

ЯДРО-2023

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
ВОПРОСЫ И
ПРИЛОЖЕНИЯ

СБОРНИК ТЕЗИСОВ



РФЯЦ-ВНИИЭФ
РОСАТОМ

РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ



САРОВ 2023

Российский федеральный ядерный центр –
Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики

Russian Federal Nuclear Center - VNIIEF

**73-я Международная конференция
по ядерной физике
«ЯДРО-2023:
фундаментальные вопросы и приложения»**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ABSTRACTS

Саров
2023

УДК 539.1
ББК 22.334, 22.383
М43

М43 73-я Международная конференция по ядерной физике «ЯДРО-2023: фундаментальные вопросы и приложения» : тезисы докладов / сост. Ляскина Е. Ю. – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2023, 347 с., ил.

В сборник включены тезисы докладов 73-й Международной конференции по ядерной физике «ЯДРО-2023: фундаментальные вопросы и приложения», подготовленные учеными и специалистами ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», НИЦ «Курчатовский институт», НИИЯФ МГУ, ОИЯИ, ВГУ, МГУ имени М. В. Ломоносова, ИЯИ РАН, МИФИ, ФГУП «ВНИИА», ИПФ РАН, Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, СПбГУ, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», АО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина», ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», ФГАОУ ВО «СВФУ им. М. К. Аммосова» и др.

УДК 539.1
ББК 22.334, 22.383

**73-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ «ЯДРО-2023: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
И ПРИЛОЖЕНИЯ»**

Саров, 9–13 октября 2023 г.

Организатор: Российский федеральный ядерный центр –
Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики

Hosting Institution: Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute
of Experimental Physics

Председатель оргкомитета

Костюков В. Е. – директор РФЯЦ-ВНИИЭФ

Organizing Committee Chairman

Valentin E. Kostyukov – Director of RFNC-VNIEF

Заместители председателя оргкомитета

Соловьев В. П. – научный руководитель
РФЯЦ-ВНИИЭФ – директор ИТМФ

Organizing Committee Vice-Chairmen

Vyacheslav P. Solovyev – Scientific Director of
RFNC-VNIEF, Director of Institute of
Theoretical and Mathematical Physics
Nikolay V. Zavyalov – Director of Institute of
Nuclear and Radiation Physics, RFNC-VNIEF,
member-corr. of RAS

Завьялов Н. В. – директор ИЯРФ, член-корр.
РАН

Председатель программного комитета

Воронцов С. В. – первый заместитель
директора ИЯРФ

Program Committee Chairman

Sergey V. Vorontsov – Chairman Deputy
Director of Institute of Nuclear and Radiation
Physics, RFNC-VNIEF

Члены программного комитета:

Боос Э. Э. (НИИЯФ МГУ, Москва)
Варламов В. В. (МГУ, Москва)
Власников А. К. (СПбГУ, Санкт-Петербург)
Горшихин А. А. (ВНИИЭФ, Саров)
Григоренко Л. В. (ОИЯИ, Дубна)
Гурбич А. Ф. (ФЭИ, Обнинск)
Девяткин А. А. (ВНИИЭФ, Саров)
Зеленская Н. С. (НИИЯФ МГУ, Москва)
Кадменский С. Г. (ФГБОУ ВО «ВГУ»,
Воронеж)
Митропольский И. А.
(ПИЯФ, Санкт-Петербург)
Нефёдов Ю. Я. (ВНИИЭФ, Саров)
Скобелев Н. К. (ОИЯИ, Дубна)
Смердов В. И. (ВНИИЭФ, Саров)
Тельнов А. В. (ВНИИЭФ, Саров)
Черняев А. П. (НИИЯФ МГУ, Москва)
Таова С. М. (ВНИИЭФ, Саров)

Program Committee Members

Boos E. E. (Russia)
Varlamov V. V. (Russia)
Vlasnikov A. K. (Russia)
Gorshihin A. A. (Russia)
Grigorenko L. V. (Russia)
Gurbich A. F. (Russia)
Devyatkin A. A. (Russia)
Zelenskaya N. S. (Russia)
Kadmenskiy S. G. (Russia)
Mitropolskiy I. A. (Russia)
Nefyodov U. Y. (Russia)
Skobelev N. K. (Russia)
Smerdov V. I. (Russia)
Telnov A. V. (Russia)
Chernyaev A. P. (Russia)
Taova S. M. (Russia)

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ

ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ФОТОЯДЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В. В. Варламов, А. И. Давыдов, В. Н. Орлин

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991 ГСП-1 Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИЯФ МГУ
Тел.: +7 495 939-18-18, Факс: +7 495 932-08-96
Varlamov@depni.sinp.msu.ru

Для более 50 ядер от ^{51}V до ^{209}Bi было обнаружено, что сечения парциальных фотонейтронных реакций $(\gamma, 1n)$, $(\gamma, 2n)$ и $(\gamma, 3n)$, полученные в экспериментах на пучках квазимоноэнергетических аннигиляционных фотонов [1] с помощью метода разделения нейтронов по множественности, в той или иной мере не удовлетворяют объективным физическим критериям достоверности. С помощью экспериментально-теоретического метода оценены сечения, удовлетворяющие физическим критериям, и было показано [2, 3], что в экспериментальных сечениях присутствуют существенные систематические погрешности разных типов. Они обусловлены недостатками метода определения множественности нейтронов по их измеряемой энергии и существенной зависимостью от этой энергии эффективности регистрации нейтронов использованными детекторами. С использованием физических критериев была исследована достоверность сечений парциальных реакций, полученных на пучках тормозного γ -излучения принципиально иным способом – с помощью внесения поправок по статистической теории в сечение выхода нейтронов $\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 1n) + 2\sigma(\gamma, 2n) + 3\sigma(\gamma, 3n) + \dots$. Обнаружено, что в случаях ядер ^{59}Co , $^{58,60}\text{Ni}$ и $^{112,114,119}\text{Sn}$ обсуждаемые экспериментальные данные также в различной степени не удовлетворяют физическим критериям. Это делает оценку достоверности результатов экспериментов на пучках тормозного γ -излучения также актуальной и индивидуальной. Вместе с тем на примере оцененных данных для ядер ^{159}Tb и ^{197}Au установлено, что результаты исследования обсуждаемых реакций на пучках фотонов обратного комптоновского рассеяния с использованием детектора, эффективность которого практически не зависит от энергии нейтронов, физическим критериям вполне соответствуют. Это делает весьма актуальной задачу создания современного источника такого типа для новых исследований.

Список литературы

1. Dietrich S. S., Berman B. L. Atlas of photoneutron cross sections obtained with monoenergetic photons // *Atom. Data and Nucl. Data Tables*. 1988. V. 38. P. 199-338.
2. Варламов В. В., Ишханов Б. С. Современный статус фотоядерных данных // *ЯФ*. 2017. Том 80. №5. С. 554 - 564.
3. Варламов В. В., Давыдов А. И. Физические критерии достоверности и особенности данных по фоторасщеплению ядер ^{75}As , ^{127}I , ^{181}Ta и ^{208}Pb // *ЯФ*. 2021. Том 84. №5. С. 370-381.

RELIABILITY OF PHOTONUCLEAR EXPERIMENTS RESULTS

V. V. Varlamov, A. I. Davydov, V. N. Orlin

Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
1(2) Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia,
Tel.: +7 495 939-18-18, fax: +7 495 932-08-96 Varlamov@depni.sinp.msu.ru

For more than 50 nuclei from ^{51}V to ^{209}Bi it was found out that the cross sections of partial photoneutron reactions $(\gamma, 1n)$, $(\gamma, 2n)$ и $(\gamma, 3n)$ obtained in experiments on the beams of quasimonoenergetic annihilation photons using the method of neutron multiplicity sorting [1] are more-less do not satisfied objective physical criteria of data reliability. Using the experimental-

theoretical method the cross sections satisfied physical criteria were evaluated [2, 3] and it was shown that significant systematic uncertainties of different types are presented in experimental cross sections. Those ones are because of shortcomings of the method of determination of neutron multiplicity based on its measured energy and noticeable dependence of the used detector efficiency on that energy. Using the physical criteria the reliability of partial cross sections obtained using principally different method based on corrections calculated in statistical theory to the neutron yield cross-section $\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 1n) + 2\sigma(\gamma, 2n) + 3\sigma(\gamma, 3n) + \dots$ measured on the beams of bremsstrahlung was investigated. It was found out that in the cases of ^{59}Co , $^{58,60}\text{Ni}$ and $^{112,114,119}\text{Sn}$ experimental data under discussion to varying degrees also do not satisfy physical criteria. This makes the task of evaluation of reliability of the results of experiments obtained on the beams of bremsstrahlung relevant and individual. In the same time on the example of nuclei ^{159}Tb и ^{197}Au it was found out that the results of investigation reactions under discussion using beams of photons from laser Compton backscattering together with flat efficiency detector meet the physical criteria. This makes very relevant the task of creating a modern source of this type for new research.

References

1. Dietrich S. S., Berman B. L. Atlas of photoneutron cross sections obtained with monoenergetic photons// Atom. Data and Nucl. Data Tables. 1988. V. 38. P. 199-338.
2. Varlamov V. V., Ishkhanov B. S. Modern status of photonuclear data // Phys.Atom.Nucl. 2017. V. 80. N5. P.957-967.
3. Varlamov V. V., Davydov A. I. Physical reliability criteria and specific features of data on photodisintegration of ^{75}As , ^{127}I , ^{181}Ta , and ^{208}Pb nuclei // Phys. Atom. Nucl. 2021. V. 84. N5. P. 603–614.

ОПТИКО-МОДЕЛЬНЫЙ КОД OptModel С УЧЁТОМ РЕЗОНАНСНОГО ВКЛАДА

Л. Н. Генералов, В. А. Жеребцов

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, 37
otd4@expd.vniief.ru

Отправной точкой почти всех современных вычислений ядерно-физических констант (см., например, коды EMPIRE [1], TALYS [2] и др.) является оптическая модель упругого рассеяния. Однако до сих пор отсутствуют надежные оптические потенциалы взаимодействия n , p , d , t , ^3He и других частиц с легчайшими и легкими ядрами, что связано с проблемой учета в экспериментальных данных упругого рассеяния различных процессов, неотличимых от чисто упругого рассеяния; а также проблемой дискретной и непрерывной неоднозначностей оптического потенциала.

Для решения этих задач нами создан оптико-модельный код OptModel [3,4] (номер гос. регистрации 2014619860), предназначенный для анализа упругого рассеяния n , p , d , t , ^3He , ^6Li на сферических ядрах (или близких к ним). В нем используется феноменологический оптический потенциал на основе формы Вудса-Саксона. Первоначально код OptModel описывал основной процесс упругого рассеяния – потенциальное рассеяние (Shape Elastic). В сфере наших исследований – реакции на легчайших и легких ядрах, где в рассеянии частиц заметным образом проявляются различные процессы, экспериментально неотделимые от основного: резонансное рассеяние и кластерный обмен. Поэтому в дальнейшем в коде OptModel учтен резонансный вклад: к оптико-модельной амплитуде когерентно добавлена амплитуда резонансной составляющей рассеяния с возможностью контроля степени нарушения унитарности полной матрицы рассеяния, а энергетическая зависимость параметров оптического потенциала взята (с изменениями) из [5,6]. Высокая точность решения радиальных

уравнений Шредингера и отсутствие ограничений на величину орбитального момента рассеиваемых частиц позволяют нам проводить одновременный анализ данных по дифференциальным сечениям, поляризации и полным сечениям, начиная от астрофизических энергий и до сотен МэВ. С помощью кода уже были проанализированы реакции ${}^6\text{Li}, {}^9\text{Be}+p$ [7], ${}^9\text{Be}, {}^{10}\text{B}+t$ [8-9]. Результаты анализа упругого рассеяния p на ядрах ${}^6\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$ приведены в [10,11]. На настоящей конференции будут сообщения об анализе зеркальных реакций упругого рассеяния n и p на ядре ${}^6\text{Li}$, а также упругого рассеяния d на ядре ${}^{16}\text{O}$.

Список литературы

- [1] Herman M., Capote R., Sin M. et al. // INDC(NDS)-0603, BNL-101378-2013.
- [2] Koning A. J. et al. // Intern. Conf. on Nucl. Data for Science and Tech. 2008. P.211.
- [3] Генералов Л. Н., Жеребцов В. А., Таова С. М. // Изв. РАН. Сер. физ. 2016. Т.80. С. 328.
- [4] Генералов Л. Н., Жеребцов В. А., Таова С. М. // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2014. Вып.19. С.164.
- [5] Sun W., Watanabe Y., Soukhovitski E.Sh., et al. // Intern. Conf. on Nucl. Data for Science and Tech. 2005. P. 402.
- [6] Delaroche J.P., Wang Y., Rapoport J. // Phys. Rev. C. 1989. V. 39. P. 391.
- [7] Сборник «Основные достижения РФЯЦ-ВНИИЭФ». 2019. Стр.27.
- [8] Сборник «Основные достижения РФЯЦ-ВНИИЭФ». 2020. Стр.25.
- [9] Сборник «Основные достижения РФЯЦ-ВНИИЭФ». 2021. Стр.24.
- [10] Генералов Л. Н., Жеребцов В. А., Селянкина С. М. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2021. Т. 85. С. 1461.
- [11] Generalov L. N., Zhrebtsov V. A., Selyankina S. M. // Book of abstracts Intern. Conf. Nucl. Phys. "Nucleus-2022". 2022. P. 112-113.

OptModel OPTICAL MODEL PROGRAM CODE WITH RESONANCE PART

L. N. Generalov, V. A. Zhrebtsov

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center –
All-Russian Research Institute of Experimental Physics»
607188, Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave, 37
otd4@expd.vniief.ru

Elastic scattering optical model is the starting point for practically all modern nuclear-physics constant calculations (see, for example EMPIRE [1], TALYS [2] codes et al). But there are no reliable optical potentials for interaction between n , p , d , t , ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$ and the lightest and light nuclei what is related to the problem of account of different processes not separated (almost indistinguishable) from pure elastic scattering in elastic scattering experimental data and to the problem of discrete and continuous ambiguities of optical potential.

To solve these problems we developed the OptModel optical-model code [3,4] (state registration number is 2014619860) aimed at analysis of n , p , d , t , ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$, ${}^6\text{Li}$ elastic scattering on spherical (or near-spherical) nuclei. Phenomenological optical potential based on Woods-Saxon form was used in the code. The OptModel code initially described the main process of elastic scattering – that is potential scattering (Shape Elastic).

The sphere of our interest covers reactions on lightest and light nuclei, where different processes (resonance scattering and cluster exchange) experimentally unseparated from the main process noticeably manifest themselves in particle scattering. The OptModel code considers the resonant contribution. The amplitude of the resonance scattering component is added coherently to the optical model amplitude so that the control of a unitarity violation of a total scattering matrix becomes possible. Energy dependences of the optical-model parameters was taken with corrections from [5, 6]. High accuracy of solving the radial Schrodinger equations and the lack of restrictions applied on the orbital angular momentum of scattered particles allow performance of simultaneous analyses of data

ranging from astrophysical energies to hundreds of MeV. With the aid of this code there have been already analyzed the following reactions: ${}^6\text{Li}, {}^9\text{Be}+p$ [7], ${}^9\text{Be}, {}^{10}\text{B}+t$ [8-9]. Results of analysis of p elastic scattering on ${}^6,7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$ nuclei are presented in [10,11]. At the conference there will be presented the reports dedicated to the analysis of n and p elastic scattering mirror reactions on ${}^6\text{Li}$ nucleus as well as d elastic scattering on ${}^{16}\text{O}$ nucleus.

References

- [1] Herman M., Capote R., Sin M. et al. // INDC(NDS)-0603, BNL–101378–2013.
- [2] Koning A.J. et al. // Intern. Conf. on Nucl. Data for Science and Tech. 2008. P. 211.
- [3] Generalov L.N., Zharebtsov V.A., Taova S.M. // Bull Russ. Acad. Sci. Phys. 2016. V. 80. P. 295.
- [4] Generalov L.N. Zharebtsov V.A., Taova S.M. // Trudy VNIIEF. 2014. No. 9. P. 164.
- [5] Sun W., Watanabe Y., Soukhovitski E.Sh., et al. // Intern. Conf. on Nucl. Data for Science and Tech. 2005. P. 402.
- [6] Delaroche J.P., Wang Y., Rapoport J. // Phys. Rev. C. 1989. V. 39. P. 391.
- [7] Collection «RFNC-VNIIEF main progress». 2019. P. 27.
- [8] Collection «RFNC-VNIIEF main progress». 2020. P. 25.
- [9] Collection «RFNC-VNIIEF main progress». 2021. P. 24.
- [10] Generalov L.N., Zharebtsov V.A., Selyankina S.M. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2021. V. 85. P. 1136.
- [11] Generalov L.N., Zharebtsov V.A., Selyankina S.M. // Book of abstracts Intern. Conf. Nucl. Phys. “Nucleus-2022”. 2022. P. 112-113.

КРЕМНИЕВЫЕ ДЕТЕКТОРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СВЕРХПЛОТНОЙ ЯДЕРНОЙ МАТЕРИИ НА УСКОРИТЕЛЬНО-НАКОПИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ NICA

**С. Н. Белокурова, В. В. Вечернин, И. И. Ерыгин, В. И. Жеребчевский, Е. О. Землин,
В. П. Кондратьев, Н. А. Мальцев, В. В. Петров, Н. А. Прокофьев, С. Ю. Торилов**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет», Россия, 199034, Санкт-Петербург,
Университетская наб., д. 7–9, v.zharebchevsky@spbu.ru.

Одной из актуальных задач физики высоких энергий и элементарных частиц является изучение сильно взаимодействующей материи в экстремальных условиях. Проведение исследований в этом направлении даст ответы на фундаментальные вопросы современной физики, связанные с уравнением состояния ядерной материи при высоких плотностях и температурах, свойствами фазового перехода в состояние деконфаймента, наличием и положением критической точки на фазовой диаграмме ядерного вещества. Это позволит пролить свет на первые секунды существования Вселенной, а также количественно описать процессы слияния нейтронных звезд. Состояния с высокой плотностью ядерной материи будут исследоваться в ядро-ядерных столкновениях при энергиях 4 – 11 ГэВ на строящемся в ОИЯИ коллайдере NICA, изучая выходы частиц, содержащих тяжелые кварки, в экспериментах MPD (Multi Purpose Detector) и SPD (Spin Physics Detector). Поэтому высокоэффективная регистрация таких частиц с использованием трековых детекторных систем приобретает большое значение.

В работе будет дан обзор современных вершинных детекторов, создаваемых на основе кремниевых сенсоров: внутренняя трековая система эксперимента ALICE на Большом Адронном Коллайдере, а также вершинные детекторы экспериментов MPD и SPD на коллайдере NICA. Будут представлены разработки новых детекторных систем с использованием тонких и ультратонких кремниевых пиксельных детекторов для прецизионной идентификации вершин распадов очарованных адронов. Также будут представлены результаты работ по

созданию новых сверхлегких структур поддержки (на основе отечественных углекомпонитных материалов) и охлаждения детекторных модулей. Будут приведены результаты исследований свойств и характеристик кремниевых пиксельных сенсоров на основе технологии КМОП в контексте задач по детектированию редких распадов адронов, содержащих тяжелые кварки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-12-00042, <https://rscf.ru/project/23-12-00042/>

SILICON DETECTOR SYSTEMS FOR INVESTIGATIONS OF SUPERDENSE NUCLEAR MATTER AT THE NICA COLLIDER

S. Belokurova, V. Vechernin, I. Erygin, V. Zhrebchevsky, E. Zemlin, V. Kondratiev, N. Maltsev, V. Petrov, N. Prokofiev, S. Torilov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saint-Petersburg State University”, Russia, 199034, Saint-Petersburg, Universitetskaya Embankment, 7–9,
v.zhrebchevsky@spbu.ru

One of the actual problems of high energy and elementary particle physics is the study of strongly interacting matter under extreme conditions. The studies in this field will give answers to fundamental questions of modern physics, related to the equation of nuclear matter states at high densities and temperatures, properties of the phase transition to the deconfinement state, the existence and location of the critical point on the nuclear matter phase diagram. It make possible to shed light on the first seconds of the Universe existence, as well as to quantitatively describe the processes of neutron star fusion. High-density states of nuclear matter will be investigated in nucleus-nucleus collisions at energies: 4 - 11 GeV in the NICA collider at JINR, studying the yields of particles containing heavy quarks in the experiments MPD (Multi Purpose Detector) and SPD (Spin Physics Detector). Therefore, highly efficient registration of such particles using track detector systems is very important.

