТОННОЙ ТЕРАПИИ

Абдувалиев А.А.<sup>1</sup>, Боборахимова О.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт ядерной физики АНРУз, г. Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup> Национальный университет Узбекистана, г. Ташкент, Узбекистан

Преимуществом протонной и ионной терапии по сравнению с гаммой, электронной и нейтронной терапиями является тот факт, что основные потери энергии происходят на последних миллиметрах пробега иона перед остановкой (Брэгговский пик). Таким образом, варьируя энергию ионов, можно добиться чтобы максимальное энергосодержание происходило по всей глубине опухоли с минимальным ущербом для окружающей здоровой ткани. Вместе с тем эффективное лечение требует тщательной предварительной подготовки, учета химического состава ткани. Одним из компонентов этой подготовки является моделирование процессов в биологических тканях.

Наиболее достоверным методом для исследования процессов прохождения излучения через вещество является метод Монте-Карло (метод статистических испытаний). Это численный метод решения математических задач при помощи моделирования случайных величин. Метод Монте-Карло позволяет моделировать любой процесс, на протекание которого влияют случайные факторы [1-2]. Они используются в целом ряде пакетов, предназначенных для моделирования взаимодействия с веществом частиц различного сорта. Некоторые Монте-Карло пакеты (такие как Geant4, Egs, Mars) требуют написания так называемого пользовательского кода, с помощью которого определяются геометрия и структура всего эксперимента. Другие пакеты (такие как MCNP) считывают пользовательские директивы из файла ввода [3]. FLUKA принадлежит ко второй группе, что подразумевает следующее: от пользователя не требуется написания программного кода за исключением «нестандартных» случаев [4].

В моделировании применялся набор физических взаимодействий, описывающий электромагнитные процессы. В модели учтены следующие процессы: ионизация атомов, рождение  $\delta$  - электронов, многократное рассеяние (для некоторых исследований модель исключалась), комптоновское рассеяние, тормозное излучение, фотоэффект, рождение пар,  $e^+e^-$  - аннигиляция [5].

Для тестирования разработанной программы прохождения протонов было произведено сравнение положения пика Брэгга от моноэнергетического пучка протонов с энергией 60 МэВ, рассчитанного в FLUKA, с результатами по программе Geant4: отличие в положении пика составило 0,16 %. Сравнение результатов, полученных в нашей работе и в работе [6], приведено в таблице.

Параметр	Значение		
	Fluka	Geant4	[6]
Позиция пика Брэгга, мм	30,50	30,50	30,45
$E_{ПБ} / E_{Вх}$	5,55	6,03	6,65

$E_{ПБ}$  и  $E_{Вх}$  — поглощенные энергии в пике Брэгга и на входе в фантом

Полученные результаты неплохо согласуются друг с другом.

#### Список литературы

1. N. Metropolis, S. Ulam. The Monte Carlo Method // Journal of the American Statistical Association, Vol. 44, No. 247 (Sep., 1949), pp. 335-341.
2. И. М. Соболев. Метод Монте-Карло. // М.: Наука, 1985.
3. MCNPX User's Manual, Version 2.4. 2002. <http://mcnpx.lanl.gov>.
4. A. Ferrari, P.R. Sala, A. Fassò and J. Ranft. FLUKA: a Multi-Particle Transport Code. CERN-2005-10, INFN/TC 05/11, SLAC-R-773, 2005.
5. N.A. Ivanov, Zh.S. Lebedeva. Proton beam characteristics estimation for using in Ophthalmology // Научно-технические ведомости СПбГПУ. № 1(165) 2013.
6. A.J. Wroe. The role of nonelastic reactions in absorbed dose distributions from therapeutic proton beams in different medium // Med. Phys. Vol. 32(1), 2005.

## Секция 5. Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве

### МАГНИТНЫЕ НАНОСИТЕЛИ БОР- И ГАДОЛИНИЙ-СОДЕРЖАЩИХ АГЕНТОВ ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ В НЕЙТРОНЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ РАКА

Зиберт А.В.<sup>1,2</sup>, Корольков И.В.<sup>1,2</sup>, Лисовская Л.И.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт Ядерной Физики, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Евразийский Национальный Университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Нейтронзахватная терапия рака заключается в насыщении клеток опухоли чувствительными к нейтронному излучению радиоизотопами (в данной работе рассмотрены изотопы  $^{10}\text{B}$  и  $^{157}\text{Gd}$ ) и последующем их облучении потоком тепловых нейтронов. В результате реакций образуются  $\alpha$ -частицы и электроны Оже-Костера-Кронига, обладающие малой проникающей способностью в тканях и высоким коэффициентом передачи энергии, что обуславливает высокую селективность в уничтожении раковых клеток. Для повышения эффективности нейтронзахватной терапии требуется разработка новых способов доставки радиоизотопов. Один из подобных способов является доставка с помощью магнитных наночастиц (НЧ) в высокоградиентном магнитном поле.