This work will give an overview of modern vertex detectors based on silicon sensors: the inner tracking system of the ALICE experiment at the Large Hadron Collider, as well as vertex detectors of the MPD and SPD experiments at the NICA collider. Development of new detector systems using thin and ultrathin silicon pixel detectors for precision identification of charmed hadrons decay vertexes will be presented. The results of work on new ultralight support structures (based on Russian carbon-composite materials) and cooling of detector modules will also be presented. The new data of studies of the properties and characteristics of silicon pixel sensors based on CMOS technology in the context of the tasks of detecting rare hadron decays containing heavy quarks will be discussed.

The reported study was supported by the Russian Science Foundation, project no. № 23-12-00042, <https://rscf.ru/en/project/23-12-00042/>

КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ СПОНТАННОГО И ВЫНУЖДЕННОГО ДВОЙНОГО И ТРОЙНОГО ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР С ВЫЛЕТОМ ПРЕДРАЗРЫВНЫХ НУКЛОНОВ И ЛЕГКИХ ЯДЕР

С. Г. Кадменский

Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия
E-mail: kadmensky@phys.vsu.ru

В настоящей работе проведен критический анализ существующих подходов к описанию характеристик спонтанного и вынужденного двойного и истинного тройного деления ядер и продемонстрированы успехи в понимании рассматриваемых процессов развивающейся квантовой теории деления.

Показано, что делящаяся система остается «холодной» на всех стадиях двойного деления, начинающихся со спуска деформированного делящегося ядра с внешней седловой точки и заканчивающихся формированием угловых распределений продуктов деления. Подтверждено, что учет нулевых коллективных поперечных bending- и wriggling-колебаний предфрагментов деления в разрывных конфигурациях делящегося ядра приводит к появлению больших значений как спинов I_1 и I_2 , так и относительных орбитальных моментов L фрагментов деления. При этом рассчитанные значения спинов фрагментов I_1 и I_2 оказываются в разумном согласии с их наблюдаемыми значениями при использовании условия твердотельности моментов инерции фрагментов. Появление же больших значений L при использовании принципа неопределенности квантовой механики для величин ΔL и $\Delta\theta$, где $\Delta\theta$ – неопределенность угла вылета фрагментов деления, позволяет подтвердить гипотезу О. Бора о близости направления вылета фрагментов деления к направлению оси симметрии делящегося ядра.

Подтверждено, что истинное тройное деление является виртуальным процессом, поскольку связано с формированием виртуального состояния промежуточного ядра, лежащего вне массовой поверхности указанного деления. Продемонстрирована возможность разумного описания выходов, угловых и энергетических распределений предразрывных нуклонов и различных легких ядер в тройном делении ядер.

Обоснован механизм, обусловленный Кориолисовым взаимодействием полного спина делящегося ядра с орбитальными моментами вылетающих при делении ядер частиц и позволяющий описать характеристики тройных и пятерных Р-четных, Т-нечетных асимметрий в дифференциальных сечениях реакций деления ядер холодными поляризованными нейтронами с вылетом как α -частиц, так и мгновенных нейтронов и γ -квантов.

QUANTUM THEORY OF SPONTANEOUS AND STIMULATED BINARY AND TERNARY NUCLEAR FISSION WITH THE EJECTION OF PRESSION NUCLEONS AND LIGHT NUCLEI

S. G. Kadmsky

Voronezh State University, Voronezh, Russia
E-mail: kadmensky@phys.vsu.ru

In the present work, a critical analysis of the existing approaches to describing the characteristics of spontaneous and induced binary and true ternary fission of nuclei is carried out and successes in understanding the considered processes of the developing quantum theory of fission are demonstrated.

It is shown that the fissile system remains "cold" at all stages of binary fission, starting with the descent of the deformed fissile nucleus from the outer saddle point and ending with the formation of angular distributions of fission products. It has been confirmed that taking into account the zero collective transverse bending and wriggling vibrations of fission prefragments in discontinuous configurations of the fissile nucleus leads to the appearance of large values of both spins I_1 and I_2 and relative orbital angular momenta L of fission fragments. In this case, the calculated values of the spins of fragments I_1 and I_2 turn out to be in reasonable agreement with their observed values when using the condition of the solidity of the moments of inertia of the fragments. The appearance of large values of L when using the uncertainty principle of quantum mechanics for the quantities ΔL and $\Delta\theta$, where $\Delta\theta$ is the uncertainty of the angle of emission of fission fragments, allows us to confirm O. Bohr's hypothesis that the direction of emission of fission fragments is close to the direction of the axis of symmetry of the fissile nucleus.

It is confirmed that true ternary fission is a virtual process, since it is associated with the formation of a virtual state of the intermediate nucleus, which lies outside the mass surface of the indicated fission. The possibility of a reasonable description of the yields, angular and energy distributions of precession nucleons and various light nuclei in ternary nuclear fission are demonstrated.

A mechanism is substantiated, which is due to the Coriolis interaction of the total spin of a fissile nucleus with the orbital momenta of particles emitted during nuclear fission and which makes it possible to describe the characteristics of ternary and quintuple P-even, T-odd asymmetries in the differential cross sections for nuclear fission reactions by cold polarized neutrons with the emission of both α -particles and prompt neutrons and γ -quanta.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ НА АЛЬФА-РАСПАД

Л. Ф. Витушкин, Ф. Ф. Карпешин, А. Н. Пронин

ВНИИМ имени Д. И. Менделеева, Санкт-Петербург, РФ
E-mail: fkarpeshin@gmail.com

Существует противоречие между лабораторными исследованиями, рассматривающими ядерные реакции без учета возможной роли электронной оболочки или окружения, и приложениями, которые имеют дело с различными электронными оболочками или окружениями. Как следствие, остаются неизвестными сечения многих важных для астрофизики ядерных реакций. Удивительно, но до работы [1] расчеты вероятности альфа-распада проводились в рамках модели замороженной электронной оболочки (ЗО). И только в работе [1] было показано, что движение альфа-частицы адиабатично по отношению к электронам. Поэтому электростатический потенциал, ощущаемый альфа-частицей, также изменяется по сравнению с «замороженной» оболочкой. Рассчитанный же в модели ЗО эффект оказывается даже неверного знака и на порядок больше, чем в адиабатическом подходе. Правильный эффект имеет величину порядка промилле. Чтобы уловить такую разницу, мы предлагаем остроумный с метрологической точки зрения способ экспериментальной проверки через измерение разницы скоростей распада между гелий-подобными ионами и голыми ядрами в одном и том же накопительном кольце [2]. Этот метод позволяет радикально уменьшить статистические и систематические погрешности. Первую можно сделать достаточно малой, увеличив до одного миллиона количество инжектируемых в накопительное кольцо радиоактивных ионов за счет использования долгоживущих изотопов ^{212}Rn с периодом полураспада 23.9 м. Так можно обеспечить статистическую погрешность в пределах промилле. А использование одного и того же кольца для циркуляции ионов уменьшает систематическую погрешность в 50 раз. Таким образом, наш метод позволит преодолеть неудачу тестового эксперимента в ГСИ Дармштадт, в котором использовались короткоживущие изотопы, а измерения в нейтральных атомах проводились независимо традиционными методами. Наш метод позволит сократить время измерения до суток.

Список литературы

1. F. F. Karpeshin // Phys. Rev. C 87, 054319 (2013).
2. F. F. Karpeshin, M. B. Trzhaskovskaya, L. F. Vitushkin // Phys. Rev. C 105, 024307 (2022)

METROLOGICAL SEARCH FOR THE EFFECT OF THE ELECTRON SCREENING ON THE ALPHA DECAY

L. F. Vitushkin, F. F. Karpeshin, A. N. Pronin

D. I. Mendeleev Institute for Metrology, Saint-Petersburg, Russia
E-mail: fkarpeshin@gmail.com

There is a contradiction between laboratory studies that consider nuclear reactions without regard to a possible role of the electron shell or environment, and applications that deal with different

electron shells or environments. As a consequence, cross-sections of many important for astrophysics nuclear reactions remain unknown. Surprisingly, until [1], alpha decay probability calculations were carried out within the framework of the frozen electron shell (FS) model. And only in work [1] it was shown that the motion of the alpha particle is adiabatic with respect to electrons. Therefore, the electrostatic potential felt by the alpha particles also changes compared to that of the "frozen" shell. The effect calculated in the FS model turns out to be even of the wrong sign and is an order of magnitude larger than within the adiabatic approach. The correct effect is of the order of ppm. In order to catch such a difference, we propose a method of experimental verification, ingenious from a metrological point of view, by measuring the difference in the decay rates between helium-like ions and bare nuclei in the same storage ring [2]. This method makes it possible to radically reduce statistical and systematic errors. The first one can be made quite small by increasing the number of radioactive ions injected into the storage ring to one million by using long-lived ^{212}Rn isotopes with a half-life of 23.9 m. The use of the same ring for ion circulation reduces the systematic error by a factor of 50. Thus, our method will make it possible to overcome the failure of the test experiment at GSI Darmstadt, where short-lived isotopes were used, and measurements in neutral atoms were carried out independently by traditional methods. Our method will reduce the measurement time to a day.

References

1. F. F. Karpeshin // Phys. Rev. C 87, 054319 (2013).
2. F. F. Karpeshin, M. B. Trzhaskovskaya, L. F. Vitushkin // Phys. Rev. C 105, 024307 (2022)

СТИМУЛИРОВАНИЕ БЕЗНЕЙТРИННОГО ДВОЙНОГО e -ЗАХВАТА ВНЕШНИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Ф. Ф. Карпешин¹⁾, В. Н. Кондратьев²⁾

¹⁾Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д. И. Менделеева (ВНИИМ), Санкт-Петербург, РФ
E-mail: fkarpeshin@gmail.com

²⁾ЛТФ им. Боголюбова, 141980 Объединенный институт ядерных исследований
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

Обсуждение гипотетической темной материи и темной энергии во Вселенной стимулирует большой интерес к изучению безнейтринного двойного бета-распада и двойного e -захвата ядром. Последний процесс мог бы дать однозначное доказательство майорановской природы нейтрино. В то же время он обычно подавляется на много порядков из-за своего резонансного характера и связанного с ним фактора Брейта-Вигнера. С другой стороны, атомные резонансы можно настроить [1] с помощью внешнего лазерного поля. Рассмотрим захват $2e0\nu L1L1$ в $^{78}\text{Kг}$ на уровень $2 + 2438$ кэВ ^{78}Se . Дефект резонанса $\Delta = 6,87$ кэВ. Эта избыточная энергия может быть передана полю лазерного источника мягкого рентгеновского излучения. Такой перенос осуществляется смешанным состоянием $2s-2p_{3/2}$, образующимся в поле лазера. Затем p -электроны смешиваются с s -дырками, образовавшимися при $2e$ -захвате. Амплитуда примеси $\beta = eE\langle 2p|r|2s \rangle / \delta$, где E – напряженность поля лазера, e – заряд электрона. $\delta = 6,65$ кэВ равна разности $2p_{3/2}$ - $2s$ -уровней и энергии лазерного фотона $\hbar\omega$ соответственно. Расчетное значение матричного элемента $\langle 2p|r|2s \rangle = 22$ кэВ $\cdot$ л. Фактор ускорения 12 возникает из-за присутствия br -электронов вместе с $2s$ -дырками. Предполагая $\beta \approx 1$, мы находим $E \approx 10^9$ В/см. Тогда выигрыш за счет отсутствия фактора Брейта-Вигнера равен $(\Delta/(G/2))^2 = (6,87/0,0038)^2 = 2,8 \times 10^6$, где $G = 7,6$ эВ – полная ширина состояния $2s-2$. В результате скорость удваивается уже при $E = 400$ В/см, или мощности облучения $P = 4 \times 10^6$ Вт/см ^{2} . Такие поля доступны в рентгеновских лазерах на свободных электронах, разработка которых резко возросла за последние два десятилетия, таких как гамма-фабрика в ЦЕРН [2] или настраиваемые источники мягкого рентгеновского излучения, подобные Linac Coherent Light. Источник гигаваттной мощности [3] и другие.

Список литературы

- [1] Карпешин Ф. Ф. Мгновенное деление ядра в мюонных атомах и резонансная конверсия. Санкт-Петербург: «Наука». 2006.
[2] Budker D. et al. Ann. Phys. (Berlin) **534**, 2100284 (2022).
[3] Duris J. et al., Nature Photonics: www.nature.com/naturephotonics, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41566-019-0549-5>.

EXTERNAL-RADIATION ASSISTANCE OF NEUTRINOLESS DOUBLE-ELECTRON CAPTURE

F. F. Karpeshin¹⁾, V. N. Kondratiev²⁾

¹⁾D. I. Mendeleyev Institute for Metrology, Saint-Petersburg, Russia
E-mail: fkarpeshin@gmail.com

²⁾Bogolubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research
Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

Discussion of hypothetical dark matter and dark energy in the universe stimulates a great interest in the study of neutrinoless-double-beta decay and double- e capture by the nucleus. The latter process if observed could give an unambiguous proof of the Majorana nature of neutrino. At the same time, it is usually suppressed by many orders of magnitude due to its resonance character and the related Breit-Wigner factor. On the other hand, atomic resonances can be tuned [1] by means of externally applied laser field. Consider $2e0\nu L_1L_1$ capture in ^{78}Kr to the 2^+ 2438-keV level of ^{78}Se . Defect or resonance $\Delta = 6.87$ keV. This excessive energy can be transferred to the field of a soft-X-ray laser source. Such a transfer is fulfilled by the $2s$ - $2p_{3/2}$ mixed state formed in the field of the laser. Then the p electrons mix with the s holes formed in the $2e$ -capture. The amplitude of admixture is $\beta = eE\langle 2p|r|2s\rangle/\delta$, E being the laser strength, and e – the electron charge. $\delta = 6.65$ keV equals the difference of the $2p_{3/2}$ - $2s$ -levels and the energy of the laser photon $\hbar\omega_l$, respectively. The calculated value of the matrix element $\langle 2p|r|2s\rangle = 22$ keV⁻¹. Acceleration factor of 12 arises due to the presence of the $6p$ electrons together with the $2s$ holes. Supposing $\beta = 1$, one finds $E \approx 10^9$ V/cm. Then the gain due to absence of the Breit-Wigner factor is $(\Delta/(G/2))^2 = (6.87 / 0.0038)^2 = 2.8 \times 10^6$, where $G = 7.6$ eV is the total width of the $2s^{-2}$ state. As a result, the rate doubles already at $E = 400$ V/cm, or irradiation power $P = 4 \times 10^6$ W/cm². Such fields are available at X-ray free-electron lasers, whose development have seen the rise during the last two decades, such as the gamma factory at CERN [2] or tunable soft X-ray sources, like Linac Coherent Light Source with gigawatt power [3], and others.

References

- [1] F. F. Karpeshin. Prompt Nuclear Fission in Muonic Atoms and Resonance Conversion, Saint Petersburg: «Наука», 2006.
[2] D. Budker et al. Ann. Phys. (Berlin) **534**, 2100284 (2022).
[3] Joseph Duris et al., Nature Photonics: www.nature.com/naturephotonics, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41566-019-0549-5>.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПИНОВЫХ ЭФФЕКТОВ НА ЯДЕРНЫХ МИШЕНЯХ НА УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ У-70

В. В. Мочалов (от имени сотрудничества СПАСЧАРМ)

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт физики высоких энергий им. А. А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Протвино Московской обл., 142281, пл. Науки, тел. +7(4967)713467 +7, факс (4967) 74-28-24, mochalov@ihep.ru

На ускорительном комплексе У-70 НИЦ «Курчатовского института» – ИФВЭ проведен первый набор данных по исследованию спиновых эффектов во взаимодействии адронов [1]. Основной задачей эксперимента является изучение односпиновых и двухспиновых эффектов с использованием поляризованной мишени и/или поляризованного пучка.

В докладе обсуждается физическая программа всего эксперимента, включая исследования с поляризованными пучками. На втором этапе эксперимента с использованием поляризованного протонного и антипротонного пучка планируется исследовать спиновую структуру нуклонов и особенности появления спиновых эффектов в сильном взаимодействии, в том числе, изучить зависимость односпиновой асимметрии в десятках реакций от номера атомного ядра.

Уже на первом этапе на существующей экспериментальной установке планируется провести исследование спиновых эффектов на ядрах с использованием неполяризованных пучков, а именно, изучить поляризацию гиперонов и выстроенность векторных мезонов на пучках отрицательных частиц с импульсом около 27 ГэВ/с и на пучках протонов с энергией 50 ГэВ.

В экспериментальном сеансе на пучке отрицательных частиц набраны первые экспериментальные данные на пяти различных ядрах от углерода до вольфрама, проведена оценка возможности измерения выстроенности ρ -мезона и поляризации Λ -гиперона. В ближайших сеансах планируется увеличить в несколько раз набранную статистику и набрать данные на протонном пучке.

Список литературы

1. Концептуальный проект эксперимента СПАСЧАРМ, Сотрудничество СПАСЧАРМ, ЭЧАЯ, 2023, том 54, выпуск 1, стр. 6

INVESTIGATION OF SPIN EFFECTS ON NUCLEAR TARGETS AT THE U-70 ACCELERATOR COMPLEX

V. Mochalov (on behalf of the SPASCHARM collaboration)

Kurchatov Institute, A. A. Logunov National Research Center, Institute of High Energy Physics
Nauki sq., 1, Protvino, Moscow reg., 142281 Russia, tel. +7(4967)713467 +7, fax: (4967) 74-28-24
mochalov@ihep.ru

The first set of data on the study of spin effects in hadronic interactions was carried out at the U-70 accelerator complex of the National Research Center "Kurchatov Institute" – IHEP [1]. The main goal of the experiment is studying of single-spin and two-spin effects using a polarized target and/or a polarized beam.

Physics program of the entire experiment, including studies with polarized beams is presented. At the second stage of the experiment, it is planned to study the spin structure of nucleons and the formation of spin effects in strong interactions using a polarized proton and antiproton beam, including studying the dependence of single-spin asymmetry in dozens of reactions on the number of the atomic nucleus.

Already at the first stage, it is planned to study spin effects on nuclei using unpolarized beams at the existing experimental facility, namely, to study the polarization of hyperons and the alignment

of vector mesons in negative particle beams with a momentum of about 27 GeV/c and in proton beams with an energy of 50 GeV.

First experimental data were collected on five different nuclei from carbon to tungsten on a beam of negative particles, and the possibility of measuring the alignment of the ρ -meson and the polarization of the Λ -hyperon was evaluated. In the next data taking runs, it is planned to increase the collected statistics by several times and also to collect data with the use of the proton beam.

References

1. Conceptual Design of the SPASCHARM Experiment, Physics of Particles and Nuclei, 2023, V. 54, N 1, p.69

ВИХРЕВЫЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ В ЯДРАХ

В. О. Нестеренко

Лаборатория теоретической физики, 141980 Объединенный институт ядерных исследований
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
Тел.: +7 (496) 216-3383; факс: +7 (496) 216-5084; e-mail: nester@theor.jinr.ru

В последние годы большое внимание привлекает изучение внутреннего вихревого движения в ядрах, проявляющееся в тороидальных E1 возбуждениях. В докладе кратко обсуждаются основные вопросы и последние достижения по данной теме: тороидальный E1 резонанс как вихревое кольцо Хилла, связь между тороидальным и пигми E1 резонансами [1-3], индивидуальные низкоэнергетические E1 тороидальные состояния в легких деформированных ядрах [4], влияние на тороидальный резонанс кластерных степеней свободы в легких ядрах [5], возможные пути поиска тороидальных возбуждений в эксперименте [5], проявления тороидальной моды в других физических системах.

Список литературы

1. Repko A., Reinhard P.-G., Nesterenko V. O., Kvasil J. Toroidal nature of the low-energy E1 mode // Phys. Rev. C. 2013. Vol. 87. P. 024305-1 - 024305-6.
2. Nesterenko V. O., Kvasil J., Repko A., Kleinig W., Reinhard P.-G. Toroidal Resonance: Relation to Pygmy Mode, Vortical Properties, and Anomalous Deformation Splitting // Phys. Atom. Nucl. – 2016. - Vol. 79. – P. 842- 850.
3. Repko A., Nesterenko V. O., Kvasil J., Reinhard P.-G. Systematics of toroidal dipole modes in Ca, Ni, Zr, and Sn isotopes // Eur. Phys. J. A. – 2019. Vol. 55. P. 242-1 – 242-15.
4. Nesterenko V. O., Repko A., Kvasil J., Reinhard P.-G. Individual Low-Energy Toroidal Dipole State in ^{24}Mg // Phys. Rev. Lett. – 2018. Vol. 120. – P. 182501-1 - 182501-6.
5. Nesterenko V. O., Repko A., Kvasil J., Reinhard P.-G. Individual dipole toroidal states: Main features and search in the (e,e') reaction // Phys. Rev. C. 2019. Vol. 100. P. 064302-1 - 064302-11.

VORTICAL EXCITATIONS IN NUCLEI

V. O. Nesterenko

Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research
Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
Phone: +7 (496) 216-3383; fax: +7 (496) 216-5084; e-mail: nester@theor.jinr.ru

Last years the intrinsic nuclear vorticity associated with toroidal E1 excitations attracts a high attention. We briefly discuss some basic aspects and recent progress in this activity: toroidal E1 resonance as a Hill's vortex ring, relation between the toroidal and pygmy E1 resonances [1-3],

individual low-energy E1 toroidal states in light deformed nuclei [4], impact of cluster degrees of freedom on toroidal resonance in light nuclei [5], possible ways for the search of toroidal excitations in experiment [5], manifestation of the vortical toroidal flow in other physical systems.

References

1. Repko A., Reinhard P.-G., Nesterenko V. O., Kvasil J. Toroidal nature of the low-energy E1 mode // Phys. Rev. C. 2013. Vol. 87. P. 024305-1 - 024305-6.
2. Nesterenko V. O., Kvasil J., Repko A., Kleinig W., Reinhard P.-G. Toroidal Resonance: Relation to Pygmy Mode, Vortical Properties, and Anomalous Deformation Splitting // Phys. Atom. Nucl. – 2016. - Vol. 79. – P. 842- 850.
3. Repko A., Nesterenko V. O., Kvasil J., Reinhard P.-G. Systematics of toroidal dipole modes in Ca, Ni, Zr, and Sn isotopes // Eur. Phys. J. A. – 2019. - Vol. 55. – P. 242-1 – 242-15.
4. Nesterenko V. O., Repko A., Kvasil J., Reinhard P.-G. Individual Low-Energy Toroidal Dipole State in ^{24}Mg // Phys. Rev. Lett. – 2018. - Vol. 120. – P. 182501-1 - 182501-6.
5. Nesterenko V. O., Repko A., Kvasil J., Reinhard P.-G. Individual dipole toroidal states: Main features and search in the (e,e') reaction // Phys. Rev. C. – 2019. Vol. 100. P. 064302-1 - 064302-11.

НЕЙТРОННО-СИНХРОТРОННАЯ ТОМОГРАФИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Е. С. Коваленко¹, М. М. Мурашев¹, К. М. Подурец^{1*},
Е. Ю. Терещенко^{1,2}, Е. Б. Яцишина¹

¹ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

² ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Москва

* Podurets_KM@nrcki.ru

В Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» действуют экспериментальные установки для проведения экспериментов по томографии на пучках тепловых нейтронов и синхротронного излучения. Источниками излучения являются исследовательский реактор ИР-8 и специализированный источник синхротронного излучения «КИСИ – Курчатов». Одним из ярких примеров эффективного применения методов нейтронной и синхротронной томографии является исследование объектов культурного наследия, т.к. они позволяют без разрушения предметов выявить скрытые детали их строения.

Работы в данном направлении проводятся в сотрудничестве с Институтом археологии РАН, Государственным историческим музеем, Государственным музеем изобразительных искусств им. А. С. Пушкина и другими организациями. В докладе представлен обзор основных работ по исследованию предметов культурного наследия, выполненных в Курчатовском институте с применением методов нейтронной и синхротронной томографии, в том числе, при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения проекта №15.СИН.21.0023 (Соглашение № 075-15-2022-1177 от 25.08.2022).

В результате работ удастся получить важную информацию о сохранности предметов, скрытом продуктами коррозии декоре, технологии изготовления и других особенностях предметов, а также восстановить их первоначальный вид.

NEUTRON AND SYNCHROTRON TOMOGRAPHY FOR INVESTIGATION OF CULTURAL HERITAGE ARTEFACTS

E. S. Kovalenko¹, M. M. Murashev¹, K. M. Podurets^{1*}, E. Yu. Tereshchenko^{1,2}, E. B. Yatsishina¹

¹ National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow

² FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Moscow

* Podurets_KM@nrcki.ru

The National Research Center "Kurchatov Institute" operates experimental facilities for conducting tomography experiments on thermal neutron beams and synchrotron radiation. Radiation sources are the research reactor IR-8 and the dedicated source of synchrotron radiation "KSRS - Kurchatov". One of the striking examples of the effective application of neutron and synchrotron tomography methods is the study of cultural heritage artefacts, since this methods allow to reveal the hidden details of their structure without destroying objects.

Work in this field is conducted in cooperation with the Institute of Archeology of the Russian Academy of Sciences, the State Historical Museum, the A.S. Pushkin State Museum of Fine Arts and other organizations. The report presents an overview of the main studies of cultural heritage objects carried out in the Kurchatov Institute using neutron and synchrotron tomography methods, including the research supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the framework of the implementation of project No. 15.SIN.21.0023 (Agreement No. 075-15-2022-1177 of 08/25/2022).

As a result of the work, it is possible to obtain important information about the safety of artefacts, decor hidden by corrosion products, manufacturing technology and other features of objects, as well as to restore their original appearance.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЯДЕР, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕАКЦИЯХ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НА УСКОРИТЕЛЯХ ОИЯИ МИШЕНЕЙ: ²³⁸U, АКТИНИДОВ, ¹⁶⁵Ho И ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАСТМАССЫ

С. П. Авдеев, О. В. Белов, Д. Р. Дрноян, В. В. Кобец, М. С. Новиков, Г. И. Смирнов,
В. И. Стегайлов, С. И. Тютюнников

141980 Объединенный институт ядерных исследований

г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

E-mail: stegajlov2013@yandex.ru

Исследования проводились в рамках экспериментов по электроядерной тематике в ЛФВЭ ОИЯИ и в рамках проекта «ЯСНАПП-2» ЛЯП ОИЯИ. Использовались ускорители ОИЯИ: Нуклотрон, Фазотрон, ЛИНАК-200 и первая очередь комплекса NICA с пучком ксенона при энергии более трех ГэВ/нуклон.[1]

Измерения проводились с использованием различных спектрометрических методик, полупроводниковых детекторов и многодетекторных спектрометров совпадений [2].

Нами показано в ходе проведенных экспериментов, что использование ускорителей фазотрона (Ер = 660 МэВ) и ускорителя электронов (ЛИНАК-200 МэВ) позволяет эффективно исследовать изомерию и структуру радиоактивных ядер, полученных в ходе облучения мишеней ¹⁶⁵Ho, ²³⁸U, ²⁰⁹Pb, актинидов и образцов из высокотемпературной пластмассы. [1, 3]

В настоящем докладе приведены результаты исследований планируемых публикаций по определенным направлениям [1–3].

Список литературы

1. Tyutyunnikov S. I., Stegailov V. I. *et al.*, // "NUCLEUS-2022". ТАШКЕНТ, 130 (2021).
2. Kalinnikov V. G. *et al.* // "NUCLEUS-2006". Sarov. 2006. P.339.
3. Stegailov V. I. *et al.* // LV National conference on nucl. physics. S.-Petersburg. 2005. P.72.

**INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF NUCLEI OBTAINED IN REACTIONS
DURING IRRADIATION AT JINR ACCELERATORS OF TARGETS:
²³⁸U, ACTINIDES, ¹⁶⁵Ho AND SAMPLES OF HIGH-TEMPERATURE PLASTIC**

**V. I. Stegailov, S. I. Tyutyunnikov, O. V. Belov, M. S. Novikov, V. V. Kobets, C. P. Avdeev,
G. I. Smirnov, J. R. Drnoyan**

Joint Institute for Nuclear Research
Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
E-mail: stegajlov2013@yandex.ru, tsi210647@yandex.ru

The research was carried out within the framework of experiments on the electro-nuclear topic at the JINR LSE and within the framework of the project "YASNAPP-2" of the JINR Nuclear Power Plant. JINR accelerators were used: Nuclotron, Phasotron, LINAK-200 and the first stage of the NICA complex with a xenon beam at an energy of more than three GeV/nucleon. [1]

Measurements were carried out using various spectrometric techniques, semiconductor detectors and multi-detector coincidence spectrometers [2].

We have shown in the course of our experiments that the use of phasotron accelerators ($E_p = 660$ MeV) and electron accelerator (LINAK-200 MeV) makes it possible to effectively study the isomerism and structure of radioactive nuclei obtained during irradiation of targets ¹⁶⁵Ho, ²³⁸U, ²⁰⁹Bi, actinides and samples from high-temperature plastic. [1, 3]

This report presents the results of studies of planned publications in certain areas [1–3].

References

1. Tyutyunnikov S. I., Stegailov V. I. *et al.*, // "NUCLEUS-2022". ТАШКЕНТ, 130 (2021).
2. Kalinnikov V. G. *et al.* // "NUCLEUS-2006". Sarov. 2006. P.339.
3. Stegailov V. I. *et al.* // LV National conference on nucl. physics. S.-Petersburg. 2005. P.72.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИЙ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ > 1ГЭВ
ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НА УСКОРИТЕЛЯХ ОИЯИ МИШЕНЕЙ ТЯЖЕЛЫХ ИЗОТОПОВ,
АКТИНИДОВ И УРАНА ²³⁸U С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОЯДЕРНЫХ СИСТЕМ
(АДС-РЕАКТОРОВ)**

С. И. Тютюнников, В. И. Стегайлов, О. В. Белов, С. П. Авдеев, В. Н. Кобец, Г. И. Смирнов

141980 Объединенный институт ядерных исследований
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
E-mail: stegajlov2013@yandex.ru, tsi210647@yandex.ru

Эксперименты, их проведение в рамках работы по созданию электроядерных систем (АДС-реакторов), в первую очередь направлены на решение проблемы трансмутации актинидов нептуния, америция, плутония, которые искусственно образуются в реакторе, как фоновый продукт, активно поглощающий нейтроны.

Задача представляет собой обширную тему для исследования.

1. Исследование трансмутации образцов в нейтронных полях, полученных в мишенных сборках «Квинта», «Буран» проект [1-5] и других с помощью Фазотрона при энергии протонов 660 МэВ.

2. Исследование трансмутации образцов в нейтронных полях, полученных с помощью пучков заряженных частиц на ускорителе Нуклотрон ОИЯИ [2].

3. Исследование трансмутации образцов в поле тормозного излучения, полученном с помощью электронного ускорителя ЛИНАК-200 с энергией электронов до 200 МэВ [2].

4. Исследование трансмутации образцов в полях лазерного излучения [3, 4].

5. Исследование моноизотопов в широком диапазоне масс от ^{23}Na , ^{27}Al , ^{45}Sc , ^{51}V , ^{55}Mn , ^{59}Co , ^{75}As , ^{89}Y , ^{93}Nb , ^{103}Rh , ^{113}In , ^{165}Ho до ^{209}Bi и ^{238}U , а также их комбинаций, с целью исследования систематических изменений их свойств при облучении в нейтронных полях, созданных с помощью пучков ускорителей ОИЯИ.

В настоящем докладе приведены результаты исследований планируемых публикаций по определенным направлениям [1-5].

Список литературы

1. Tyutyunnikov S.I., Stegailov V.I. *et al.*, // "NUCLEUS-2021". St-Petersburg, 130 (2021).
2. Tyutyunnikov S.I., Stegailov V.I. *et al.* // «Nucleus-2018». Voronezh. 2018. P.234.
3. Tyutyunnikov S.I., Stegailov V.I. *et al.* // «Nucleus-2020». St-Petersburg. 2020. P.117-118.
4. Barmina E.V., Simakin A.V., Stegailov V.I. *et al.* // «Nucleus-2017». Almaty. 2017. P.169.
5. Kilim S., Tyutyunnikov S.I., Stegailov V.I. *et al.* // NUKLEONIKA, 2018, V. 63 (1), P. 17-22.

INVESTIGATION OF REACTION PRODUCTS IN THE ENERGY RANGE > 1 GEV WHEN IRRADIATING TARGETS OF HEAVY ISOTOPES, ACTINIDES AND URANIUM ^{238}U AT JINR ACCELERATORS IN ORDER TO CREATE ELECTRO-NUCLEAR SYSTEMS (ADS-REACTORS)

S. I. Tyutyunnikov, V. I. Stegailov, O. V. Belov, S. P. Avdeev, V. V. Kobets, G. I. Smirnov

Joint Institute for Nuclear Research
Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
E-mail:stegajlov2013@yandex.ru, tsi210647@yandex.ru

The experiments carried out as part of the work on the creation of electro-nuclear systems (ADS reactors) are primarily aimed at solving the problem of transmutation of neptunium, americium, and plutonium actinides, which are artificially formed in the reactor as a background product actively absorbing neutrons.

The task is an extensive topic for research.

1. Investigation of the transmutation of samples in neutron fields obtained in the target assemblies "Quint", "Buran" project [1-5] and others using a Phasotron at a proton energy of 660 MeV.

2. Investigation of the transmutation of samples in neutron fields obtained using charged particle beams at the JINR Nuclotron accelerator [2].

3. Investigation of the transmutation of samples in the field of braking radiation obtained using the LINAK-200 electron accelerator with an electron energy of up to 200 MeV [2].

4. Investigation of the transmutation of samples in the fields of laser radiation [3, 4].

5. Investigation of monoisotopes in a wide mass range from ^{23}Na , ^{27}Al , ^{45}Sc , ^{51}V , ^{55}Mn , ^{59}Co , ^{75}As , ^{89}Y , ^{93}Nb , ^{103}Rh , ^{113}In , ^{165}Ho to ^{209}Bi and ^{238}U , as well as their combinations, in order to study systematic changes in their properties during irradiation in neutron fields created using accelerator beams JINR.

This report presents the results of studies of planned publications in certain areas [1-5].

References

1. Tyutyunnikov S. I., Stegailov V. I. *et al.*, // "NUCLEUS-2021". St-Petersburg, 130 (2021).
2. Tyutyunnikov S. I., Stegailov V. I. *et al.* // «Nucleus-2018». Voronezh. 2018. P.234.
3. Tyutyunnikov S. I., Stegailov V. I. *et al.* // «Nucleus-2020». St-Petersburg. 2020. P.117-118.
4. Barmina E. V., Simakin A. V., Stegailov V.I. *et al.* // «Nucleus-2017». Almaty. 2017. P.169.
5. Kilim S., Tyutyunnikov S. I., Stegailov V. I. *et al.* // NUKLEONIKA, 2018, V. 63 (1), P. 17-22.

НОВЫЙ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС УСТАНОВКИ ГНС-2: РАБОТА В НИЗКОФОНОВОМ РЕЖИМЕ

Ю. С. Цыганов, Д. Ибадуллаев, А. Н. Поляков, А. С. Подшибякин,
А. А. Воинов, В. Б. Злоказов

Лаборатория ядерных реакций им. Флёрова,
141980 Объединенный институт ядерных исследований
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
8-496-216-45-62, tyra@jinr.ru

Дубненский газонаполненный сепаратор-2 (ГНС-2) – наиболее совершенная установка Лаборатории ядерных реакций им. Флёрова (ЛЯР, ОИЯИ), используемая в области исследований тяжелых элементов [1, 2]. Рассматривается новая система обнаружения для ГНС-2. Модуль детектирования установки ГНС-2 состоит из двухстороннего стрипового детектора (ДССД) и многопроволочной заполненной пентаном низкого давления (~1,2 Торр, возобновляемый поток) пропорциональной камеры (МППК) [3, 4]. Основное внимание уделяется разработке новых версий (как аналоговых, так и цифровых) алгоритмов реального времени для поиска коротких коррелированных последовательностей с целью обеспечения радикального подавления фона, связанного с пучком, в ядерных реакциях полного синтеза, индуцированных тяжелыми ионами. Гибкие сценарии для этих алгоритмов находятся в стадии рассмотрения [5]. Приведены специфические моменты ΔE МППК низкого давления в условиях сверхвысоких интенсивностей пучка (до 7 мкА·ч ионов $^{48}\text{Ca}^{+10}$) [4-6]. Также кратко представлены примеры успешного применения системы детектирования в современных экспериментах $^{48}\text{Ca} + \text{Актинидная мишень} \rightarrow \text{Сверхтяжелое ядро} + \text{хп}$.

Список литературы

- [1] Oganessian Yu.Ts et al. // Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res., A 1033, 166640(2022).
- [2] Ibadullayev D. et al.// Acta Phys. Polonica, B 14, 873(2021).
- [3] Tsyganov Yu.S. et al.// Acta Phys. Polonica, B 14, 767(2021).
- [4] Ibadullayev D. et al.// Eur. J. Phys. Funct. Mater. 6, 18(2022).
- [5] Ibadullayev D. et al.// Phys. Of Atomic Nuclei, (2022) Vol.85, pp.1981-1987.
- [6] Ibadullayev D., Tsyganov Yu.S., Polyakov A.N. et al. // (2023) JINST_18_P05010.

NEW SPECTROMETRY COMPLEX OF THE DGFRS-2 SETUP: LOW BACKGROUND MODE OPERATION

Yu. S. Tsyganov, D. Ibadullayev, A. N. Polyakov, A. S. Podshibiakin,
A. A. Voinov, V. B. Zlokazov

Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Joint Institute for Nuclear Research
Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
8-496-216-45-62, tyra@jinr.ru

The Dubna Gas-Filled Recoil Separator-2 (DGFRS-2) is the most advanced facility of the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions (FLNR, JINR) used in the field of heavy element research [1, 2]. A new detection system for the DGFRS-2 is being considered. The detection module of the DGFRS-2 setup consists of a Double Side Strip Detector (DSSD) and a multiwire low-pressure pentane-filled (~1.2 Torr, renewed flow) proportional chamber (MWPC) [3, 4]. The main focus is on developing new versions (both analog and digital) of real-time algorithms to search for short correlated sequences in order to provide radical beam-associated background suppression in heavy ion-induced complete fusion nuclear reactions. Flexible scenarios for these algorithms are under consideration [5]. Specific moments of low-pressure ΔE MWPC under conditions of ultra-high beam

intensities (up to 7 μA of $^{48}\text{Ca}^{+10}$ projectiles) are presented [4-6]. Examples of the successful application of the detection system in modern $^{48}\text{Ca} + \text{Actinide Target} \rightarrow \text{SHN} + \text{xn}$ experiments are also briefly presented.

References

- [1] Yu.Ts. Oganessian et al. // Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res., A 1033, 166640(2022).
- [2] D. Ibadullayev et al.// Acta Phys. Polonica, B 14, 873(2021).
- [3] Yu.S. Tsyganov et al.// Acta Phys. Polonica, B 14, 767(2021).
- [4] D. Ibadullayev et al.// Eur. J. Phys. Funct. Mater. 6, 18(2022).
- [5] D. Ibadullayev et al.// Phys. Of Atomic Nuclei, (2022) Vol.85, pp.1981-1987.
- [6] D. Ibadullayev, Yu.S. Tsyganov, A.N. Polyakov et al. // JINST (2023) / in print/

СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ ДЛЯ РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ В МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

**А. П. Черняев^{1,2*}, Е. Н. Лыкова^{1,2}, М. В. Желтоножская^{1,2}, В. В. Розанов¹,
У. А. Близнюк^{1,2}, П. Ю. Борщеговская^{1,2}, Ф. Р. Студеникин^{1,2}**

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, стр. 2, Россия; +74959394946

² НИИЯФ МГУ имени Д. В. Скобельцына, Москва

*e-mail: a.p.chernyaev@yandex.ru

На физическом факультете МГУ имени М. В. Ломоносова на кафедре физики ускорителей и радиационной медицины реализуются образовательные программы специалитета «Физика ускорителей и радиационной медицины» и магистратуры «Радиационная медицинская физика». В 2015–2022 годах кафедрой физики ускорителей и радиационной медицины выпущено 190 студентов, 60 % из них остались работать в специальности в качестве медицинских физиков отделений лучевой терапии и специалистов по эксплуатации и разработке радиотерапевтического оборудования.

В 2012 году на базе кафедры физики ускорителей и радиационной медицины МГУ совместно с МНИОИ им. П. А. Герцена при поддержке компаний «МСМ-Медимпэкс» и «ЕЛЕКТА» были организованы курсы повышения квалификации «Физика радиационной медицины».

Для решения задачи переподготовки кадров для лучевой терапии в июле 2016 г. по договору между Московским государственным университетом им. М. В. Ломоносова (физический факультет) и Инфраструктурным и Образовательным Фондом была разработана и реализована программа профессиональной переподготовки в области разработки, эксплуатации и применения высокотехнологичных систем для лучевой терапии. Обучение по программе прошли более 50 специалистов из 15 регионов России.

С 2002 года на базе кафедры физики ускорителей и радиационной медицины защищено около 30 кандидатских и докторских диссертаций. В настоящее время для специалистов, желающих продолжить научную работу для получения ученой степени, в МГУ имени М. В. Ломоносова реализуется подготовка медицинских физиков высшей категории. Действует Докторский совет Д011 по специальностям 1.4.13 «Радиохимия» и 1.5.1 «Радиобиология» (физико-математические и биологические науки). Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в конце мая 2022 года введена с 2023 года новая научная специальность, по которой присуждаются ученая степень кандидата наук и доктора наук: медицинская физика – физико-математические науки.

При поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина».

THE SYSTEM OF TRAINING HIGHLY QUALIFIED PERSONNEL FOR RADIATION MEDICINE AT LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY

**A. P. Chernyaev^{1,2*}, E. N. Lykova^{1,2}, M. V. Zheltonozhskaya^{1,2}, V. V. Rozanov¹,
U. A. Bliznyuk^{1,2}, P. Yu. Borshchegovskaya^{1,2}, F. R. Studenikin^{1,2}**

¹⁾ Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, GSP-1, Moscow, Leninskie gory, house 1, building 2, Russia; +74959394946

²⁾ SINP Moscow State University named after D. V. Skobeltsyn, Moscow

*e-mail: a.p.chernyaev@yandex.ru

At the Faculty of Physics of Moscow State University named after M.V. Lomonosov at the Department of Physics of Accelerators and Radiation Medicine, educational programs of the specialty "Physics of Accelerators and Radiation Medicine" and the master's program "Radiation Medical Physics" are being implemented. In 2015–2022, 190 students graduated from the Department of Accelerator Physics and Radiation Medicine, 60 % of them remained to work in the specialty as medical physicists in radiation therapy departments and specialists in the operation and development of radiotherapy equipment.

In 2012, on the basis of the Department of Accelerator Physics and Radiation Medicine, Moscow State University, together with P. A. Herzen, with the support of the companies "MSM-Medimpex" and "ELEKTA", advanced training courses "Physics of Radiation Medicine" were organized.

To solve the problem of retraining personnel for radiation therapy in July 2016 under an agreement between Moscow State University. M.V. Lomonosov Moscow State University (Department of Physics) and the Infrastructure and Educational Foundation developed and implemented a program of professional retraining in the development, operation and application of high-tech systems for radiation therapy. More than 50 specialists from 15 regions of Russia have been trained under the program.

Since 2002, about 30 candidate and doctoral dissertations have been defended on the basis of the Department of Accelerator Physics and Radiation Medicine. Currently, for specialists wishing to continue their scientific work to obtain a degree, at Moscow State University named after M.V. Lomonosov, the training of medical physicists of the highest category is being implemented. There is a Doctoral Council D011 in the specialties 1.4.13 "Radiochemistry" and 1.5.1 "Radiobiology" (physical, mathematical and biological sciences). By order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation at the end of May 2022, a new scientific specialty was introduced from 2023, in which the scientific degree of candidate of science and doctor of science is awarded: medical physics - physical and mathematical sciences.

With the support of the Interdisciplinary Scientific and Educational School of Moscow University "Photonic and Quantum Technologies. Digital Medicine".

НОВАЯ РИМАНОВА ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА: ТЕОРИЯ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СЛЕДСТВИЯ

А. В. Юшков^{1*}, М. Г. Иткис²

¹⁾НИИ экспериментальной и теоретической физики при КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, РК

²⁾Лаборатория ядерных реакций им. Флерова Г. Н., 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

*yushkovalexv@mail.ru

Ядерная физика требует пересмотра состава, структуры ядер и механизмов ядерных реакций. Пересмотр ньютоновой парадигмы пространства-времени на эйнштейновскую позволяет открыть новые эффекты. В систему базисных понятий новой ядерной физики вошли принципиально новые величины – геодезические траектории и кривизна «ж» ядерного и около-

ядерного пространства. Размыкание геодезической риманова пространства дает первое следствие: *фундаментальной причиной ядерного феномена радиоактивности является устремление к нулю кривизны околоядерного пространства*. Второе следствие – это *границы протонных связанных состояний и границы нейтронных связанных структур*. Третье следствие – это *предел оконечности менделеевской таблицы по Z*. Например, для ^{208}Pb кривизна равна $\kappa_R = 0,01$, то есть уже устремлено к нулю и разрыву геодезической. Нами определены асимптотические значения связанных состояний сверхтяжелых ядер как $Z_{\max} = 184 \pm 5$.

Пересмотрена природа ядерных сил из-за того, что нужно обеспечить свойство риманова пространства – его расслоения на m -слои Ляпунова. Свойствами отталкивания обладают *магнитные диполь-дипольные взаимодействия внутри ядра*. У протона $\mu_p = +2,79$, нейтрона $\mu_n = -1,91$ ядерных магнетонов. Этот магнитный диполь $\mu_p - \mu_n$ и обеспечивает необходимое *диполь-дипольное отталкивание*. Все эти свойства проявляются в зависимости от ориентации магнитных диполей друг относительно друга. А главное, диполь-дипольное магнитное взаимодействие дает требуемое расслоение ядерного эллиптического пространства.

Согласно теореме Белова лишь восемь групп федоровских симметрий отвечают условию плотнейших упаковок, что удивительным образом совпадает с числом ядерных магических чисел. Это вскрывает *природу магических чисел – плотнейшие упаковки*, т. е. максимальные энергии связи в ядрах. Действительно, в ZN-матрице изотопов возвышаются шесть уже открытых «Островов стабильности» при магических числах протонов и нами *предсказываются 7-й и 8-й острова при $Z = 126$ и 184* .

Наконец, важным следствием новой ядерной физики является *обнаружение явления спонтанного ядерного синтеза* при движении мультикластеров вдоль геодезических траекторий.

NEW RIEMANN NUCLEAR PHYSICS: THEORY AND FUNDAMENTAL CONSEQUENCES

A. Yushkov^{1,*}, M. Itkis²

¹Institute of Experimental and Theoretical Physics al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan

² Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Joint Institute for Nuclear Research

Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

*yushkovalexv@mail.ru

Nuclear physics requires a revision of the composition, structure of nuclei and mechanisms of nuclear reactions. The revision of the Newtonian paradigm of space-time to the Einstein one allows discovering new effects. The system of basic concepts of new nuclear physics included fundamentally new quantities - geodesic trajectories and curvature " κ " of nuclear and near-nuclear space. The opening of the geodesics of the Riemannian space gives the first consequence: the fundamental cause of the nuclear phenomenon of radioactivity is the curvature of the nuclear space tending to zero. The second consequence is the boundaries of proton bound states and the boundaries of neutron bound structures. The third consequence is the end limit of the periodic table in Z. For example, for ^{208}Pb the curvature is equal to $\kappa_R = 0.01$, that is, it already tends to zero and the discontinuity of the geodesic. We have determined the asymptotic values of the bound states of superheavy nuclei as $Z_{\max} = 184 \pm 5$.

The nature of nuclear forces is revised due to the fact that it is necessary to ensure the property of the Riemannian space - its stratification into Lyapunov m -layers. The properties of repulsion are possessed by magnetic dipole-dipole interactions inside the nucleus. The proton has $\mu_p = +2.79$, the neutron $\mu_n = -1.91$ nuclear magneton. This magnetic dipole $\mu_p - \mu_n$ provides the necessary dipole-dipole repulsion. All these properties manifest themselves depending on the orientation of the magnetic dipoles relative to each other. And most importantly, the dipole-dipole magnetic interaction gives the required stratification of the nuclear elliptical space.

According to Belov's theorem, only eight groups of Fedorov symmetries meet the closest packing condition, which surprisingly coincides with the number of nuclear magic numbers. This reveals the nature of magic numbers - the closest packings, that is, the maximum binding energies in the nuclei. Indeed, in the ZN-matrix of isotopes, six already discovered "Islands of stability" rise at the magic numbers of protons, and we predict the 7th and 8th islands at $Z=126$ and 184 .

Finally, an important consequence of the new nuclear physics is the discovery of the phenomenon of spontaneous nuclear fusion when multicusters move along geodesic trajectories.

СВЕРХТЯЖЕЛЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ФОРМАЛИЗМЕ РИМАНОВО-ЛОБАЧЕВСКОЙ ГЕОМЕТРИИ

А. В. Юшков^{1,*}, М. Г. Иткис²

¹НИИ экспериментальной и теоретической физики при КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, РК

²Лаборатория ядерных реакций им. Флерова Г. Н., Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

*yushkovalexv@mail.ru

Рассеяние α -частиц, тяжелых ионов и реакция деления обнаруживают неевклидовость внутриядерного и околоядерного пространств. Даны прямые экспериментальные доказательства доминирования риманово-лобачевской геометрии внутри объема ядра. Тензорный формализм теории новой римановой ядерной физики осуществляет обратный переход от шредингеровского движения к детерминированному ньютоновому движению.

Модель Оганесяна «ядра-снежинки» и новая римановая ядерная физика позволяют объяснить новые и «старые» фундаментальные феномены в физике атомов и атомного ядра. Даны предсказания новой локализации островов стабильности сверхтяжелых химических элементов, в частности, «Острова № 7» (6 предыдущих островов уже давно открыты) при $Z = 126$ и «Острова № 8» при $Z = 184$. Теоретически обоснована конечность менделеевской таблицы в области супертяжелых химических элементов. Предложена идея новой ускорительной коллайдерной методики для уверенного достижения последних двух «островов».

На основе геометрии Римана найдены фундаментальные численные критерии конечности ZN -матрицы ядер, как со стороны протонов и нейтронов, так и со стороны супертяжелых химических элементов и уровней Ферми – максимально высокого «нагрева» ядер и максимальных значений целочисленных и дробных спинов. Квантовый характер возбужденных состояний ядер объяснен наличием новых, предлагаемых нами, специфических ядерных магнитных диполь-дипольных сил, обладающих так необходимыми для этого свойствами притягивания и отталкивания.

Из впервые найденных функций зависимости периодов полураспада от деформации ядер получено объяснение наличие фундаментальных границ для экзотических ядер. Это обнаруженное ранее катастрофическое развитие деформации ядер β_2 по мере их удаления от оси «Дорожки стабильности». Второе наблюдение не менее удивительно: за значением $Z = 50$ и вплоть до самых сверхтяжелых ядер полностью отсутствуют сплюснутые сфероиды с $\text{sign}\beta_2 < 0$. Само это явление, в свою очередь, кладет предел существованию связанных состояний ядер, так как большая полуось вытянутых сфероидов вращения становится много больше радиуса действия ядерных сил.

SUPERHEAVY CHEMICAL ELEMENTS IN THE FORMALISM OF RIMANOV- LOBACHEV GEOMETRY

A. Yushkov^{1,*}, M. Itkis²

¹Institute of Experimental and Theoretical Physics al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan

²Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Joint Institute for Nuclear Research
Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

*yushkovalexv@mail.ru

The scattering of α -particles, heavy ions, and the fission reaction reveal the non-Euclidean nature of the intranuclear and perinuclear spaces. Direct experimental evidence is given for the dominance of

the Riemannian-Lobachev geometry inside the volume of the nucleus. The tensor formalism of the theory of the new Riemannian nuclear physics carries out the reverse transition from the Schrödinger motion to the deterministic Newtonian motion.

Oganessian's "nucleus-snowflake" model and the new Riemannian nuclear physics make it possible to explain new and "old" fundamental phenomena in the physics of atoms and the atomic nucleus. Predictions of a new localization of the islands of stability of superheavy chemical elements are given, in particular, "Islands No. 7" (6 previous islands have long been discovered) at $Z = 126$ and "Islands No. 8" at $Z = 184$. The finiteness of the periodic table in the field of superheavy chemical elements is theoretically substantiated. The idea of a new accelerator collider technique for confident reaching the last two "islands" is proposed.

On the basis of Riemann geometry, fundamental numerical criteria for the finiteness of the ZN -matrix of nuclei are found, both from the side of protons and neutrons, and from the side of superheavy chemical elements and Fermi levels – the highest "heating" of nuclei and the maximum values of integer and fractional spins. The quantum nature of the excited states of nuclei is explained by the presence of new, proposed by us, specific nuclear magnetic dipole-dipole forces, which have the properties of attraction and repulsion so necessary for this.

From the functions of the dependence of half-lives on the deformation of nuclei found for the first time, an explanation is obtained for the presence of fundamental boundaries for exotic nuclei. This is the previously discovered catastrophic development of the deformation of the β_2 nuclei as they move away from the axis of the Stability Track. The second observation is no less surprising: after the value $Z = 50$ and up to the most superheavy nuclei, there are no oblate spheroids with $\text{sgn } \beta_2 < 0$. This phenomenon itself, in turn, puts a limit on the existence of bound states of nuclei, since the major semiaxis of prolate spheroids of revolution becomes much more than the range of nuclear forces.

Секция 1

***СВОЙСТВА АТОМНЫХ ЯДЕР
(ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ)***

СВОЙСТВА НИЗКОЛЕЖАЩИХ 2^+ СОСТОЯНИЙ В $^{132,136}\text{Te}$

Н. Н. Арсеньев, А. П. Северюхин

Лаборатория Теоретической Физики им. Н. Н. Боголюбова,
141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области,
ул. Жолио-Кюри, д. 6
Тел.: +7(49621)63-665, Факс: +7(49621)65-084, arsenev@theor.jinr.ru

Низкоэнергетические квадрупольные возбуждения в ядрах представляют собой уникальный полигон для изучения оболочечной структуры и изоспиновых степеней свободы. Несимметричный протон-нейтронный вклад в волновую функцию квадрупольных состояний проявляется благодаря оболочечной структуре. Такие особенности часто проявляются в виде сильных $M1$ -переходов между низколежащими 2^+ -состояниями. Свойства таких возбуждений были изучены в рамках модели, которая построена на базе эффективных сил Скимма [1, 2] с учетом взаимодействия между простыми и сложными конфигурациями [3]. Сепарабельная аппроксимация частично-дырочного взаимодействия позволяет выполнить расчеты в большом конфигурационном пространстве [4]. В данном докладе мы анализируем свойства низколежащих 2^+ -состояний в нейтронно-избыточных изотопах Te . С одним набором параметров мы описываем имеющиеся экспериментальные данные [5] и демонстрируем влияние парных корреляций сверхпроводящего типа на свойства квадрупольных возбуждений в ядре ^{136}Te [6].

Список литературы

1. Severyukhin A. P., Arsenyev N. N., Pietralla N., Werner V. Impact of variational space on $M1$ transitions between first and second quadrupole excitations in $^{132,134,136}\text{Te}$ // Phys. Rev. C. – 2014. – Vol. 90. – P. 011306-1–011306-4.
2. Severyukhin A. P., Arsenyev N. N., Pietralla N., Werner V. Proton-neutron structure of first and second quadrupole excitations of ^{90}Sr // Eur. Phys. Jour. A. – 2018. – Vol. 54. – P. 4-1–4-8.
3. Severyukhin A. P., Voronov V. V., Nguyen Van Giai. Effects of phonon-phonon coupling on low-lying states in neutron-rich Sn isotopes // Eur. Phys. J. A. – 2004. – Vol. 22. – P.397–403.
4. Severyukhin A. P., Voronov V. V., Nguyen Van Giai. Effects of the particle-particle channel on properties of low-lying vibrational states // Phys. Rev. C. – 2008. – Vol. 77. – P. 024322-1–024322-8.
5. Allmond J. M., Stuchbery A. E., Baktash C., et al. Electromagnetic moments of radioactive ^{136}Te and the emergence of collectivity $2p \times 2n$ outside of double-magic ^{132}Sn // Phys. Rev. Lett. – 2017. – Vol. 118. – P. 092503-1–092503-6.
6. Arsenyev N. N., Severyukhin A. P. // in preparation.

PROPERTIES OF LOW-LYING 2^+ STATES IN $^{132,136}\text{Te}$

N. N. Arsenyev, A. P. Severyukhin

Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6,
141980 Dubna, Moscow Region, Russia
Phone: +7(49621)63-665, Fax: +7(49621)65-084, arsenev@theor.jinr.ru

Low-energy quadrupole excitations of nuclei represent a unique laboratory for studying the balance between collectivity, shell structure, and the isospin degree of freedom. An unbalanced the proton-neutron content of the wave functions can be interpreted as configurational isospin polarization which denotes varying contributions to the 2^+ states by the active proton and neutron configurations due to subshell structure. $M1$ transitions between low-energy quadrupole excitations are often used as signature for states with such features. Starting from a Skyrme interaction we study the properties of the low-energy spectrum of quadrupole excitations [1, 2]. The coupling between one- and two-phonon terms in the wave functions of excited states is taken into account [3]. We use the finite-rank separable

approximation [4] which allows one to perform the calculations in large configurational space. In the present talk we study the properties of low-lying quadrupole excitations in neutron-rich Te isotopes. Using the same set of parameters, we describe available experimental data [5] and demonstrate the importance of the pairing effects on the properties of quadrupole excitations of ^{136}Te [6].

References

1. Severyukhin A. P., Arsenyev N. N., Pietralla N., Werner V. Impact of variational space on M1 transitions between first and second quadrupole excitations in $^{132,134,136}\text{Te}$ // Phys. Rev. C. – 2014. – Vol. 90. – P. 011306-1–011306-4.
2. Severyukhin A. P., Arsenyev N. N., Pietralla N., Werner V. Proton-neutron structure of first and second quadrupole excitations of ^{90}Sr // Eur. Phys. Jour. A. – 2018. – Vol. 54. – P. 4-1–4-8.
3. Severyukhin A. P., Voronov V. V., Nguyen Van Giai. Effects of phonon-phonon coupling on low-lying states in neutron-rich Sn isotopes // Eur. Phys. J. A. – 2004. – Vol. 22. – P.397–403.
4. Severyukhin A. P., Voronov V. V., Nguyen Van Giai. Effects of the particle-particle channel on properties of low-lying vibrational states // Phys. Rev. C. – 2008. – Vol. 77. – P. 024322-1–024322-8.
5. Allmond J. M., Stuchbery A. E., Baktash C., et al. Electromagnetic moments of radioactive ^{136}Te and the emergence of collectivity $2p \times 2n$ outside of double-magic ^{132}Sn // Phys. Rev. Lett. – 2017. – Vol. 118. – P. 092503-1–092503-6.
6. Arsenyev N.N., Severyukhin A.P. // in preparation.

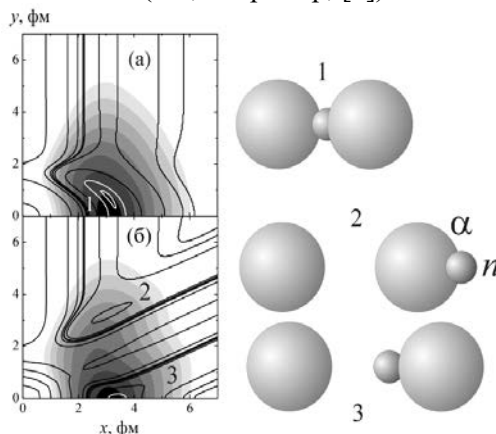
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЯДРА ^9Be В АЛЬФА-КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ МЕТОДОМ ГИПЕРСФЕРИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

А. С. Бажин^{1,2}, В. В. Самарин^{1,2}

¹ Государственный университет «Дубна», Дубна, Московская область, 141982, Россия

² 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области,
ул. Жолио-Кюри, д. 6
E-mail: factortanton@gmail.com

Волновая функция основного состояния ядра ^9Be в альфа-кластерной модели ($\alpha + \alpha + n$) вычислена с помощью разложения по гиперсферическим функциям [1]. Для решения системы гиперрадиальных уравнений применен метод интерполяции кубическими сплайнами [2]. Примеры плотности вероятности для векторов Якоби $\mathbf{x} \perp \mathbf{y}$ и $\mathbf{x} \parallel \mathbf{y}$ показаны на рисунке. Наиболее вероятна конфигурация 1 с нейтроном между α -кластерами; конфигурации 2, 3 ($\alpha + ^5\text{He}$), проявляющиеся в реакциях нуклонных и кластерных передач [3], менее вероятны. Было рассчитано распределение электрического заряда в ядре ^9Be и получено согласие с экспериментальным распределением (см., например, [4]).



Примеры плотности вероятности (градации серого цвета в логарифмическом масштабе) для основного состояния ядра ${}^9\text{Be}$ в координатах Якоби ($\mathbf{x}, \mathbf{y}$) для $\mathbf{x} \perp \mathbf{y}$ (а) и $\mathbf{x} \parallel \mathbf{y}$ (б), наиболее вероятна конфигурация 1 с нейтроном между α -кластерами; конфигурации 2, 3 ($\alpha + {}^5\text{He}$) менее вероятны; кривые – эквипотенциальные линии потенциальной энергии системы ($\alpha + \alpha + n$).

1. Джибути Р. И., Шитикова К. В. Метод гиперсферических функций в атомной и ядерной физике. – М.: Энергоатомиздат, 1993.

2. Samarin V. V., Eur. Phys. J. A. 2022. V. 58. P. 117.

3. Lukyanov S. M., Harakeh M. N., Naumenko M. A., World J. Nucl. Sci. Techn. 2015. V. 5. P. 265.

4. Загребяев В. И., Деникин А. С., Карпов А. В., Алексеев А. А., Науменко М. А., Рачков В. А., Самарин В. В., Сайко В. В. База знаний NRV по ядерной физике низких энергий, <http://nrv.jinr.ru/>.