В данной работе представлен метод инкапсуляции наночастиц оксида железа гадолинием и иммобилизации карборансодержащих веществ на них. Процесс схематично изображен на рисунке 1.

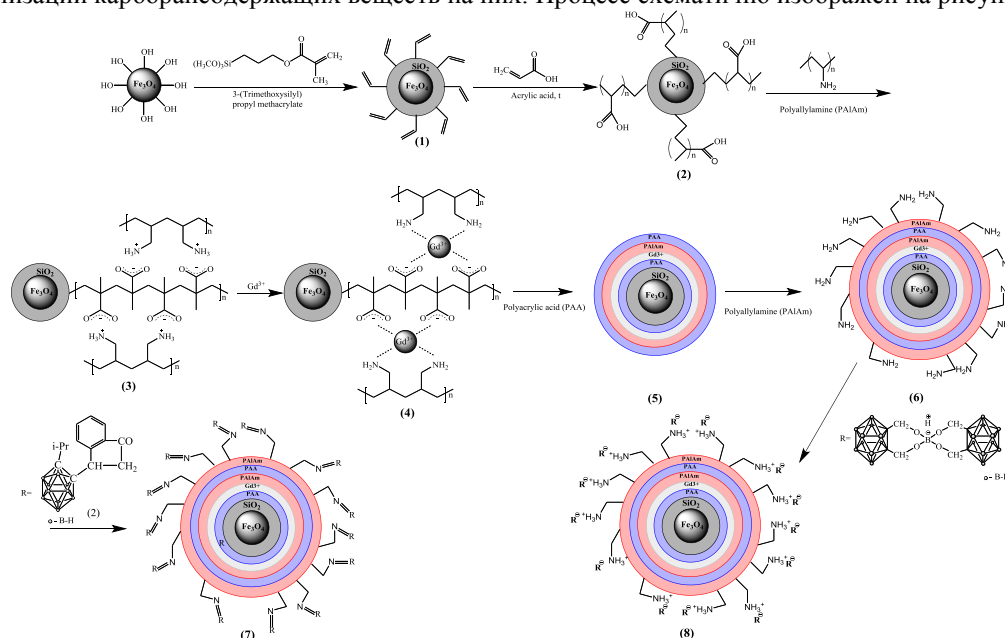


Рисунок 1. Схема модификации НЧ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

После синтеза НЧ, поверхность была функционалирована двойными связями (C=C) путем реакции поликонденсации с 3-триметоксисилил пропилметакрилатом. Далее была проведена термоиницируемая прививочная полимеризация акриловой кислоты на поверхность НЧ, что привело к образованию цепочек полимера с карбоксильными группами. Затем были образованы полиэлектролитные комплексы путем осаждения монослоя полиаллиламина. Данные полиэлектролиты образуют стабильные комплексы с ионами тяжелых металлов, в том числе Gd. Далее путем последовательного вымачивания в растворах полимеров был образован второй слой полимеров, на который были иммобилизованы карборанилсодержащие соединения путем образования ковалентной (3-(изопропил-о-карборанил)гидриндон) и ионной (ди(о-карборано-1,2-диметил) борат) связи.

В качестве методов анализа были применены: сканирующая электронная микроскопия, ИК-спектроскопия, УФ-спектроскопия, энергодисперсионный анализ. На данный момент проводятся исследования магнитных свойств а также проводятся первичные доклинические испытания. По результатам исследований были установлены оптимальные условия модификации НЧ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  приводящие к максимальному содержанию B и Gd в образцах. Средний размер полученных частиц составил 25 нм. Благодаря содержанию в образцах как B так и Gd, а также выраженным магнитным свойствам, данные частицы обладают потенциалом для применения в нейтронзахватной терапии рака. Исследование было профинансировано МОН РК (грант номер AP08051954).

## **Секция 5. Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве**

### **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ РАДИАЦИОННОГО ОКРАШИВАНИЯ ТОПАЗОВ В РЕАКТОРЕ ВВР-К**

Айткулов М.Т., Дюсамбаев Д.С., Аханов А.М., Киселев К.С., Бұғыбай Ж.Т.,  
Романова Н.К., Гизатулин Ш.Х., Шаймерденов А.А., Накипов Д.А.

Институт ядерной физики, ул. Ибрагимова 1, 050032, Алматы, Казахстан

Показана возможность реализации технологии радиационного окрашивания топазов в реакторе ВВР-К. Приведено энергетическое распределение нейтронов в горизонтальных и вертикальных облучательных каналах исследовательского реактора ВВР-К. Оценено время достижения накопленного флюенса быстрых нейтронов  $10^{18}$  см<sup>-2</sup> в топазах для рассмотренных облучательных каналов. Показано влияние отношения плотности потока быстрых нейтронов к тепловым на активацию природных примесей в топазах. Определены пути оптимизации условий облучения топазов в реакторе с целью улучшения экономической эффективности работ.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 1. Ядерная физика

<b>АНАЛИЗ РЕДКОГО РАСПАДА <math>K^+ \rightarrow e^+ \nu \mu^+ \mu^-</math> В ЭКСПЕРИМЕНТЕ NA62 В ЦЕРН</b> Байгарашев Д.М. ....	4
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ КЛАСТЕРНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ЯДРЕ <math>{}^6\text{Li}</math></b> Калжигитов Н.К. ....	5
<b>ВАРИАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ В КВАНТОВОЙ ЗАДАЧЕ ТРЕХ ТЕЛ. МЕТОД РИТЦА</b> Азнабаев Д.Т., Жиенбаев К. ....	6
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЕ ПРОТОНОВ, ИСПУСКАЕМЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ РЕАКЦИИ (p,xp) НА ЯДРЕ <math>{}^{27}\text{Al}</math></b> Алиева Г.Ж., Мукан Ж.Т., Жолдыбаев Т.К., Садыков Б.М., Насурлла М. ....	7
<b>ЛИТИЙ ККЖ ДЕЙТЕРИЙ СОРБЦИЯСЫ БОЙЫНША ЭКСПЕРИМЕНТТЕР</b> Әскербөкөв С.К., Кулсартов Т.В., Гордиенко Ю.Н., Понкратов Ю.В., Кадыржанов К.К., Нестеров Е.А., Толенова А.У., Кенжин Е.А. ....	8
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО И НЕУПРУГОГО РАССЕЙЯНИЯ ДЕЙТРОНОВ НА <math>\text{Be}^9</math> ПРИ ЭНЕРГИИ <math>E = 14,5</math> МэВ</b> Кажыкенов Ш. М. ....	9
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ (p, xd) НА ЯДРЕ <math>{}^{120}\text{Sn}</math> ПРИ ЭНЕРГИИ ПРОТОНОВ 30 МэВ</b> Мукан Ж.Т., Алиева Г.Ж., Жолдыбаев Т.К., Садыков Б.М., Насурлла М. ....	10
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СВЕТИМОСТИ ДЛЯ РЕАКЦИИ <math>pp \rightarrow \{pp\}, \pi^0</math></b> Баймурзинова Б. С., Цирков Д. А. ....	11
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЛЕЖАЩИХ РЕЗОНАНСНЫХ СОСТОЯНИИ В РАЗВАЛЕ ГАЛО ЯДРА <math>{}^{11}\text{Be}</math></b> Валиолда Д.С., Джансейтов Д.М., Жауғашева С.А. ....	12
<b>ИЗУЧЕНИЕ РИДЖ-ЭФФЕКТА МЕТОДОМ МАКСИМАЛЬНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ <math>\rho_t^{max}</math></b> Мыктыбеков Д. ....	13
<b>АНАЛОГОВЫЙ СПЕКТРОМЕТР ГАЗОНАПОЛНЕННОГО СЕПАРАТОРА ЯДЕР ОТДАЧИ ГНС-2 - ПЕРВЫЕ ОНЛАЙН ТЕСТЫ</b> Ибадуллаев Д.А., Цыганов Ю.С., Поляков А.Н., Воинов А.А., Шлаттаур Л., Субботин В.Г., Соловьев Д.И., Шумейко М.В. ....	14
<b>Секция 2. Материаловедение и технологии новых материалов</b>	
<b>РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ТОНКИХ ПЛЕНОК <math>\text{CuBi}_2\text{O}_4</math></b> Гаранин Ю.А. ....	15
<b>ОПЫТ ПОЛУЧЕНИЯ БЕРИЛЛИДОВ ТИТАНА И ХРОМА НА АО «УМЗ»</b> Головков Н.И., Ударцев С.В., Вечкутов А.Н., Подойников М.А., Кылышканов М.К. ....	16
<b>СИНТЕЗ ЛИТИЙСОДЕРЖАЩИХ КЕРАМИК <math>\text{Li}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3</math></b> Дюсамбаев А.К. ....	17
<b><math>\text{Fe}_2\text{O}_3</math> NANOPARTICLES DOPED WITH Gd: PHASE TRANSFORMATIONS AS A RESULT OF THERMAL ANNEALING AND BIOCMPATIBILITY</b> Үегізбек К.В. ....	18
<b>СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ДВОЙНЫХ ФОСФАТОВ И ВАНАДАТОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ</b> Ибрагимов Ш.Б., Бабажанов Б.А. ....	19
<b>СИНТЕЗ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ <math>\text{CuBi}_2\text{O}_4</math></b> Калиекперов М.Е. ....	21
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В <math>\text{ZrO}_2</math> КЕРАМИКАХ</b> Козловский А.Л., Алин М. ....	22
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ <math>\text{WO}_3</math> МИКРОЧАСТИЦ</b> Козловский А.Л., Алина А. ....	23