STUDY OF THE STRUCTURE OF THE ${}^9\text{Be}$ NUCLEUS IN THE ALPHA-CLUSTER MODEL BY HYPERSPHERICAL FUNCTIONS METHOD

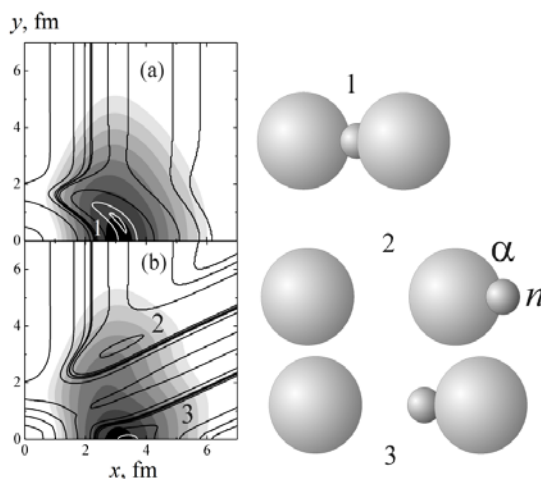
A. S. Bazhin ^{1,2}, V. V. Samarin ^{1,2}

¹ Dubna State University, Dubna, Moscow Region 141982, Russia

² Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

E-mail: factortanton@gmail.com

The wave function of the ground state of the ${}^9\text{Be}$ nucleus is calculated in the alpha-cluster model ($\alpha + \alpha + n$) using hyperspherical functions [1]. Cubic spline interpolation is applied for solving hyperradial equations [2]. The examples of the probability density for Jacobi vectors $\mathbf{x} \perp \mathbf{y}$ and $\mathbf{x} \parallel \mathbf{y}$ are shown in figure. The most probable configuration is configuration 1 with a neutron between α -clusters. Configurations 2 and 3 ($\alpha + {}^5\text{He}$) that may manifest themselves in nucleon and cluster transfer reactions [3] are less probable. The charge distribution for the ${}^9\text{Be}$ nucleus was calculated and agreement with the experimental distribution (e.g., [4]) was obtained.



Examples of the probability density (shades of grey; logarithmic scale) for the ground state of the ${}^9\text{Be}$ nucleus in Jacobi coordinates ($\mathbf{x}, \mathbf{y}$) for $\mathbf{x} \perp \mathbf{y}$ (a) and $\mathbf{x} \parallel \mathbf{y}$ (b). The most probable is the configuration 1 with neutron between α -clusters. Configurations 2 and 3 ($\alpha + {}^5\text{He}$) are less probable. Curves are equipotential lines for the potential energy of the system ($\alpha + \alpha + n$).

1. Dzhibuty R. I., Shitikova K. V., Hyperspherical functions method in the atomic and nuclear physics. – М.: Энергоатомиздат, 1993 (in Russian).

2. Samarin V. V., Eur. Phys. J. A. 2022. V. 58. P. 117.

3. Lukyanov S. M., Harakeh M. N., Naumenko M. A., World J. Nucl. Sci. Techn. 2015. V. 5. P. 265.
4. Zagrebaev V. I., Denikin A. S., Karpov A. V., Alekseev A. P., Naumenko M. A., Rachkov V. A., Samarin V. V., Saiko V. V., NRV Web Knowledge Base on Low-Energy Nuclear Physics, <http://nrw.jinr.ru/>.

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПЕРИОДОВ ПОЛУРАСПАДА СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д. Ф. Байрамов, К. А. Стопани, Т. Ю. Третьякова

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИЯФ МГУ
Тел.: +7 495 939-18-18, Факс: +7 495 932-08-96
E-mail: daniel.bayramov.02@mail.ru

Исследование сверхтяжелых элементов является одной из самых активно развивающихся областей ядерной физики на протяжении последних нескольких десятилетий. Незатухающий интерес обусловлен как важностью этой области для исследования особенностей структуры и динамики атомных ядер с экстремально большими массовыми числами, так и постоянным прогрессом в экспериментальных исследованиях сверхтяжелых ядер [1, 2]. Важной задачей в этой области является наработка как можно более полных цепочек сверхтяжелых изотопов.

Одной из основных мод распада сверхтяжелых элементов является α -распад. Фактически регистрация цепочек α -распада является свидетельством образования нового изотопа. В нашей работе рассмотрены некоторые феноменологические соотношения для предсказания периодов полураспада сверхтяжелых элементов в зависимости от энергии распада и на основе современных экспериментальных данных заново подобраны значения подгоночных параметров. Приведены результаты использования новых аппроксимаций для неизвестных ядер, при этом для предсказания энергии α -распада сделаны в рамках феноменологического метода с использованием массовых соотношений для описания нейтрон-протонных корреляций в атомных ядрах. Этот простой и прозрачный метод достаточно эффективен для предсказания масс атомных ядер в широком диапазоне массовых чисел [3, 4]. Проведено сравнение наших расчетов с результатами других моделей.

Список литературы

1. Yu. Ts. Oganessian, A. Sobiczewski, G. M. Ter-Akopian // Phys. Scr. 2017. V.92. 023003.
2. Yu. Ts. Oganessian et al. // Phys. Rev. C. 2022. V.106. 064306.
3. J. Jänecke, H. Behrens // Phys. Rev. C. 1974. V. 9. P. 1276.
4. E. V. Vladimirova, B. S. Ishkhanov, M. V. Simonov et al. // International Journal of Modern Physics E 2021. Vol. 30, no. 4. 2150025.

SEMI-EMPIRICAL FORMULAS FOR THE HALF-LIFE OF SUPERHEAVY ELEMENTS PREDICTIONS

D. F. Bayramov, K. A. Stopani, T. Yu. Tretyakova

Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
1(2) Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia,
Tel.: +7 495 939-18-18, fax: +7 495 932-08-96
E-mail: daniel.bayramov.02@mail.ru

Over the past few decades, the study of superheavy elements has been one of the most actively developing areas of nuclear physics. The continued interest is due both to the importance of this area for studying the features of the structure and dynamics of atomic nuclei with extremely large mass numbers, and to the constant progress in experimental studies of superheavy nuclei [1, 2]. An important task in this area is to produce as complete chains of superheavy isotopes as possible.

One of the main modes of decay of superheavy elements is α -decay. In fact, the registration of α -decay chains is evidence of the formation of a new isotope. In our work, we consider some phenomenological relations for predicting the half-lives of superheavy elements as a function of the decay energy and, using modern experimental data, we reselect the values of the fitting parameters. The results of using new approximations for unknown nuclei are presented. Alpha-decay energy predictions are made within the framework of the phenomenological method using mass relations to describe neutron-proton correlations in atomic nuclei. This simple and transparent method is quite effective for predicting the masses of atomic nuclei in a wide range of mass numbers [3, 4]. Our calculations are compared with the results of other models.

References

1. Yu. Ts. Oganessian, A. Sobiczewski, G.M. Ter-Akopian // Phys. Scr. – 2017. – V.92. – 023003.
2. Yu. Ts. Oganessian et al. // Phys. Rev. C. – 2022. – V.106. – 064306.
3. J. Jänecke, H. Behrens // Phys. Rev. C. – 1974. – V.9. – P. 1276.
4. E. V. Vladimirova, B. S. Ishkhanov, M. V. Simonov et al. // International Journal of Modern Physics E. — 2021. — Vol. 30, no. 4. — 2150025.

МАГИЧНОСТЬ ЯДЕР $^{52,54}\text{Ca}$ И РАДИУСЫ НЕЙТРОННЫХ ОРБИТ $1f_{7/2}$ И $2p_{3/2}$

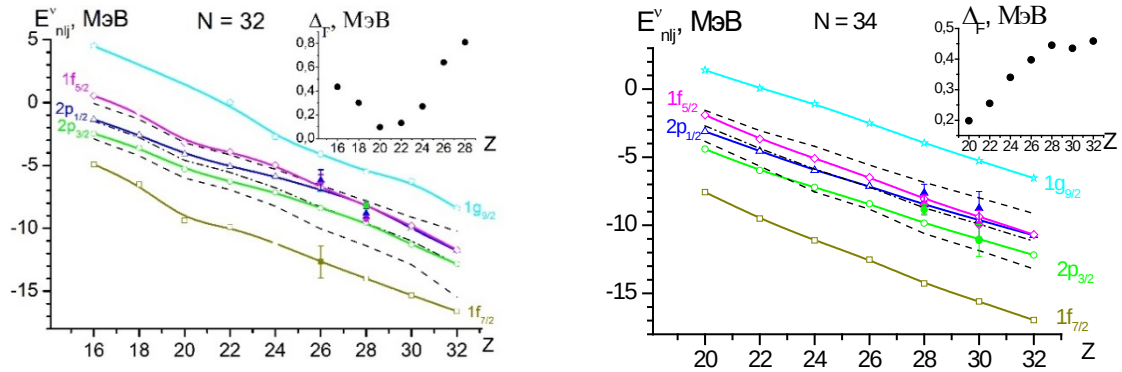
О. В. Беспалова¹, А. А. Климочкина²

¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИЯФ МГУ
Тел.: +7 495 939-18-18, Факс: +7 495 932-08-96

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Физический факультет,
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2,
+7 (495) 939-31-60
besp@sinp.msu.ru

«Неожиданно» большие [1] зарядовые радиусы r_{ch} нейтронно-избыточных изотопов Ca поставили вопрос о проявлении дважды магических свойств изотопами $^{52,54}\text{Ca}$. В [2] рост радиуса r_{ch} в ядрах с $N > 28$ связали с гало-подобными особенностями структуры нейтронных орбит $2p_{3/2}$ и $2p_{1/2}$ в изотопах Ca с $N > 28$. В настоящей работе выполнен расчет эволюции нейтронных одночастичных энергий E_{nlj} изотонов с $N = 32, 34$ (см. рис.) по дисперсионной оптической модели. Показано, что для изотонов ^{52}Ca , ^{54}Ti с $N = 32$ и ядра с ^{54}Ca с $N = 34$

характерна близость середины между последним заполненным и первым свободным нейтронными состояниями (согласно модели независимых частиц) к энергии Ферми E_F (см. врезки к рисункам ниже). Среднеквадратичные радиусы r_{rms} нейтронных орбит $1f_{7/2}$ и $2p_{3/2}$ в ^{52}Ca составили соответственно 4.2 и 5.0 фм. Первое значение хорошо согласуется с экспериментальным радиусом $r_{rms}^{exp} = 4.13(14)$ фм, второе несколько завышено по сравнению с $r_{rms}^{exp} = 4.74(18)$ фм [3]. Улучшение согласия возможно при учете тензорного взаимодействия.



Нейтронные энергии E_{nlj} изотонов с $N = 32$ (слева), 34 (справа). На вставках – разности $\Delta_F = |E_F - \langle E_{2p_{3/2}}, E_{2p_{1/2}} \rangle|$ и $\Delta_F = |E_F - \langle E_{2p_{1/2}}, E_{1f_{5/2}} \rangle|$ для изотонов с $N = 32$ и 34 соответственно

Список литературы

1. R. F. Garcia Ruiz et al. Nat. Phys. 12, 594 (2016).
2. J. Bonnard et al. Phys. Rev. Lett. 116, 212501 (2016).
3. M. Enciu et al. Phys. Rev. Lett. 129, 262501 (2022).

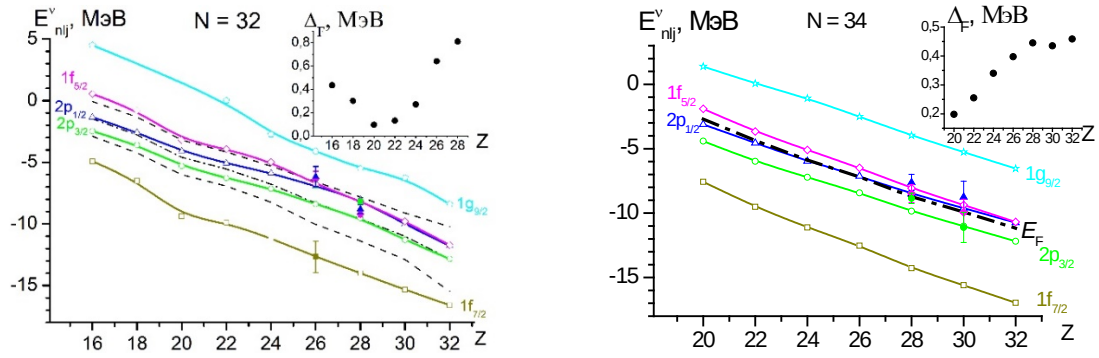
MAGICITY OF $^{52,54}\text{Ca}$ NUCLEI AND RADII OF $1f_{7/2}$ AND $2p_{3/2}$ NEUTRON ORBITS

O. V. Bespalova¹, A. A. Klimochkina²

¹ Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
1(2) Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia,
Tel.: +7 495 939-18-18, fax: +7 495 932-08-96

² M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, 1(2), Leninskie gory, GSP-1,
Moscow 119991, Russian Federation, +7 (495) 939-31-60
besp@sinp.msu.ru

"Unexpectedly" large [1] charge radii r_{ch} of the Ca isotopes with neutron excess challenges the doubly magic nature of ^{52}Ca . In [2], an increase in the radius r_{ch} in Ca isotopes with $N > 28$ was associated with the halo-like features of the structure of the $2p_{3/2}$ and $2p_{1/2}$ neutron orbits. We calculated the evolution of neutron single-particle energies of isotones with $N = 32, 34$ (see fig.) by the dispersive optical model. It is shown that the single-particle spectra of ^{52}Ca and ^{54}Ti isotones with $N = 32$ and ^{54}Ca nucleus with $N = 34$ are characterized by the proximity of the middle between the last occupied and the first unoccupied neutron states (according to the independent particle model) to the Fermi energy E_F (see incuts to the figures below). The r_{ms} radius of the $1f_{7/2}$ and $2p_{3/2}$ neutron orbits in ^{52}Ca are equal to 4.2 and 5.0 fm, respectively. The first value is in good agreement with the experimental radius $r_{rms}^{exp} = 4.13(14)$ fm and the second one is somewhat overestimated compared to $r_{rms}^{exp} = 4.74(18)$ fm [3]. The agreement can be improved by taking into account the tensor interaction.



Neutron single-particle energies of isotones with $N = 32$ (left), 34 (right). In the insets, the differences $\Delta_F = |E_F - \langle E_{2p_{3/2}}, E_{2p_{1/2}} \rangle|$ and $\Delta_F = |E_F - \langle E_{2p_{1/2}}, E_{1f_{5/2}} \rangle|$ are shown for isotones with $N = 32$ and 34 respectively

References

1. R. F. Garcia Ruiz et al. Nat. Phys. 12, 594 (2016).
2. J. Bonnard et al. Phys. Rev. Lett. 116, 212501 (2016).
3. M. Enciu et al. Phys. Rev. Lett. 129, 262501 (2022).

ПОЛУМИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЗАРЯДОВО-ОБМЕННЫХ ГИГАНТСКИХ СПИН-ДИПОЛЬНЫХ РЕЗОНАНСОВ В СРЕДНЕТАЖЕЛЫХ МАГИЧЕСКИХ МАТЕРИНСКИХ ЯДРАХ

В. И. Бондаренко¹, М. Г. Урин²

¹Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН, Москва, Россия.

²Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия.
115409, Россия, Москва, Каширское шоссе, 31
vlbondarenko@mail.ru

В докладе представлены результаты теоретических исследований основных свойств зарядово-обменных (изовекторных) гигантских спин-дипольных резонансов (ИВГСДР⁽⁺⁾) и их обертонов (ИВГСДР⁽⁺⁾2) в материнских ядрах ⁴⁸Ca, ⁹⁰Zr, ¹³²Zr и ²⁰⁸Pb. Будучи выполненным в рамках полумикроскопической частично-дырочной дисперсионной оптической модели (ЧДДОМ), это исследование является непосредственным продолжением развитого в [1] подхода к описанию основных характеристик и параметров гамов-теллеровского и зарядово-обменных гигантских спин-монопольных резонансов в указанных материнских ядрах. В докладе представлены следующие результаты: 1) ЧДДОМ адаптирована к описанию зарядово-обменных гигантских (трёхкомпонентных) спин-мультипольных резонансов в среднетяжелых магических материнских ядрах. В таком описании возможно использование фиксированных в [1] параметров модели. 2) Вычислены силовые функции J-компонент ИВГСДР⁽⁺⁾, ИВГСДР⁽⁺⁾2 ($J^\pi = 0^-, 1^-, 2^-$), а также усредненные по J силовые функции изучаемых гигантских резонансов (ГР) в указанных выше материнских ядрах. На этой основе вычислены основные параметры указанных ГР (энергия и ширина основного максимума резонансов, процент исчерпывания соответствующего правила сумм). 3) Проанализированы расчетные двойные и однократные (проецированные) переходные плотности, а также парциальные и полные относительные вероятности (брэнчинги) прямого однонуклонного распада изучаемых ГР. Некоторые из результатов расчетов сравниваются с имеющимися экспериментальными данными [2].

Список литературы

[1] Bondarenko, V.I. Properties of Gamow-Teller and charge-exchange giant spin-monopole resonances in medium-heavy closed-shell parent nuclei: A semimicroscopic description // V. I. Bondarenko, M. H. Urin. // Phys.Rev. C -2022. V.106. P 024331.

[2] Akimune, H. Direct proton decay from the Gamov-Teller resonance in ^{208}Bi // H. Akimune, I. Daito, Y. Fujita, M. Fujiwara, M. B. Greenfield, M. N. Harakeh, T. Inomata, J. Jänecke, K. Katori, S. Nakayama, et al. // Phys. Rev. C -1995, -V 52,-P 604.

A SEMI-MICROSCOPIC DESCRIPTION OF CHARGE-EXCHANGE GIANT SPIN-DIPOLE RESONANCES IN MEDIUM-HEAVY CLOSED-SHELL PARENT NUCLEI

V. I. Bondarenko¹, M. G. Urin²

¹Shubnikov Institute of Crystallography, Federal Research Center “Crystallography and Photonics,” Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

²National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Russia
31, Kashirskoe Highway, Moscow, 115409 Russia, vlbondarenko@mail.ru

In this report, the results of a theoretical study of main properties of charge-exchange (isovector giant spin-dipole resonances $\text{IVGSDR}^{(\mp)}$ and their overtones $\text{IVGSDR}^{(\mp)2}$) in the ^{48}Ca , ^{90}Zr , ^{132}Sn , and ^{208}Pb parent nuclei are presented. Being performed within the semi-microscopic particle-hole dispersive optical model (PHDOM), this study is a direct continuation of the description of the main characteristics and parameters of Gamow-Teller and charge-exchange giant spin-monopole resonances in the above-mentioned parent nuclei [1]. In this talk, the following results are presented. 1) PHDOM is adapted to the description of charge-exchange giant (three-component) spin-multipole GRs in medium-heavy closed-shell parent nuclei. All the model parameters specified in Ref. [1] might be used in such description. 2) The strength functions of $J^\pi = 0^-, 1^-, 2^-$ components of $\text{IVGSDR}^{(\mp)}$ and $\text{IVGSDR}^{(\mp)2}$ in parent nuclei under consideration are calculated together with J-averaged strength functions. On this base, the main GR parameters (the energies of GR maxima, total widths, percentage of sum-rule exhaustion) are also evaluated. 3) The calculated GR double and projected (one-body) transition densities are analyzed together with partial and total branching ratios of GR direct one-nucleon decay. Some of calculation results are compared with available experimental data [2].

References

[1] Bondarenko, V. I. Properties of Gamow-Teller and charge-exchange giant spin-monopole resonances in medium-heavy closed-shell parent nuclei: A semimicroscopic description // V. I. Bondarenko, M. H. Urin. // Phys.Rev. C -2022, -V.106,-P 024331.

[2] Akimune, H. Direct proton decay from the Gamov-Teller resonance in ^{208}Bi // H. Akimune, I. Daito, Y. Fujita, M. Fujiwara, M. B. Greenfield, M. N. Harakeh, T. Inomata, J. Jänecke, K. Katori, S. Nakayama, et al. // Phys. Rev. C -1995, -V 52,-P 604.

ГЛОБАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ БЕТА-РАСПАДА И ОБРАЗОВАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

И. Н. Борзов^{1,2}, И. В. Панов^{1,3}

¹ Национальный исследовательский центр "Курчатовский Институт", Москва, Россия

² 141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

³ Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

В нуклеосинтезе тяжелых ядер, проходящем в различных сценариях [1], участвуют короткоживущие ядра, не изученные экспериментально. Для астрофизического моделирования их образования необходимы прогнозы большого количества ядерных характеристик, среди которых скорость бета-распада является наиболее важной величиной. Моделирование распространенности тяжелых ядер с использованием различных прогнозов ядерных характеристик фактически является численным экспериментом. Предсказания теоретических моделей могут быть проверены из сравнения с наблюдаемой распространенностью тяжелых элементов в Солнечной системе.