<b>ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В <math>\text{CeO}_2</math> МИКРОЧАСТИЦ</b>	
Рспаев Р.М., Козловский А.Л.....	.....24
<b>ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РАДИАЦИОННОЙ МОДИФИКАЦИИ <math>\text{ZnCo}_2\text{O}_4</math> НАНОСТРУКТУР</b>	
Зикирина А., Кадыржанов К.К., Козловский А.Л.....	.....25
<b>СИНТЕЗ И СВОЙСТВА <math>\text{CoCdSe}</math> ТОНКИХ ПЛЕНОК</b>	
Омарова А., Кадыржанов К.К., Козловский А.Л.....	.....26
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ КЕРАМИК <math>\text{SiC}</math></b>	
Омарова А., Кадыржанов К.К., Козловский А.Л.....	.....27
<b>ВЛИЯНИЕ ДОПИРОВАНИЯ ОКСИДАМИ ГАЛЛИЯ И ИНДИЯ НА ЭКРАНИРУЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКОЛ <math>0.5\text{TeO}_2\text{-(0.5-2x)MoO}_3\text{-xGa}_2\text{O}_3\text{-xIn}_2\text{O}_3</math></b>	
Алмасбек А., Кадыржанов К.К., Козловский А.Л.....	.....28
<b>ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ РАСПУХАНИЯ В <math>\text{AlN}</math> КЕРАМИКАХ</b>	
Козловский А.Л.....	.....29
<b>ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ НАСЫЩЕНИЯ НА КИНЕТИКУ ДЕСОРБЦИИ ГЕЛИЯ ИЗ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ 12X18N10T</b>	
Акаев С.О., Диков А.С., Фирсова В.В., Партыка Я.....	.....30
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ НА ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ</b>	
Ердаулетов М., Напольский Ф., Авдеев М., Иваньков А., Кривченко В.....	.....31
<b>СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ <math>\text{LiF}</math> И <math>\text{LiF:OH}</math>, ОБЛУЧЕННЫХ В РЕАКТОРЕ ВВР-СМ И <math>^{60}\text{Co}</math> <math>\gamma</math>-ИСТОЧНИКЕ</b>	
Ибрагимова Э.М., Бузриков Ш.Н., Муссаева М.А.....	.....32
<b>ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙТРОННОГО АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА НА МГНОВЕННЫХ ГАММА КВАНТАХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА УНИКАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ</b>	
Жомартова А.Ж., Дмитриев А.Ю., Борзаков С.Б.....	.....33
<b>СИНТЕЗ БИОГЕННЫХ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ (II) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНДЕМИЧНЫХ РАСТЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН</b>	
Айманова Н. А., Алдамбергенов М.Т., Машенцева А.А.....	.....34
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР ЦЕМЕНТИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ГРАФИТА МЕТОДОМ НЕЙТРОННОЙ РАДИОГРАФИИ И ТОМОГРАФИИ</b>	
Кенесарин М.Р., Зель И.Ю., Кичанов С.Е., Балашою М., Козленко Д.П., Назаров К.М., Nicu M., Ionascu L., Dragolici A.C., Dragolici F.....	.....35
<b>СИНТЕЗ ПОКРЫТИЯ ИЗ ТА ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИКЕЛИДА ТИТАНА</b>	
Жаканбаев Е.А., Диков А.С., Байгонов М.Т., Мамырбаев А.К.....	.....36
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ КРАСИТЕЛЯ АЛИЗАРИНОВОГО КРАСНОГО КОМПОЗИТНЫМИ ТРЕКОВЫМИ МЕМБРАНАМИ НА ОСНОВЕ МИКРОТРУБОК МЕДИ</b>	
Алтынбаева Л.Ш., Машенцева А.А., Айманова Н. А.....	.....37
<b>СТРУКТУРНЫЙ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СВИНЦОВО СИЛИКАТНОГО СТЕКЛА</b>	
Ибрагимова Э.М., Муссаева М.А., Элмуротова Д.Б., Исмадова Л.Н.....	.....38
<b>РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ <math>\text{LiF}</math> И <math>\text{NaCl}</math></b>	
Ибрагимова Э.М., Бузриков Ш.Н., Муссаева М.А. Элмуротова Д.Б., Бобожонов Б.А., Таубалдиев А.А., Хаитов Ф.Н., Исмадова Л.Н., Махмудова Д.Ж., Чариева Г.Ю.....	.....39

### Секция 3. Радиационная экология и методы анализа

<b>ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ФЕРРОЦИАНИДНЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ СИЛИКАГЕЛЯ</b>	
Байханова Н.Х., Расулова Ф.А., Егамедиев С.Х.....	.....40
<b>АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРОВ НАВЕДЕННОЙ АКТИВНОСТИ ОБЛУЧЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАА НА КИР ВВР-К</b>	
Дмитриев А.Ю., Ленник С.Г., Соколенко Е.К.....	.....41

<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОЙ АЛЬФА-, БЕТА- АКТИВНОСТИ В ВОДЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ЖИДКОСЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ</b>	.....42
Берікхан Қ.Ә.....	.....42
<b>СОРБЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ</b>	.....43
Буранов Ж.Ю., Байханова Н.Х., Егамедиев С.Х.....	.....43
<b>ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b>	.....44
Ленник С.Г., Мирхаджи Д.В.....	.....44
<b>ВОЗМОЖНОСТИ АЛАНИНОВОЙ ЭПР-ДОЗИМЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОЗ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЛУЧЕНИЯХ НА ИЛУ-10 ИЯФ РК</b>	.....45
Муқан Ж.Т., Середавина Т.А., Сушкова Н.С., Данько И.В., Глущенко Н.В.....	.....45
<b>РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОВЕДЕННЫХ РГП ИЯФ НА ПОЛИГОНЕ «АЗГИР»</b>	.....46
Глущенко В.Н., Макарова В.А, Нугманов Д.К., Севериненко М.А, Аристов П.А., Ахметжанова Д.С.....	.....46
<b>ОЦЕНКА ЗНАЧЕНИЙ СУММАРНОЙ АЛЬФА- И БЕТА-АКТИВНОСТИ ПРОБ ВОДЫ АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ</b>	.....47
Ленник С.Г., Мирхаджи Д.В., Тимурова Д.Б.....	.....47
<b>МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ТРИТИЯ В ПРОБАХ ГАЗОКОНДЕНСАТА, ОТОБРАННЫХ ИЗ ПОЛОСТЕЙ ОБЪЕКТА «ЛИРА»</b>	.....48
Краснопёрова М.В., Ойнар Ә.М., Желтов Д.А., Харкин П.В.....	.....48
<b>КАЛИЙ В РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ</b>	.....49
Базарбаев Н.Н., Темиров Ш.С., Тухтаев У.У., Химматов И.Ф.....	.....49
<b>ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ДЕЗАКТИВАЦИИ И РЕГЕНЕРАЦИИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ПОЛОТЕН, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ</b>	.....50
Кылышқанов М.К., Хлебникова И.А., Ярошенко Н.Н.....	.....50
<b>ГИДРОФОБИЗАЦИЯ ПЭТФ ТМ ДЛЯ ПРЯМОЙ КОНТАКТНОЙ МЕМБРАННОЙ ДИСТИЛЛЯЦИИ</b>	.....51
Есжанов А.Б., Корольков И.В., Здоровец М.В.....	.....51
<b>КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ТРЕХМЕРНОЙ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ</b>	.....52
Артамонов Ю.Е., Умаров М.А., Бакланова Ю.В., Мустафина Е.В.....	.....52
<b>РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БЫВШЕГО ПОЛИГОНА «АЗГИР» ЗА 2020 ГОД</b>	.....53
Севериненко М.А., Ахметжанова Д.С., Кошжанов А.Т., Матиенко Л.Д.....	.....53
<b>ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОЛУЧЕНИЮ ОКСИДА ГАДОЛИНИЯ ИЗ ОТХОДА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ УРАН-ГАДОЛИНИЙСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ</b>	.....54
Кылышқанов М.К., Ярошенко Н.Н., Гусакова Г.В., Гофман А.А., Варывдин Ю.В., Дорн А.А.....	.....54
<b>РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГРАМОТНОСТЬ С НАЧАЛЬНЫХ КЛАССОВ</b>	.....55
Игнатенко Г.К.....	.....55
<b>УЧЕБНО- ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ПО ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТЕНАХ УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ</b>	.....56
Комиссаров А.Б., Игнатенко Г.К.....	.....56
<b>ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ ОБЪЕКТОВ ЛИРА</b>	.....57
Макарова В.А., Филиппова Л.Н., Сляднева В.Н.....	.....57
<b>Секция 4. Физика и техника ядерных реакторов</b>	
<b>ИЗМЕРЕНИЕ НЕЙТРОННЫХ ПОТОКОВ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ КАНАЛАХ РЕАКТОРА ВВР-СМ</b>	.....58
Байтелесов С.А., Кунгуров Ф.Р., Таджибаев Д.П., Тоджибоев Д.....	.....58
<b>ИЗУЧЕНИЕ РАДИОНУКЛИДНОГО СОСТАВА ВОДЫ ИЗ ПЕРВОГО КОНТУРА ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ВВР-СМ</b>	.....59
Расулова Ф.А., Байханова Н.Х., Буранов Ж.Ю.....	.....59

<b>НЕРАЗРУШАЮЩИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ БЕТОНА РАЗНЫХ МАРОК</b>	
Дюсамбаев Д.С., Айткулов М.Т., Мадиянова Ә.Н., Касымов А.Б.....	.....60
<b>РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ УРАН-ГРАФИТОВОГО ТОПЛИВА РЕАКТОРА ИГР</b>	
Бочков В.С., Гордиенко Ю.Н., Понкратов Ю.В., Кульсартов Т.В., Бакланова Ю.Ю., Тулубаев Е.Ю.....	.....61
<b>ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЖИМА ЯДЕРНОГО НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИ ЭКСПОРТЕ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ С ЗАМКНУТЫМ ЯТЦ</b>	
Горин Н.В., Кузнецов Е.В., Волошин Н.П., Чуриков Ю.И., Чебесков А.Н., Кучинов В.П., Шидловский В.В.....	.....62
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ МИНОРНЫХ АКТИНИДОВ (№-237 И Ru-239) ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ НЕЙТРОНОВ С ПРИРОДНЫМ УРАНОМ</b>	
Тютюнников С.И., Стегайлов В. И., Юлдашев Б.С., Розов С.В., Бруква А.Е., Хушвактов Ж.Х., Перовошиков Л.Л., Шакун Н.Г., Крячко И.А., Расулова Ф.А.....	.....63
<b>ИЗМЕРЕНИЕ ПОТОКОВ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ ОТ РЕАКТОРА ВВР-К НЕЙТРОННЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ СНМ-18</b>	
Мухамеджанов Е.С., Садуев Н.О., Каликулов О.А., Оскомов В.В., Седов А.Н., Жумабаев А.И., Ережеп Н.О., Шинбулатов С.К., Бактораз А.Е., Утей Ш.Б., Шаймерденов А.А., Айткулов М.Т.....	.....64
<b>МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИСПЫТАНИЮ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ РЕАКТОРЕ ИВГ.1М</b>	
Самарханов К.К., Понкратов Ю.В., Кашайкин П.Ф., Гордиенко Ю.Н., Гныря В.С., Тулубаев Е.Ю., Бочков В.С.....	.....65
<b>КОМПАКТНЫЙ НЕЙТРОННЫЙ СЕЛЕКТОР СКОРОСТЕЙ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗМЕРЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ОХН</b>	
Турлыбекулы К., Лычагин Е.В., Музыка А.Ю., Нехаев Г.В., Стрелков А.В., Сахиев С.К.....	.....66
<b>Секция 5. Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве</b>	
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТА РАДИОСЕНСИБИЛИЗАЦИИ</b>	
Абдуллаева Г.А., Кулабдуллаев Г.А., Небесный А.Ф., Ким А.А., Норматов Э.Х.....	.....67
<b>ОЦЕНКА ЭФФЕКТА РАДИОСЕНСИБИЛИЗАЦИИ В ПРИСУТСТВИИ ГАДОЛИНИЯ</b>	
Абдуллаева Г.А., Кулабдуллаев Г.А., Ким А.А., Небесный А.Ф., Джураева Г.Т., Юлдашев Д.О.....	.....68
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОХИМИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЫ РАДИОНУКЛИДА ХЛОРИДА ЛЮТЕЦИЙ-177, ПРИМЕНЯЕМОГО В ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ</b>	
Хажиев Л.О., Садиков И.И., Абдукаюмов А.М., Рихсиев А.З., Усаров З.О.....	.....69
<b>ПЛАЗМЕННАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ЗАМКНУТОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА</b>	
Тихонов А.Е., Головков Н.И., Беспала Ю.Р., Новоселов И.Ю.....	.....70
<b>МОНИТОРИНГ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ С ПОМОЩЬЮ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ</b>	
Безноско Д., Бердыхалых Т., Жуков В.В., Исаков Б.А., Садыков Т.Х., Салихов Н.М., Таутаев Е.М., Щепетов А.Л.....	.....71
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ FLUKA И GEANT4 ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПРОТОННОЙ ТЕРАПИИ</b>	
Абдувалиев А.А., Боборахимова О.О.....	.....72
<b>МАГНИТНЫЕ НАНОСИТЕЛИ БОР- И ГАДОЛИНИЙ-СОДЕРЖАЩИХ АГЕНТОВ ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ В НЕЙТРОНЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ РАКА</b>	
Зиберт А.В., Корольков И.В., Лисовская Л.И., Здоровец М.В.....	.....73
<b>АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ РАДИАЦИОННОГО ОКРАШИВАНИЯ ТОПАЗОВ В РЕАКТОРЕ ВВР-К</b>	
Айткулов М.Т., Дюсамбаев Д.С., Аханов А.М., и др.....	.....74



## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

1	Абдувалиев А.А., 72	45	Дорн А.А., 54
2	Абдукаюмов А.М., 69	46	Дюсамбаев А.К., 17
3	Абдуллаева Г.А., 67, 68	47	Дюсамбаев Д.С., 60, 74
4	Азнабаев Д.Т., 6	48	Егамедиев С.Х., 40, 43
5	Айманова Н. А., 34, 37	49	Есжанов А.Б., 51
6	Айткулов М.Т., 60, 64, 74	50	Жаканбаев Е.А., 36
7	Акаев С.О., 30	51	Жауғашева С.А., 12
8	Алдамбергенов М.Т., 34	52	Желтов Д.А., 48
9	Алиева Г.Ж., 7, 10	53	Жиенбаев К., 6
10	Алин М., 22	54	Жолдыбаев Т.К., 7, 10
11	Алина А., 23	55	Жомартова А.Ж., 33
12	Алмасбек А., 28	56	Жуков В.В., 71
13	Алтынбаева Л.Ш., 37	57	Жумабаев А.И., 64
14	Аристов П.А., 46	58	Здоровец М.В., 51, 73
15	Артамонов Ю.Е., 52	59	Зель И.Ю., 35
16	Аханов А.М., 74	60	Зикирина А., 25
17	Ахметжанова Д.С., 46, 53	61	Ибадуллаев Д.А., 14
18	Әскербеков С.К., 8	62	Ибрагимов Ш.Б., 19
19	Бабажанов Б.А., 19	63	Ибрагимова Э.М., 32, 38, 39
20	Базарбаев Н.Н., 49	64	Иваньков А., 31
21	Байгарашев Д.М., 4	65	Игнатенко Г.К., 55, 56
22	Байғонов М.Т., 36	66	Искаков Б.А., 71
23	Баймурзинова Б. С., 11	67	Исматова Л.Н., 38, 39
24	Байтелесов С.А., 58	68	Кадыржанов К.К., 8, 25, 26, 27, 28
25	Байханова Н.Х., 40, 43, 59	69	Кажыкенов Ш. М., 9
26	Бакланова Ю.В., 52	70	Калжигитов Н.К., 5
27	Бакланова Ю.Ю., 61	71	Калиекперов М.Е., 21
28	Бактораз А.Е., 64	72	Каликулов О.А., 64
29	Балашою М., 35	73	Касымов А.Б., 60
30	Безноско Д., 71	74	Кашайкин П.Ф., 65
31	Бердыхалых Т., 71	75	Кенесарин М.Р., 35
32	Берікхан Қ.Ә., 42	76	Кенжин Е.А., 8
33	Беспала Ю.Р., 70	77	Ким А.А., 67, 68
34	Бобожонов Б.А., 39	78	Кичанов С.Е., 35
35	Боборахимова О.О., 72	79	Козленко Д.П., 35
36	Борзаков С.Б., 33	80	Козловский А.Л., 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29
37	Бочков В.С., 61, 65	81	Комиссаров А.Б., 56
38	Бруква А.Е., 63	82	Корольков И.В., 51, 73
39	Бузриков Ш.Н., 32, 39	83	Крячко И.А., 63
40	Буранов Ж.Ю., 43, 59	84	Кошжанов А.Т., 53
41	Валиолда Д.С., 12	85	Краснопёрова М.В., 48
42	Варьвдин Ю.В., 54	86	Кривченко В., 31
43	Вечкутов А.Н., 16	87	Кузнецов Е.В., 62
44	Воинов А.А., 14	88	Кулабдуллаев Г.А., 67, 68

- 89 Волошин Н.П., 62
- 90 Гаранин Ю.А., 15
- 91 Глущенко В.Н., 46
- 92 Глущенко Н.В., 45
- 93 Гныря В.С., 65
- 94 Головков Н.И., 16, 70
- 95 Гордиенко Ю.Н., 8, 61, 65
- 96 Горин Н.В., 62
- 97 Гофман А.А., 54
- 98 Гусакова Г.В., 54
- 99 Данько И.В., 45
- 100 Джансейтов Д.М., 12
- 101 Диков А.С., 30, 36
- 102 Дмитриев А.Ю., 33, 41
- 103 Музыка А.Ю., 66
- 104 Муқан Ж.Т., 7, 10, 45
- 105 Муссаева М.А., 32, 38, 39
- 106 Мустафина Е.В., 52
- 107 Мухамеджанов Е.С., 64
- 108 Мыктыбеков Д., 13
- 109 Назаров К.М., 35
- 110 Напольский Ф., 31
- 111 Насурлла М., 7, 10
- 112 Небесный А.Ф., 67, 68
- 113 Нестеров Е.А., 8
- 114 Нехаев Г.В., 66
- 115 Новоселов И.Ю., 70
- 116 Норматов Э.Х., 67
- 117 Нугманов Д.К., 46
- 118 Нісу М., 35
- 119 Ойнар Ә.М., 48
- 120 Омарова А., 26, 27
- 121 Оскомов В.В., 64
- 122 Партыка Я., 30
- 123 Перевошиков Л.Л., 63
- 124 Подойников М.А., 16
- 125 Поляков А.Н., 14
- 126 Понкратов Ю.В., 8, 61, 65
- 127 Расулова Ф.А., 40, 59, 63
- 128 Рихсиев А.З., 69
- 129 Розов С.В., 63
- 130 Рспаев Р.М., 24
- 131 Садиков И.И., 69
- 132 Садуев Н.О., 64
- 133 Садыков Б.М., 7, 10
- 134 Кульсартов Т.В., 8, 61
- 135 Кунгуров Ф.Р., 58
- 136 Кучинов В.П., 62
- 137 Кылышканов М.К., 16, 50, 54
- 138 Ленник С.Г., 41, 44, 47
- 139 Лисовская Л.И., 73
- 140 Лычагин Е.В., 66
- 141 Мадиянова Ә.Н., 60
- 142 Мамырбаев А.К., 36
- 143 Макарова В.А., 46, 57
- 144 Матиенко Л.Д., 53
- 145 Махмудова Д.Ж., 39
- 146 Машенцева А.А., 34, 37
- 147 Мирхаджи Д.В., 44, 47
- 148 Стегайлов В. И., 63
- 149 Стрелков А.В., 66
- 150 Субботин В.Г., 14
- 151 Сушкова Н.С., 45
- 152 Таджикибаев Д.П., 58
- 153 Таубалдиев А.А., 39
- 154 Таугаев Е.М., 71
- 155 Темиров Ш.С., 49
- 156 Тихонов А.Е., 70
- 157 Тоджибоев Д., 58
- 158 Толенова А.У., 8
- 159 Тулубаев Е.Ю., 31, 65
- 160 Турлыбекулы К., 66
- 161 Тухтаев У.У., 49
- 162 Ударцев С.В., 16
- 163 Умаров М.А., 52
- 164 Усаров З.О., 69
- 165 Утей Ш.Б., 64
- 166 Филиппова Л.Н., 57
- 167 Фирсова В.В., 30
- 168 Хажиев Л.О., 69
- 169 Хаитов Ф.Н., 39
- 170 Харкин П.В., 48
- 171 Химматов И.Ф., 49
- 172 Хушвактов Ж.Х., 63
- 173 Цирков Д. А., 11
- 174 Цыганов Ю.С., 14
- 175 Чариева Г.Ю., 39
- 176 Чебесков А.Н., 62
- 177 Чуриков Ю.И., 62
- 178 Шаймерденов А.А., 64, 74