Расчеты нуклеосинтеза в сценарии слияния нейтронных звезд [2] показывают значительные расхождения результатов при использовании различных глобальных моделей бета-распада [4–6]. Они приводят к формированию реалистичной структуры кривой распространенности химических элементов в слабом r -процессе, но с существенно различающейся распространенностью.

В настоящем расчете использованы скорости бета-распада около 300 сферических и квази-сферических ядер, важных для r -процесса. Они получены в CQRPA модели [6], основанной на функционале Фаянса [7]. Как показало сравнение теоретических скоростей бета-распада в базе данных МАГАТЭ [8], расчеты [6] в случае сферических ядер лучше согласуются с экспериментом, что вносит коррективы в моделирование r -процесса.

Выполнено при поддержке гранта РФФИ №. 21-12-00061.

1. J. Cowan, et al. // Rev. Mod. Phys. 2021. V.93. id. 015002.
2. I. V. Panov // Phys.At.Nucl. 86(2) 2023; PEPAN 2023 вып. № 3-4
3. P. Moeller, J. R. Nix, and K.-L. Kratz // ADNDT 1997. V. 66. P. 131.
4. T. Marketin, L. Huther, G. Martínez-Pinedo // Phys. Rev. C. 2016. V. 93. Id. 025805.
5. E. M. Ney, J. Engel, and N. Schunck // Phys. Rev. C. 2020. V. 102. Id. 034326.
6. I. N. Borzov // Phys.Rev. C67, 025508 (2003); Phys.Rev. C69, 025508 (2005); Phys.At. Nucl. 82. (2020).
7. S. A. Fayans et.al. // Nucl.Phys. 676,49 (2000)
8. P. Dimitriou et.al. // Nuclear Data Sheets, 172, 144-238 (2021).

GLOBAL BETA DECAY MODELS AND THE FORMATION OF HEAVY ELEMENTS

I. N. Borzov^{1,2}, I. V. Panov^{1,3}

¹ National Research Center "Kurchatov institute", Moscow, 123182, Russia;

² Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

³ Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), Dolgoprudny, Russia

The nucleosynthesis of heavy nuclei, which takes place in various scenarios [1], involves short-lived nuclei that have not been studied experimentally. For astrophysical modeling of their formation, forecasts of a large number of nuclear characteristics are necessary, among which the beta decay rate is the most important value. Modeling the prevalence of heavy nuclei using various predictions of nuclear characteristics is actually a numerical experiment. The predictions of theoretical models can be verified by comparison with the observed prevalence of heavy elements in the Solar System.

Calculations of nucleosynthesis in the neutron star merger scenario [2] show significant discrepancies in the results when using different global beta decay models [4-6]. They lead to the formation of a realistic structure of the abundance curve of chemical elements in a weak r-process, but with significantly different abundances.

In this calculation, the beta decay rates of about 300 spherical and quasi-spherical nuclei important for the r-process are used. They are obtained in the CQRPA model [6] based on the Fayans functional [7]. As shown by the comparison of beta decay rates in the IAEA database [8], the calculations [6] in spherical nuclei are in better agreement with the experiment, which influences the modeling of the r-process.

1. J. Cowan, et al. // Rev. Mod. Phys. 2021. V.93. id. 015002.
2. I. V. Panov // Phys. At. Nucl. 86(2) 2023; PEPAN 2023 вып. №3-4
3. P. Mo'ller, J. R. Nix, and K.-L. Kratz // ADNDT 1997. V. 66. P. 131.
4. T. Marketin, L. Huther, G. Mart'inez-Pinedo // Phys. Rev. C. 2016. V. 93. Id. 025805.
5. E. M. Ney, J. Engel, and N. Schunck // Phys. Rev. C. 2020. V. 102. Id. 034326.
6. I. N. Borzov // Phys.Rev. C67, 025508 (2003); Phys.Rev. C69, 025508 (2005); Phys.At. Nucl. 82. (2020).
7. S. A. Fayans et.al. // Nucl.Phys. 676,49 (2000)
8. P. Dimitriou et.al. // Nuclear Data Sheets, 172, 144-238 (2021).

ФУНКЦИОНАЛ ФАЯНСА. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МОМЕНТЫ И РАДИУСЫ ЯДЕР ВБЛИЗИ НЕЙТРОННОЙ ОБОЛОЧКИ $N = 126$

И. Н. Борзов^{1,2}, С. С. Панкратов^{1,3}, С. В. Толоконников^{1,3}

¹ Национальный исследовательский центр "Курчатовский Институт", Москва, Россия

²141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области,
ул. Жолио-Кюри, д. 6

³Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

Зарядовые радиусы, квадрупольные и магнитные дипольные моменты в длинной изотопной цепочке изотопов Tl рассчитаны в рамках самосогласованной теории конечных ферми систем (FFS). Основное состояние ядра описывается в рамках функционала плотности энергии (EDF) Фаянса и др. [1] Для моментов используется континуальное квазичастичное приближение случайной фазы (CQRPA) в полном одночастичном пространстве, определяемом вариацией функционала DF3-a [2]. Эффективное спин-зависимое NN-взаимодействие содержит хорошо установленное контактное взаимодействие Ландау-Мигдала с константами силы g , g' и одно-пионным и одно-ро-мезонным обменов, модифицированными ядерной средой. Спаривание учитывается в диагональном HFB приближении (поверхностное спаривание) [3, 4].

Эффекты фононной связи включены в приближении g^2_L теории возмущений (где g^2_L – вершина квазичастично-фононного взаимодействия) [5]. Для изотопов вдали от нейтронной оболочки $N = 126$, “нерегулярный” вклад в магнитные моменты становится важным, когда происходит резонансное усиление из-за смешения с конфигурациями квазичастица-фонон, индуцируемыми в основном 2^+ и 3^- фононами соответствующего кора Pb. Получено хорошее описание имеющихся экспериментальных данных для магнитных моментов. В частности, отклонение от данных для состояния $1/2^+$ в ^{207}Tl составляет всего $0,019(5) \mu\text{N}$ по сравнению со значением $0,734(2) \mu\text{N}$ полученным путем усреднения по 5 различным EDF при глобальном аксиально-деформированном описании магнитных моментов в [6].

Поддержано грантом РФФ 21-12-00061.

1. S. A. Fayans et.al. // Nucl.Phys. 676. 49 (2000).
2. E. E. Saperstein and S. V. Tolokonnikov, Phys. At. Nucl. 74. 1277 (2011).
3. I. N. Borzov, E. E. Saperstein, S. V. Tolokonnikov, Phys. At. Nucl. 71, 469 (2008).

4. I. N. Borzov, E. E. Saperstein, S. V. Tolokonnikov, G. Neyens, and N. Severijns, Eur. Phys. J. A 45. 159 (2010).
5. E. E. Saperstein, O. I. Achakovskiy, S. P. Kamerdzhiev, S. Krewald, J. Spet, and S. V. Tolokonnikov. Phys.At. Nucl. 77. 1033 (2014).
6. P. L. Sazarini, J. Dobaczewski, J. Bonnard and R. F Garcia Ruiz. J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 49 11LT01 (2022).

FAYANS FUNCTIONAL. NUCLEAR ELECTROMAGNETIC MOMENTS AND RADII NEAR $N = 126$ NEUTRON SHELL

I. N. Borzov^{1,2}, S. S. Pankratov^{1,3}, S. V. Tolokonnikov^{1,3}

¹ National Research Centre “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia

² Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

³ Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), Dolgoprudny, Russia

Nuclear charge radii, quadrupole and magnetic dipole moments in long isotopic chain of Tl isotopes are calculated within the self-consistent finite Fermi system (FFS) theory. The nuclear ground state is described within the energy-density functional (EDF) by Fayans et.al. [1] For the moments, the continuum quasiparticle random-phase approximation (CQRPA) is used in full single-particle space defined by the variation of the DF3-a functional [2]. The effective spin-dependent NN-interaction contains well established contact Landau-Migdal interaction with the strength constants g , g' and the one-pion and one-rho meson exchanges modified by nuclear medium. The HFB problem is solved in diagonal approximation for surface pairing [3, 4].

The phonon-coupling effects are included perturbatively in g_L^2 approximation (where g_L^2 is the quasiparticle-phonon vertex) [5]. For the isotopes aside from the $N=126$ neutron shell, “non-regular” contribution to the magnetic moments become important when a resonant amplification occurs due to the mixing with quasiparticle-phonon configurations induced mostly by the 2^+ and 3^- phonons of corresponding Pb core. A good description of the available experimental data for the magnetic moments is achieved. In particular, the deviation from the data for the $1/2^+$ state in ^{207}Tl is only $0.019(5) \mu\text{N}$ cf. $0.734(2) \mu\text{N}$ obtained by averaging on the 5 different EDFs in the global axially-deformed description of magnetic moments in [6]. Supported by the RSCF grant 21-12-00061.

1. S. A. Fayans et.al. Nucl.Phys. 676, 49 (2000).
2. E. E. Saperstein and S.V. Tolokonnikov, Phys. At. Nucl. 74, 1277 (2011).
3. I. N. Borzov, E. E. Saperstein, S. V. Tolokonnikov, Phys. At. Nucl. 71, 469 (2008).
4. I. N. Borzov, E. E. Saperstein, S. V. Tolokonnikov, G. Neyens, and N. Severijns, Eur. Phys. J. A 45, 159 (2010).
5. E. E. Saperstein, O. I. Achakovskiy, S. P. Kamerdzhiev, S. Krewald, J. Speth, and S. V. Tolokonnikov. Phys.At. Nucl. 77, 1033 (2014).
6. P. L. Sazarini, J. Dobaczewski, J. Bonnard and R. F Garcia Ruiz. J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 49 11LT01 (2022).

ВОЗМОЖНЫЕ ПРЯМЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

В. Е. Бунаков

Петербургский Институт Ядерной Физики национального исследовательского центра
«Курчатовский институт», 188300, Гатчина, Россия

Тел. служебный +7(81371)4-60-96. Факс +7(81371)3-19-63. e-mail vadim.bunakov@mail.ru

В недавних измерениях продуктов столкновений тяжелых ионов, проведенных в ЛЯР ОИЯИ (Дубна), были обнаружены быстрые альфа-частицы, вылетающие под передними углами и уносящие энергию, превышающую энергию налетающих на тяжелую мишень ионов (см.,

например [1]). В нашей работе [2] было предложено объяснение этого явления как результата нового процесса прямого квазиделения образующейся в результате столкновения ионов двойной ядерной системы тяжелого или сверхтяжелого ядра.

Рассмотрены прямые процессы, приводящие к появлению альфа-частиц с энергией, близкой к энергии налетающих тяжелых ионов. Проводится анализ возможных экспериментов для систематического изучения этих процессов.

Список литературы

1. Пенионжкевич, Ю. Э. / Особенности ядро-ядерных реакций с вылетом быстрых заряженных частиц. Новый подход к реакциям синтеза холодных ядер / Ю. Э. Пенионжкевич // ЭЧАЯ. – 2022. – Т. 52. – Вып. 1 – С. 1–25.
2. Бунаков, В. Е. Прямые реакции при столкновении тяжелых ионов / В. Е. Бунаков, Ю. Э. Пенионжкевич // Письма в ЭЧАЯ. – 2023. – Т. 20. - № 2. – С. 118–126.

POSSIBLE DIRECT PROCESSES IN HEAVY-ION COLLISIONS

V. E. Bunakov

Petersburg Nuclear Physics Institute, National Research Center Kurchatov Institute,
188300, Gatchina, Russia
Phone +7(81371)4-60-96. Fax +7(81371)3-19-63. E-mail vadim.bunakov@mail.ru

In the recent measurements of the heavy-ion collisions products carried out in FNLR at JINR (Dubna) fast alpha-particles were observed which were emitted at forward angles with energies exceeding the energy of the ion incident on the heavy target (see e.g. [1]). The explanation of this phenomenon was given in our paper [2] as a result of the new process of quasi-fission of the dinuclear heavy or superheavy system formed as a result of the ion-ion collision.

Direct processes are considered which lead to the appearance of fast alpha-particles with energies close to the energy of the incident heavy ion. The analysis is carried out of possible experiments for the studies of these processes.

References

1. Penionzhkevich Yu. E. Features of nuclei-nuclei reactions with fast charged particles emission. New approach to synthesis of cold nuclei. / Yu. E. Penionzhkevich // Phys Part. Nucl. – 2022. – V. 53. – P. 45 – 58.
2. Bunakov V. E. Direct reactions in heavy-ion collisions. / V. E. Bunakov, Yu. E. Penionzhkevich // Phys. Part. Nucl. Letters. – 2023. – V.20. – P. 120 - 126

НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПИНОВЫЕ И ОРБИТАЛЬНЫЕ M1-ВОЗБУЖДЕНИЯ В ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДРАХ

П. И. Вишневский¹, В. О. Нестеренко^{1,2}, Я. Квасил³, А. Репко⁴, П.-Г. Рейнхард⁵

¹Лаборатория теоретической физики, 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6, post@jinr.ru, +7 (496) 216-51-46

² Государственный университет «Дубна», Дубна, Московская область, 141982, Россия

³IPNP, Карлов университет, Прага, Чехия

⁴Институт физики Словацкой академии наук, 84511 Братислава, Словакия

⁵ Институт теоретической физики II, Эрлангенский университет, D-91058, Эрланген, Германия

Недавно для деформированных ядер был предсказан низкоэнергетический магнитный дипольный (M1) спин-ножничный резонанс (СНР) в рамках подхода моментов Вигнеровских функций (МВФ) [1]. Мы анализируем данное предсказание, используя полностью самосогласованный квазичастичный метод приближения случайных фаз (КПСФ) [2,3]. Используются

силы Скирма SkM*, SVbas, SG2 и SV-tls для исследования СНР и орбитального ножничного резонанса (ОНР) в $^{160,162,164}\text{Dy}$, ^{232}Th , ^{58}Ni . Показана зависимость возникновения низкоэнергетических спиновых состояний от деформации. Было продемонстрировано, что низкоэнергетические состояния 1^+ , наблюдаемые в Dy, объясняются скорее фрагментацией орбитальной силы M1, чем возникновением коллективного резонанса спиновых ножниц. В целом, наши расчеты не подтверждают существование этого резонанса.

Список литературы

- [1] E. B. Balbutsev, I. V. Molodtsova, and P. Schuck, Phys. At. Nucl. 83, 212 (2020)
- [2] M. Bender, P.-H. Heenen, and P.-G. Reinhard, Rev. Mod. Phys. 75, 121 (2003).
- [3] A. Repko, J. Kvasil, V. O. Nesterenko, and P.-G. Reinhard, Eur. Phys. J. A 53, 221 (2017).

LOW-ENERGY SPIN AND ORBITAL M1 EXCITATIONS IN DEFORMED NUCLEI

P. I. Vishnevskiy¹, V. O. Nesterenko^{1,2}, J. Kvasil³, A. Repko⁴, P.-G. Reinhard⁵

¹Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia, post@jinr.ru, +7 (496) 216-51-46

²Dubna State University, Dubna, Moscow Region 141982, Russia

³IPNP, Charles University, Praha, Czech Republic

⁴Institute of Physics, Slovak Academy of Sciences, 84511 Bratislava, Slovakia

⁵Institut für Theoretische Physik II, Universität Erlangen, D-91058, Erlangen, Germany

A low-energy magnetic dipole (M1) spin-scissors resonance (SSR) was recently predicted in deformed nuclei within the Wigner function moments (WFM) approach [1]. We analyze this prediction using fully self-consistent Skyrme quasiparticle random phase approximation (QRPA) method [2,3]. Skyrme forces SkM*, SVbas, SG2 and SV-tls are implemented to explore SSR and orbital scissor resonance (OSR) in $^{160,162,164}\text{Dy}$, ^{232}Th , ^{58}Ni . The dependence of the occurrence of low-energy spin states on deformation is shown. It is shown that low-energy 1^+ states observed at in Dy are rather explained by fragmentation of the orbital M1 strength than by the occurrence of the collective spin-scissors resonance. In general, our calculations do not confirm the existence of this resonance.

References

- [1] E. B. Balbutsev, I. V. Molodtsova, and P. Schuck, Phys. At. Nucl. 83, 212 (2020)
- [2] M. Bender, P.-H. Heenen, and P.-G. Reinhard, Rev. Mod. Phys. 75, 121 (2003).
- [3] A. Repko, J. Kvasil, V. O. Nesterenko, and P.-G. Reinhard, Eur. Phys. J. A 53, 221 (2017).

РАСЧЕТЫ СВОЙСТВ ^{148}Gd С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОЧНОГО И ПРИБЛИЖЕННОГО МЕТОДОВ, ОСНОВАННЫХ НА ГАМИЛЬТОНИАНЕ БКШ

А. К. Власников, В. М. Михайлов, А. В. Лунев

Санкт-Петербургский государственный университет, Ульяновская ул., 1, Санкт-Петербург, 198504, Россия, тел. (905)2736310, факс: (812)4287240, e-mail: a.vlasnikov@spbu.ru

Собственные значения гамильтониана БКШ рассчитаны в Gd ($Z = 64$, $N = 84$) для протонных состояний с нулевым синьорити (s) (т.е. для основных состояний и монополярных (0^+) возбуждений) и для состояний с $s = 2$, описываемых, как правило, как состояниями с двумя боголюбовскими квазичастицами. Расчеты проводились с одночастичными спектрами Саксона-Вудса, в которых спаривание вырезает энергетический слой с центром на уровне Ферми. Константа спаривания $G_p = 0,2$ МэВ примерно соответствует сглаженным зависимостям G от массовых

чисел, полученным из эмпирических парных энергий в рамках теории БКШ. Эти же значения используются в расчетах квазичастиц. Точные энергии возбуждения (как разности энергий с $s = 2$ и основных состояний в протонах) приведены в таблице вместе с соответствующими двух-квазичастичными энергиями БКШ (БКШ 2qp.) и значениями, рассчитанными в приближении сильного спаривания (ПСС) [1]. Из таблицы видно, что все возбуждения протонов $s = 2$ лежат выше удвоенной протонной щели ($2\Delta_p=2,71$ МэВ), а первый возбужденный уровень $E_p(0^+) = 2,41$ МэВ находится ниже $2\Delta_p$. Хотя БКШ и ПСС дают сравнимые отклонения от точных энергий, ПСС, понижая энергии, тем не менее дает положение первых $s = 0$ состояний ниже $2\Delta_p$.

Энергии протонных возбуждений с $s=2$ (МэВ)

$s = 2$ конфигурации	$2d\ 5/2,$ $2d\ 3/2$	$(2d\ 5/2)^2$	$2d\ 5/2,$ $3s\ 1/2$	$(1h11/2)^2$	$(2d\ 3/2)^2$	$1g\ 7/2,$ $2d\ 3/2$	$2d\ 5/2,$ $1g\ 7/2$
точно	3,18	3,19	3,44	4,05	4,08	4,24	4,25
БКШ 2qp.	3,37	2,97	3,59	3,74	4,22	3,98	3,83
ПСС	3,49	3,17	3,7	4,00	4,03	4,26	4,04

Список литературы

1. Власников А. К., Лунев А. В., Михайлов В. М. Применение функций Грина к конечным ферми-системам с фиксированным числом частиц и развитым спариванием // Изв. РАН. Сер. физ. – 2011. – Т. 75. – № 4. – С. 606 – 610.

CALCULATIONS OF THE PROPERTIES OF ^{148}Gd USING EXACT AND APPROXIMATE METHODS BASED ON THE BCS HAMILTONIAN

A. K. Vlasnikov, V. M. Mikhajlov, A. V. Lunyov

Saint-Petersburg State University, Ulianovskaya Street, 1, St. Petersburg, 198504, Russia,
phone: (905)2736310, fax: (812)4287240, e-mail: a.vlasnikov@spbu.ru

Eigenvalues of the BCS Hamiltonian are found in Gd ($Z = 64$, $N = 84$), for proton states with zero seniority (s) (i.e. for the ground states and monopole (0^+) excitations) and for states with $s = 2$ described as a rule as states with two Bogolubov quasiparticles. Calculations have been performed with Saxon-Woods single-particle spectra in which the pairing cuts out the energy layer of $\sim 2\hbar\omega_D$ with the center on the Fermi level. Pairing strength $G_p = 0,2$ MeV approximately correspond to smoothed dependencies of G on mass numbers obtained from empirical pair energies in the frame of the BCS theory. The same values are employed in quasiparticle calculations. Exact excitation energies (as differences of energies with $s=2$ and ground states in protons) are displayed in the table together with corresponding BCS two-quasiparticle energies (BCS 2qp.) and values calculated in the strong pairing approximation (SPA) [1]. The table shows that all proton $s=2$ excitations lie above doubled proton pairing gap ($2\Delta_p=2,71$ MeV) while the first excited level $E_p(0^+) = 2,41$ MeV is below $2\Delta_p$. Though BCS and SPA give comparable deviations from the exact energies, SPA, lowering energies, nevertheless, gives position of first $s = 0$ states below $2\Delta_p$.