- 179 Садыков Т.Х., 71  
180 Салихов Н.М., 71  
181 Самарханов К.К., 65  
182 Сахиев С.К., 66  
183 Севериненко М.А., 46, 53  
184 Седов А.Н., 64  
185 Сляднева В.Н., 57  
186 Соколенко Е.К., 41  
187 Соловьев Д.И., 14  
188 Шақун Н.Г., 63  
189 Шидловский В.В., 62  
190 Шинбулатов С.К., 64  
191 Шлаттауэр Л., 14  
192 Шумейко М.В., 14  
193 Щепетов А.Л., 71  
194 Элмуротова Д.Б., 38, 39  
195 Юлдашев Б.С., 63  
196 Ярошенко Н.Н., 50, 54
- 197 Dragolici A.C., 35  
198 Dragolici F., 35  
199 Yegizbek K.B., 18  
200 Ionascu L., 35

**УДК 621.039.51-73; 539.12.04; 539.17; 502.175-027.21; 544.25.057**

**ББК 22.383; 22.37; 24.13; 31.42; 31.46**

**М43**

**Ответственный редактор:** к.ф.-м.н. Каракозов Б.К.

**Редакторы:** к.ф.-м.н. Жолдыбаев Т.К., Ларионов А.С.

**ISBN 978-601-08-0927-7**

В сборнике представлены тезисы докладов участников I Международной научной школы-конференции «Атом. Наука. Технологии» в области фундаментальной и прикладной ядерной физики, радиационной физики твердого тела, радиационной экологии, методов анализа, применения ядерных и радиационных методов в медицине и промышленности.

Жинаққа I Халықаралық ғылыми мектеп-конференциясының «Атом. Ғылым. Технологиялар» фундаментальды және қолданбалы ядролық физика, радиациялық қатты дене физикасы, радиациялық экология, талдау әдістері, медицинада және өндірісте ядролық және радиациялық әдістерді қолдану.

© РГП «Институт ядерной физики», 2021

**«Ядролық физика институты» РМК**  
**Қазақстан Республикасының Энергетика министрлігі**  
**050032, Алматы қ. Ибрагимова, 1**  
**Тел. +7 (727) 3866800, факс +7 (727) 3865260**  
**[info@inp.kz](mailto:info@inp.kz)**  
**[www.inp.kz](http://www.inp.kz)**

**РГП «Институт ядерной физики»**  
**Министерства энергетики Республики Казахстан**  
**050032, г. Алматы, ул. Ибрагимова, 1**  
**Тел. +7(727)3866800, факс +7(727)3865260**  
**[info@inp.kz](mailto:info@inp.kz)**  
**[www.inp.kz](http://www.inp.kz)**

**RSE «The Institute of Nuclear Physics»**  
**of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan**  
**1 Ibragimov St. Almaty, 050032**  
**Tel. +7(727)3866800, fax +7(727)3865260**  
**e-mail: [info@inp.kz](mailto:info@inp.kz)**  
**[www.inp.kz](http://www.inp.kz)**