Proton $s=2$ excitation energies (MeV)

$s = 2$ configurations	$2d\ 5/2,$ $2d\ 3/2$	$(2d\ 5/2)^2$	$2d\ 5/2,$ $3s\ 1/2$	$(1h11/2)^2$	$(2d\ 3/2)^2$	$1g\ 7/2,$ $2d\ 3/2$	$2d\ 5/2,$ $1g\ 7/2$
exact	3,18	3,19	3,44	4,05	4,08	4,24	4,25
BCS 2qp.	3,37	2,97	3,59	3,74	4,22	3,98	3,83
SPA	3,49	3,17	3,7	4,00	4,03	4,26	4,04

References

1. Vlasnikov A. K., Lunev A. V., Mikhailov V. M. Application of Green functions to finite Fermi systems with fixed numbers of particles and strong pairing // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. – 2011. – V. 75. – № 4. – P. 569–573.

О СВОЙСТВАХ ИЗОСКАЛЯРНЫХ ГИГАНТСКИХ МУЛЬТИПОЛЬНЫХ РЕЗОНАНСОВ В СРЕДНЕТЯЖЕЛЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЯДРАХ

М. Л. Горелик¹, Б. А. Тулупов², Ш. Шломо³, М. Г. Урин⁴

¹Московская экономическая школа, Москва, Россия

²Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

³Циклотронный Институт, Техасский А&М Университет, Колледж Стейшн, США

⁴Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В последние годы выполнен большой объем теоретических исследований основных свойств изоскалярных гигантских мультипольных ($L = 0 - 3$) резонансов (ИСГМПР) в средне-тяжелых сферических ядрах [1]. В рамках частично-дырочной дисперсионной оптической модели (ЧДДОМ) совместно учитываются основные моды релаксации высокоэнергетических возбуждений типа частица-дырка, ассоциированных с гигантскими резонансами (ГР). По этой причине ЧДДОМ обладает уникальными возможностями в описании силовых функций, переходных плотностей, вероятностей прямого однонуклонного распада для различных ГР в указанных ядрах. В представленной работе содержится ряд дополнений к выполненным в [1] в рамках ЧДДОМ исследованиям свойств ИСГМПР в ядрах ^{48}Ca , ^{90}Zr , ^{132}Sn и ^{208}Pb . 1) Силовые функции, полученные из анализа (α, α') -реакции с возбуждением ИСГМПР [2] сравниваются с силовыми функциями, вычисленными в рамках ЧДДОМ. 2) Метод вычисления в рамках ЧДДОМ относительных вероятностей прямого однонуклонного распада ГР уточнен с целью описания соответствующих экспериментальных данных [3]. 3) Версия ЧДДОМ, в которой приближенно учитывается спаривание нуклонов в среднетяжелых сферических ядрах с незаполненными оболочками, использована для вычисления силовой функции изоскалярного монопольного ГР в четных изотопах олова $^{112-124}\text{Sn}$. В целом, полученные в пп. 1) – 3) результаты удовлетворительно согласуются с соответствующими экспериментальными данными [2–4].

Список литературы

1. Gorelik M. L., Shlomo S., Tulupov B. A., and Urin M. H. Properties of isoscalar giant multipole resonances in medium-heavy closed-shell nuclei: A semimicroscopic description // Phys. Rev. C. 2021. V.103. P.034302, <https://arxiv.org/abs/2201.04202v3>
2. Bahini A., Neveling R., Von Neumann-Cosel P., Carter J. et al. Isoscalar giant monopole strength in ^{58}Ni , ^{90}Zr , ^{120}Sn , and ^{208}Pb // Phys. Rev. C. 2023. V.107. P.034312
3. Hunyadi M., Van den Berg A.M., Davids B., Harakeh M.N. et al. Evidence for direct neutron decay of the isoscalar giant dipole resonances in ^{90}Zr , ^{116}Sn , and ^{208}Pb // Phys. Rev. C. 2007. V.75 P.014606
4. Li T., Garg U., Liu Y., Marks R. et al. Isoscalar giant resonances in the Sn nuclei and implications for the asymmetry term in the nuclear-matter incompressibility // Phys. Rev. C. 2010. V.81-P.034309

ON PROPERTIES OF ISOSCALAR GIANT MULTIPOLE RESONANCES IN MEDIUM-HEAVY SPHERICAL NUCLEI

M. L. Gorelik¹, S. Shlomo², B. A. Tulupov³, M. H. Urin⁴

¹Moscow Economic School, Moscow, Russia;

²Cyclotron Institute, Texas A&M University, College Station, TX 77843, USA;

³Institute for Nuclear Research, RAS, Moscow 117312, Russia

⁴National Research Nuclear University “MEPhI”, Moscow, Russia

E-mail: gorelik@theor.mephi.ru

In recent years, a large volume of theoretical studies of properties of isoscalar giant multipole ($L = 0 - 3$) resonances (ISGMPRs) in medium-heavy spherical nuclei has been performed [1]. Within the particle-hole dispersive optical Model (PHDOM), main relaxation modes of high-energy particle-hole-type nuclear excitations associated with Giant Resonances (GRs) in medium-heavy closed-shell nuclei are together taken into account. For this reason, PHDOM has unique abilities in describing strength functions, transition densities, probabilities of direct one-nucleon decay for various GRs in mentioned nuclei. In the present work, studies of Ref. [1] related to ISGMPRs in ^{48}Ca , ^{90}Zr , ^{132}Sn , and ^{208}Pb are supplemented by the following points. (i) The strength distributions deduced from an analysis of (α, α') -reaction of ISGMPR excitation [2] are compared with the respective strength functions calculated within PHDOM. (ii) The method of evaluating within PHDOM partial branching ratios of GR direct one-nucleon decay is specified to make more adequate the comparison with experimental data of Ref. [3]. (iii) The extended PHDOM version, in which nucleon pairing in open-shell spherical nuclei is approximate taken into account, is implemented to evaluate the strength function of isoscalar monopole GR in the chain of even $^{114-124}\text{Sn}$ isotopes. In a whole, the obtained in pp. (i)-(iii) calculation results are in a reasonable agreement with the respective experimental data [2–4].

References

1. Gorelik M. L., Shlomo S., Tulupov B. A., and Urin M. H. Properties of isoscalar giant multipole resonances in medium-heavy closed-shell nuclei: A semimicroscopic description // Phys. Rev. C. -2021. -V.103. -P.034302, <https://arxiv.org/abs/2201.04202v3>
2. Bahini A., Neveling R., Von Neumann-Cosel P., Carter J. et al. Isoscalar giant monopole strength in ^{58}Ni , ^{90}Zr , ^{120}Sn , and ^{208}Pb // Phys. Rev. C. 2023. V.107. P.034312
3. Hunyadi M., Van den Berg A. M., Davids B., Harakeh M.N. et al. Evidence for direct neutron decay of the isoscalar giant dipole resonances in ^{90}Zr , ^{116}Sn , and ^{208}Pb // Phys. Rev. C. 2007. V.75. P.014606
4. Li T., Garg U., Liu Y., Marks R. et al. Isoscalar giant resonances in the Sn nuclei and implications for the asymmetry term in the nuclear-matter incompressibility // Phys. Rev. C. -2010. - V.81 -P.034309

АЛЬФА-КЛАСТЕРНЫЕ ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ В 4N ЯДРАХ

А. С. Демьянова, А. Н. Данилов*, В. И. Старостин

НИЦ «Курчатовский институт», Москва 123182, Россия

*email: danilov1987@mail.ru

Интенсивное изучение четырехнуклонных корреляций α -кластерного типа, начатое более 50 лет назад, установило их важную роль в ядрах. Микроскопическим α -кластерным моделям удалось описать структуру многих состояний в легких ядрах, в частности, вблизи порогов распада на составляющие кластеры. Большое внимание привлекли исследования α -кластерных состояний в ^{12}C , особенно второго возбужденного состояния 0^+ , расположенного при $E_x = 7,65$ МэВ, на 0.38 МэВ выше порога распада на 3α частицы. Расчеты методом 3α

генератора координат (GCM) и методом резонансных групп (RGM), проведенные более 30 лет назад, показали, что состояние 0_2^+ в ^{12}C имеет слабосвязанную 3α -структуру и увеличенный радиус. Современные микроскопические расчеты в рамках кластерных моделей, таких как антисимметризованная молекулярная динамика (AMD) и фермионная молекулярная динамика (FMD), предсказывают увеличенный радиус этого надпорогового кластерного состояния. Более того, последние *ab initio* расчеты подтвердили этот результат. Также было показано, что состояние Хойла является основой вращательной полосы, все члены которой имеют увеличенные радиусы. Естественно возникает вопрос: существуют ли аналоги состояния Хойла в более тяжелых $4n$ ядрах.

Мы рассмотрели $4n$ ядра от ^{16}O до ^{28}Si . Первым возможным кандидатом является ^{16}O . Наш анализ в рамках Модифицированной дифракционной модели (МДМ) показал, что состояния $0_2^+ - 0_6^+$, названные возможными аналогами состояния Хойла, имеют нормальные неувеличенные радиусы. Следующая цель – ^{20}Ne . Среднеквадратичные радиусы ^{20}Ne в короткоживущих возбужденных состояниях были оценены в рамках МДМ-анализа дифракционного рассеяния $\alpha + ^{20}\text{Ne}$. Мы наблюдали увеличенные радиусы только для членов полосы $K^\pi = 0_1^-$, радиусы были увеличены на $\sim 20\%$. Более того, для состояния 0_2^+ , расположенного выше порога α -распада, наблюдался увеличенный радиус. Этот результат может говорить в пользу возможной α -конденсатной структуры состояния 0_2^+ и может рассматриваться как возможный аналог состояния Хойла 0_2^+ в ^{12}C . Мы также проанализировали в рамках МДМ существующие экспериментальные данные по рассеянию альфа-частиц на ^{24}Mg и ^{28}Si , но не наблюдали увеличенных радиусов ни для одного из состояний. Анализ в процессе.

ALPHA-CLUSTER ROTATIONAL STATES IN $4N$ NUCLEI

A. S. Demyanova, A. N. Danilov*, V. I. Starostsin

NRC Kurchatov Institute, Moscow 123182, Russia

*email: danilov1987@mail.ru

An intensive study of four-nucleon correlations of the α -cluster type initiated more than 50 years ago established their important role in nuclei. The microscopic α -cluster models have succeeded in describing the structure of many states in light nuclei, in particular, around the threshold energy of breakup into constituent clusters. Considerable attention has been drawn to the studies of α -cluster states in ^{12}C , especially the second 0^+ state, located at $E_x = 7.65$ MeV, which is 0.38 MeV above the 3α threshold. The 3α generator coordinate method (GCM) and 3α resonating group method (RGM) calculations, made over 30 years ago, showed that the 7.65 MeV 0_2^+ state in ^{12}C has a loosely coupled 3α structure and an enlarged radius. Modern microscopic calculations in the framework of cluster models such as the antisymmetrized molecular dynamics (AMD) and the fermionic molecular dynamics (FMD) predict an increased radius of this above-threshold cluster state. Moreover, last *ab initio* calculations confirmed this result. It was also shown that the Hoyle state is a head of rotational band, all members of which have increased radii. A question naturally arises: do analogs of the Hoyle state exist in more massive $4n$ nuclei.

We have considered $4n$ nuclei from ^{16}O to ^{28}Si . First possible candidate is the ^{16}O . Our analysis within Modified diffraction model (MDM) has shown that $0_2^+ - 0_6^+$ states, which were named as possible analogs of the Hoyle state have normal non-increased radii. The next goal is ^{20}Ne . The root mean square radii of ^{20}Ne in the short-lived excited states were estimated from the MDM analysis of $\alpha + ^{20}\text{Ne}$ diffraction scattering. We observed radius enhancement only for the $K^\pi = 0_1^-$ band members, radii were increased by $\sim 20\%$. Moreover, for the 0_2^+ state located above α -emission threshold increased radius was observed. This result can speak in favor of possible α -condensate structure of the 0_2^+ state and can be considered as a possible analog of the famous 7.65-MeV 0_2^+ Hoyle state of ^{12}C . We also analyzed within MDM existing experimental data on alpha-particle scattering on ^{24}Mg and ^{28}Si but haven't observed radius enhancement for any of the states. Analysis is still in progress.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ${}^6\text{Li}$ И ${}^8\text{Li}$ В ПРОЦЕССАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЕЙТРОНОВ С ЯДРАМИ ${}^7\text{Li}$

Н. Буртебаев¹, А. С. Демьянова^{2*}, С. Б. Сакута², Маржан Насурлла¹, Маулен Насурлла¹,
В. С. Жданов¹, Д. К. Алимов¹, А. Н. Данилов², С. В. Дмитриев², В. И. Старостин²,
Д. А. Исаев^{1,3}

¹Институт ядерной физики, 050032 Алматы, Республика Казахстан

²НИЦ Курчатовский институт, 123182 Москва, Россия

³Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050040 Алматы, Казахстан

*email: a.s.demyanova@bk.ru

Первые исследования нейтронного гало привели к открытию совершенно новых ядерных конфигураций. В частности, это утверждение относится к трехчастичным системам вблизи границы стабильности. Самой популярной структурой оказалась так называемая борромияновская структура, в которой каждая пара частиц не образует связанной пары, а вместе они образуют устойчивое ядро. Наряду с борромияновскими структурами обсуждались и те, в которых одна из трех пар была слабосвязанной. Чтобы подчеркнуть разницу, было предложено называть такие конфигурации, «танго-гало». Одним из возможных кандидатов на «танго-гало» выступает ${}^6\text{Li}$. Поэтому большой интерес представляет определение радиуса этого нейтрон-протонного гало в ${}^6\text{Li}$. Этот же вопрос может возникнуть и при сравнении ${}^8\text{Li}$ и ${}^8\text{B}$. В мультиплете $A=8$ впервые гало было обнаружено в ${}^8\text{B}$ по увеличенному квадрупольному моменту. Было показано, что структура этого гало представляет кор ${}^7\text{Be}$ и валентный протон. Следует отметить, что гало обнаружено вопреки наличию как кулоновского, так и центробежного барьеров. Возникает вопрос о возможности гало в ${}^8\text{Li}$. Так, в одной из работ по значению квадрупольного момента для ${}^8\text{Li}$ говорится о тонкой нейтронной коже вокруг кора ${}^7\text{Li}$. Таким образом, остаются открытые вопросы о структуре возбужденных состояний ${}^6\text{Li}$ и ${}^8\text{Li}$. Поэтому важным остается вопрос накопления новых экспериментальных данных с выходом ${}^6\text{Li}$ и ${}^8\text{Li}$.

Дифференциальные сечения реакций ${}^7\text{Li}(d,p){}^8\text{Li}$ и ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$ были измерены на выведенном пучке дейтронов У-150М Института ядерной физики (Алматы, Республика Казахстан) при энергии 14.5 МэВ. В качестве мишени был использован изотоп ${}^7\text{Li}$ (обогащение $\approx 90\%$). Подложкой служила алундовая пленка. Толщина мишени составляла (0.39 ± 0.03) мг/см². Угловые распределения исследуемых ядерных реакций охватывают угловой диапазон от 18° до 128° (лаб). Экспериментальные данные были обработаны в рамках метода связанных каналов. Анализ данных продолжается.

Данное исследование финансируется МНВО РК (Грант № BR20280986 «Комплексные фундаментальные исследования по ядерной и радиационной физике, физике высоких энергий и космических лучей для атомной энергии»).

STUDY OF STATES IN ${}^6\text{Li}$ AND ${}^8\text{Li}$ IN THE INTERACTIONS OF DEUTERONS WITH ${}^7\text{Li}$ NUCLEI

N. Burtebayev¹, A. S. Demyanova^{2*}, S. B. Sakuta², Marzhan Nassurlla¹, Maulen Nassurlla¹,
V. S. Zhdanov¹, D. K. Alimov¹, A. N. Danilov², S. V. Dmitriev², V. I. Starastsin², D. A. Isaev^{1,3}

¹Institute of Nuclear Physics, 050032 Almaty, Republic of Kazakhstan

²National Research Centre "Kurchatov Institute", 123182 Moscow, Russia

³Al-Farabi Kazakh National University, 050040 Almaty, Republic of Kazakhstan

*email: a.s.demyanova@bk.ru

The first studies of the neutron halo have led to the discovery of completely new nuclear configurations. In particular, this statement applies to three-particle systems near the stability boundary. The most popular structure turned out to be the so-called Borromean structure, in which each pair of particles does not form a bound pair, but together they form a stable nucleus. Along with Borromean structures, those in which one of the three pairs was weakly bound were also discussed. To

emphasize the difference, these configurations were proposed to be called "tango-halo". One of the possible candidates for a "tango-halo" is ${}^6\text{Li}$. Therefore, determining the radius of this neutron-proton halo in ${}^6\text{Li}$ is of great interest. The same question may arise when comparing ${}^8\text{Li}$ and ${}^8\text{B}$. In the $A=8$ multiplet, the halo was first discovered in ${}^8\text{B}$ based on the increased quadrupole moment. It was shown that the structure of this halo consists of a core of ${}^7\text{Be}$ and a valence proton. It should be noted that the halo was discovered despite the presence of both Coulomb and centrifugal barriers. The question of the possibility of a halo in ${}^8\text{Li}$ arises. For example, in one of the studies, the value of the quadrupole moment for ${}^8\text{Li}$ indicates a thin neutron skin around the core of ${}^7\text{Li}$. Thus, there are still open questions about the structure of the excited states of ${}^6\text{Li}$ and ${}^8\text{Li}$. Therefore, the accumulation of new experimental data on ${}^6\text{Li}$ and ${}^8\text{Li}$ remains important.

The differential cross-sections of the reactions ${}^7\text{Li}(d,p){}^8\text{Li}$ and ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$ were measured using the extracted deuteron beam of U-150M at the Institute of Nuclear Physics (Almaty, Republic of Kazakhstan) at an energy of 14.5 MeV. The isotope ${}^7\text{Li}$ (enrichment $\approx 90\%$) was used as the target. The substrate was an alundum film. The thickness of the target was $(0.39 \pm 0.03) \text{ mg/cm}^2$. The angular distributions of the investigated nuclear reactions cover an angular range from 18° to 128° (lab). The experimental data were processed within the framework of the coupled reactions channel method. Data analysis is in progress.

This study is funded by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR20280986 "Comprehensive fundamental research in nuclear and radiation physics, high-energy physics, and cosmic rays for atomic energy").

КЛАССИФИКАЦИЯ ТОПОЛОГИЙ ПОВЕРХНОСТИ ЯДЕР В РАМКАХ НЕЕВКЛИДОВЫХ ГЕОМЕТРИЙ

В. В. Дьячков, Ю. А. Зарипова, А. В. Юшков*

Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики при КазНУ
им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби 71, г. Алматы, Республика Казахстан
*yushkovalexv@mail.ru

В поверхности $\beta_2(N, Z)$ [1–3] установлен целый ряд топологических типов ядер. Теоретически обсуждается проблема нахождения еще неизвестных экзотических форм ядер. Нами используется характеристика Эйлера, в которой множество сечений $\sigma(\theta)$ определяет расстояния между ними $\sigma_1(\theta), \sigma_2(\theta) \rightarrow d(\sigma_i(\theta))$ и превращает $\sigma(\theta)$ в псевдометрическое пространство, которое позволяет сделать необходимый топологический анализ.

Тогда однородность радиального распределения ядерной материи фрагментирует на новые топологические типизации. В настоящей работе предложена классификация ядерной геометрии на семь типов топологической морфологии атомного ядра. Пространственная структура ядер с необходимой точностью экспериментально зондируется с помощью пучков ускоренных легких и тяжелых ионов. Самым чувствительным результатом изучения 3D-распределения ядерной материи с помощью ядерных реакций являются угловые распределения дифференциальных сечений (УРДС) – $\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \equiv \sigma(\theta)$, а самым точным и доминирующим ядерным процессом, указывающим на сложную пространственную морфологию ядра, является реакция упругого рассеяния на ядрах-матрицах и отдельных мультикластерах в условиях ядерной дифракции. В этом случае форма УРДС достаточно сложна и взаимно однозначно отражает всю гамму механизмов упругого рассеяния налетающих ионов с ядром – от разнообразных прямых процессов до реакций с образованием предравновесных и равновесных составных ядер. В настоящей работе по нашим и по мировым базам данных выполнена систематизация УРДС с акцентами на поиск новых топологических типов ядер. В УРДС эти механизмы, в соответствии с необходимыми прицельными параметрами, распределены по углам рассеяния θ и демонстрируют нетривиальную структуру и сложное поведение.

Список литературы

1. Yushkov A. The nuclear-deformation surface $\beta(Z,N)$ for nuclei with $Z=2-102$ // ЭЧАЯ. – 1993. Т. 24. Вып. 2. С. 348–408.
2. Юшков А. Форма ядер и ядерные реакции // Изв. АН СССР. 1975. Т.39. С. 1584–1604.
3. Dyachkov V., Yushkov A., et al. Direct experimental detection of spatially localized clusters in nuclei on alpha-particle beams // IJMP-E. 2018. Vol. 27. 1850017.

CLASSIFICATION OF THE NUCLEAR SURFACE TOPOLOGIES IN THE FRAMEWORK OF NON-EUCLIDAN GEOMETRIES

V. Dyachkov, Yu. Zaripova, A. Yushkov*

Institute of Experimental and Theoretical Physics al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan

*yushkovalexv@mail.ru

In the surface $\beta_2(N,Z)$ [1–3], a number of topological types of nuclei have been established. The problem of finding still unknown exotic forms of nuclei is discussed theoretically. We use the Euler characteristic, in which the set of sections $\sigma(\theta)$ determines the distances between them $\sigma_1(\theta), \sigma_2(\theta) \rightarrow d(\sigma_i(\theta))$ and turns $\sigma(\theta)$ into a pseudometric space, which allows us to make the necessary topological analysis.

Then the uniformity of the radial distribution of nuclear matter fragments into new topological typifications. In this paper, we propose a classification of nuclear geometry into seven types of topological morphology of the atomic nucleus. The spatial structure of nuclei is experimentally probed with the required accuracy using beams of accelerated light and heavy ions. The most sensitive result of studying the 3D distribution of nuclear matter using nuclear reactions is the angular distributions of differential cross sections – $\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \equiv \sigma(\theta)$. And the most accurate and dominant nuclear process, indicating the complex spatial morphology of the nucleus, is the reaction of elastic scattering on matrix nuclei and individual multiclusters under conditions of nuclear diffraction. In this case, the shape of the angular distribution of the differential cross sections is quite complex and one-to-one reflects the entire range of mechanisms of elastic scattering of incident ions with a nucleus, from various direct processes to reactions with the formation of preequilibrium and equilibrium compound nuclei. In this paper, using our and world databases, we systematize the angular distributions of differential cross sections with emphasis on the search for new topological types of nuclei. In the angular distributions of differential cross sections, these mechanisms, in accordance with the required impact parameters, are distributed over scattering angles θ and exhibit a nontrivial structure and complex behavior.

References

1. Yushkov A. The nuclear-deformation surface $\beta(Z,N)$ for nuclei with $Z=2-102$ // PEPAN. – 1993. – Vol.24. – P. 348-408.
2. Yushkov A. Form of nuclei and nuclear reactions // Izv. ANSSSR. – 1975. – V.39. – P. 1584-1604.
3. Dyachkov V., Yushkov A., et al. Direct experimental detection of spatially localized clusters in nuclei on alpha-particle beams // IJMP-E. – 2018. – Vol. 27. – 1850017.

«НОЕВ КОВЧЕГ» ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В. В. Дьячков, Ю. А. Зарипова А. В. Юшков

НИИ экспериментальной и теоретической физики при КазНУ им. аль-Фараби, Алматы,
Республика Казахстан
*yushkovalexv@mail.ru

В рамках риманово-лобачевской неевклидовой геометрии найден фундаментальный принцип, ограничивающий связанные состояния ядер (атомов) химических элементов. Впервые найдены четыре «линии связности» [1], названные нами следующим образом: Z-линия, N-линия, Cr-линия и E-линия, проведенные со стороны протонов, нейтронов, границы менделеевской таблицы и максимально предельной энергии возбуждения ядер (уровня Ферми), соответственно.

Особенно наглядно видны принципиальные границы связности ядер (атомов) в ряду изотопических цепочек, построенные на наших и на мировых базах данных [2], на основе фундаментальных значений на концах этих цепочек по $Z_{\text{гран}}$, $N_{\text{гран}}$, $Cr_{\text{гран}}$ и $E_{\text{гран}}$. Эти граничные значения вычисляются с помощью римановой кривизны κ , полученной в рамках римановой геометрии в тензорном формализме [3]: $\kappa = 1/\rho^2$, где ρ – радиус римановой кривизны. При устремлении кривизны κ к нулю $\kappa \rightarrow 0$ эллипсоидальные геодезические размыкаются, что и означает окончание связанных состояний нуклонно-кластерной субстанции ядер, а с ней и менделеевской таблицы. Таким образом, нами решена и стародавняя фундаментальная проблема о бесконечности Вселенной: и она, увы, конечна.

Второй новый результат настоящей работы состоит в открытии нами нового **параболического закона** для изменения радиусов ядер $R_{Z\text{const}}$ вдоль изотопической цепочки

$$R_{Z\text{const}} = \eta(2N)^2.$$

В результате все расширяющийся ряд изотопов, начиная от водорода и заканчивая ураном и плутонием, легко вписывается в аллерегию «ноева ковчега», спасающего разумную, биологическую и естественную жизни от распадов среди бушующего океана хаоса и неопределенности. «Ребрами жесткости» ковчега, как раз, и служат изотопические ряды радиусов, удельных энергий связи и других параметров ZN-матрицы существующих ядер.

Список литературы:

1. Yushkov A. V. The nuclear-deformation surface $\beta(Z,N)$ for nuclei with $Z=2-102$ // Fiz. Elem. Chastits At. Yadra 24, 348-408 (March-April 1993); ЭЧАЯ, 1993, т.24, вып.2, 348-408.
2. National Nuclear Data Center <https://www.nndc.bnl.gov/>
3. Рашевский П.К. Риманова геометрия и тензорный анализ. – М.: КРАСАНД, 2014. – 336 с.

"NOAH'S ARK" FOR CHEMICAL ELEMENTS

A. Yushkov*, V. Dyachkov, Yu. Zaripova

Institute of Experimental and Theoretical Physics al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan
*yushkovalexv@mail.ru

Within the framework of Riemannian-Lobachevsky non-Euclidean geometries, a fundamental principle was found that limits the bound states of nuclei (atoms) of chemical elements. For the first time, four “connection lines” [1] were found, which we named as follows: Z-line, N-line, Cr-line and E-line, drawn from the side of protons, neutrons, the boundary of the periodic table and the maximum limiting nuclear excitation energy (level Fermi), respectively.

Especially clearly visible are the fundamental boundaries of the connectivity of nuclei (atoms) in a series of isotopic chains, constructed on our and world databases [2], based on the fundamental values at the ends of these chains for Z_{grand} , N_{grand} , C_{grand} and E_{grand} . These boundary values are calculated using the Riemannian curvature κ obtained in the framework of Riemannian geometry in the tensor formalism [3]: $\kappa = 1/\rho^2$, where ρ is the radius of the Riemannian curvature. As the curvature κ tends to zero $\kappa \rightarrow 0$, the ellipsoidal geodesics open, which means the end of the bound states of the nucleon-cluster substance of the nuclei, and with it the periodic table. Thus, we have also solved the ancient fundamental problem of the infinity of the Universe: and, alas, it is finite.

The second new result of this work is the discovery by us of a new parabolic law for the variation of the nuclear radii $R_{Z\text{const}}$ along the isotopic chain

$$R_{Z\text{const}} = \eta(2N)^2.$$

As a result, the ever-expanding range of isotopes, ranging from hydrogen to uranium and plutonium, easily fits into the allegory of the "Noah's Ark", saving intelligent, biological and natural life from decay in the midst of a raging ocean of chaos and uncertainty. The "stiffening ribs" of the ark, just, are the isotopic series of radii, specific binding energies and other parameters of the ZN-matrix of existing nuclei.

References

1. Yushkov A. V. The nuclear-deformation surface $\beta(Z, N)$ for nuclei with $Z=2-102$ // Fiz. Elem. Chastits At. Yadra 24, 348-408 (March-April 1993); ЭЧАЯ, 1993, т.24, вып.2, 348-408.
2. National Nuclear Data Center <https://www.nndc.bnl.gov/>
3. Rashevsky P. Riemannian geometry and tensor analysis. – M.: KRASAND, 2014. – 336 p.

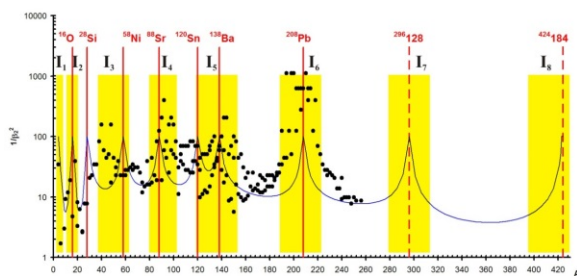
ОБОСНОВАНИЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ ВОСЬМИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ «ОСТРОВОВ СТАБИЛЬНОСТИ» В НОВОЙ ПАРАДИГМЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ-КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЯДЕР

В. В. Дьячков, Ю. А. Зарипова, А. В. Юшков*

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан
*yushkovalexv@mail.ru

Экспериментально установленное квазикристаллическое строение ядер [1, 2] или «ядер-снежинок» позволяет распространить на физику ядер известные в классической кристаллографии законы и закономерности, в частности, знаменитую теорему академика Белова [3]. 2D-проекция энергии связи для всей ZN-матрицы выявляет закономерность: экстремумы $\epsilon = \epsilon(Z, N)$ совпадают с магическими ядерными числами $Z, N = 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126$ (прогноз), 184 (прогноз). Этим рисунком вскрывается **физическая сущность магических чисел** – это максимально плотные упаковки в объеме ядер нуклонов и нуклонных ассоциаций.

Предсказываем локализацию положения 7-го (I_7) и 8-го (I_8) «Островов стабильности»: 7-й будет обнаружен при $Z = 126-128$, а 8-й при $Z = 184$. В настоящей работе мы даем идею экспериментального достижения 7-го и 8-го островов путем построения нового типа ускорителя – 2-х пучкового тяжелоионного коллайдера для устранения бесполезной траты энергии на движение центра масс составной системы. Малое сечение таких столкновений планируется преодолеть путем организации встречи 2-х пучков гадолиния (для I_7) в межплоскостном пространстве охлаждаемого ориентированного монокристалла из тантала или вольфрама и двух пучков урана (для I_8).



За пределами $Z = 184$ римановы эллиптические геодезические внутриядерные траектории размыкаются, что означает фундаментальный результат – окончечность менделеевской таблицы: экспериментальные данные по радиусам тяжелых ядер показывают, что уже для ядра ^{208}Pb кривизна риманова пространства $\varkappa$ устремлена к нулю и составляет значение $\varkappa = 0,01$.

Список литературы:

1. Юшков А. В. Поверхность $\beta(Z,N)$ ядерной деформации для ядер с $Z = 2-102$ // ЭЧАЯ. 1993. Т.24, Вып. 2. С. 348–408.
2. N. D. Cook. Models of the Atomic Nucleus. – London-New York: Springer, 2010. – 300 p.
3. Белов Н. В. Структура ионных кристаллов и металлических фаз. – М.: АН СССР, 1947. 235 с.

JUSTIFICATION OF THE EXISTENCE OF EIGHT FUNDAMENTAL "ISLANDS OF STABILITY" IN THE NEW NUCLEAR CLUSTERING-CRYSTALLIZATION PARADIGM

V. Dyachkov, Yu. Zaripova, A. Yushkov*

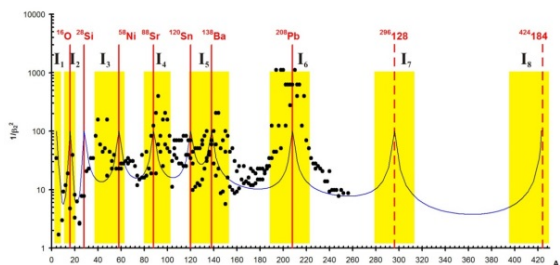
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*yushkovalexv@mail.ru

The experimentally established quasi-crystalline structure of nuclei [1, 2] or “snowflake nuclei” makes it possible to extend the laws and regularities known in classical crystallography to nuclear physics, in particular, the famous theorem of Academician Belov [3]. The 2D projection of the binding energy for the entire ZN matrix reveals a regularity: the extremes $\varepsilon = \varepsilon(Z,N)$ coincide with the nuclear magic numbers $Z, N = 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126$ (forecast), 184 (forecast). This figure reveals the physical essence of magic numbers - these are the densest packings in the volume of nuclei of nucleons and nucleon associations.

We predict the localization of the position of the 7th (I_7) and 8th (I_8) "Islands of Stability": the 7th one will be found at $Z = 126-128$, and the 8th at $Z = 184$. In this paper, we give the idea of an experimental achievement 7th and 8th islands by building a new type of accelerator - a 2-beam heavy ion collider to eliminate the waste of energy on the movement of the center of mass of the composite system. It is planned to overcome the small cross section of such collisions by organizing the meeting of 2 gadolinium beams (for I_7) in the interplanar space of a cooled oriented tantalum or tungsten single crystal and two uranium beams (for I_8).

Beyond $Z = 184$, Riemannian elliptical geodesic intranuclear trajectories open, which means a fundamental result – the end of the periodic table: experimental data on the radii of heavy nuclei show that already for the ^{208}Pb nucleus, the curvature of the Riemannian space $\varkappa$ tends to zero and amounts to $\varkappa = 0.01$.



References

1. Yushkov A. Surface $\beta(Z,N)$ of nuclear deformation for nuclei with $Z=2-102$ // PEPAN. – 1993. – Vol. 24, Issue 2. – P. 348–408.
2. N. D. Cook. Models of the Atomic Nucleus. – London-New York: Springer, 2010. – 300 p.
3. Belov N. Structure of ionic crystals and metallic phases. – M.: AN SSSR, 1947. – 235 p.

ЧЕТЫРЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ГРАНИЦЫ СУЩЕСТВОВАНИЯ СВЯЗАННЫХ СОСТОЯНИЙ ЯДЕР

В. В. Дьячков¹, М. Г. Иткис², Ю. А. Зарипова¹ А. В. Юшков^{1,*},

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

²Лаборатория ядерных реакций им. Флерова Г.Н., 141980 Объединенный институт
ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

*yushkovalexv@mail.ru

В работе на основе геометрий Римана и Лобачевского доказывается, что менделеевская таблица и ZN-матрица ядер конечны. Рассмотрены фундаментальные границы существования в них [1–3].

Реальность **N-границы** провозглашается впервые на базе открытой авторами новой ядерной физики – «Римановой ядерной физики». Идея состоит в том, что в разомкнутых геодезических система не может иметь связанных состояний [1, 2]. А в нейтронно-избыточных ядрах геодезические риманова типа (эллиптические) переходят в евклидовы при увеличении радиуса, что происходит автоматически при изменении массы ядра по закону $A^{1/3}$ и связи кривизны риманова пространства с радиусом кривизны.

Z-граница формируется протонами, в пределе это просто «протонная звезда». Однако Z-граница достигается значительно раньше за счет удивительного феномена – роста радиуса нейтронно-дефицитных ядер при кулоновском расталкивании протонов. Такой «пузырчатый механизм» существования экзотических ядер впервые был подмечен Ю. Ц. Оганесяном.

Ch-граница формируется за счет двух механизмов – тривиальным ростом радиусов супертяжелых ядер и размыкания геодезической; существованием у этих ядер фазового состояния оганесяновских «снежинок» – твердотельной модели ядра.

Е_F-граница формируется за счет эмпирической зависимости максимальных энергий возбуждения от массового числа изотопов. Систематика таких значений показывает асимптотическую константу, что позволяет сделать вывод о существовании Е_F-границы.

Подводя итоги можно утверждать, что в нашей части Вселенной все химические элементы заключены в ограниченный фазовый объем, который мы условно назовем “VitroLife”.

Список литературы

1. Юшков А. В. Поверхность $\beta_2(Z, N)$ ядерной деформации для ядер с $Z = 2 - 102$ // ЭЧАЯ. 1993. Т.24, Вып. 2. С. 348–408.
2. Белов Н. В. Структура ионных кристаллов и металлических фаз. – М.: АН СССР, 1947. 235 с.
3. Norman D. Cook. Models of the Atomic Nucleus. –London-New York: Springer, 2010. – 310 p.

FOUR FUNDAMENTAL LIMITS FOR THE EXISTENCE OF BOUND STATES OF NUCLEI

M. Itkis², V. Dyachkov¹, Yu. Zaripova¹ A. Yushkov^{1,*},

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6,
141980 Dubna, Moscow Region, Russia

*yushkovalexv@mail.ru

In this paper, based on the geometries of Riemann and Lobachevsky, it is proved that the periodic table and the ZN-matrix of nuclei are finite. The fundamental boundaries of existence in them are considered [1–3].

The reality of the **N-boundary** is proclaimed for the first time on the basis of a new nuclear physics discovered by the authors - "Riemannian nuclear physics". The idea is that in open geodesics

the system cannot have bound states [1, 2]. And in neutron-rich nuclei, Riemannian-type (elliptic) geodesics turn into Euclidean ones with an increase in radius, which occurs automatically with a change in the mass of the nucleus according to the $A^{1/3}$ law and the connection between the curvature of the Riemannian space and the radius of curvature.

The **Z-boundary** is formed by protons, in the limit it is just a "proton star". However, the Z-boundary is reached much earlier due to an amazing phenomenon - an increase in the radius of neutron-deficient nuclei during the Coulomb repulsion of protons. Such a "bubble mechanism" of the existence of exotic nuclei was first noticed by Yu.Ts. Oganessian.

The **Ch-boundary** is formed due to two mechanisms: the trivial growth of the radii of superheavy nuclei and the opening of the geodesic; the existence in these nuclei of the phase state of Oganessian's "snowflakes" - a solid-state model of the nucleus.

The **E_F-boundary** is formed due to the empirical dependence of the maximum excitation energies on the mass number of isotopes. The systematics of such values shows an asymptotic constant, which allows us to conclude that there is an E_F-boundary.

Summing up the results, it can be argued that in our part of the Universe, all chemical elements are enclosed in a limited phase volume, which we will conditionally call "VitroLife".

References

1. Yushkov A. Surface $\beta(Z,N)$ of nuclear deformation for nuclei with $Z=2-102$ // PEPAN. – 1993. Vol. 24, Issue 2. P. 348–408.
2. Belov N. Structure of ionic crystals and metallic phases. – M.: AN SSSR, 1947. – 235 p.
3. Norman D. Cook. Models of the Atomic Nucleus. – London-New York: Springer, 2010. – 310 p.

ТРИНЕЙТРОН В ПОДХОДЕ SS-HORSE–NCSM

**М. К. Ефименко¹, И. А. Мазур², А. М. Широков³, А. И. Мазур¹,
В. А. Куликов³, И. Дж. Шин⁴**

¹Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия;

²Center for Exotic Nuclear Studies, Institute for Basic Science, Daejeon, Republic of Korea;

³ Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИЯФ МГУ
Тел.: +7 495 939-18-18, Факс: +7 495 932-08-96

⁴Rare Isotope Science Project, Institute for Basic Science, Daejeon, Republic of Korea;
E-mail: welna@pnu.edu.ru

Изучение ядерных систем, состоящих только из нейтронов, является актуальной задачей ядерной физики. Интерес к таким системам возрос после экспериментальных работ [1, 2] и теоретических расчетов, основанных на реалистических NN-взаимодействиях (см., например, [3–5]), в которых было получено указание на существование резонансного состояния в системе четырех нейтронов (тетранейтрон).

Мы предлагаем обобщение метода SS-HORSE [6] на случай демократических распадов на нечетное число частиц и его применение для анализа резонанса в системе трех нейтронов (тринейтрон) на основе расчетов в NCSM (No-Core Shell Model) [7] с различными реалистическими NN-взаимодействиями.

«Мягкие» взаимодействия (Daejeon16, JISP16 и SRG-регуляризованное взаимодействие Idaho N³LO [8]) дают близкие положения полюсов S-матрицы с энергией резонанса от 0,4 до 0,7 МэВ и шириной от 0,9 до 1,2 МэВ, а исходное взаимодействие Idaho N³LO приводит к резонансному состоянию с энергией около 0,2 МэВ и шириной около 0,5 МэВ. Энергия резонанса тринейтрона, полученного с «мягкими» взаимодействиями, примерно в два раза меньше, чем приведенная в работах [4, 5], а ширина сравнима с результатом работы [5].

Список литературы

1. M. Duer et al., *Nature* **606**, 678 (2022).
2. K. Kisamori et al., *Phys. Rev. Lett.* **116**, 052501 (2016).
3. A. M. Shirokov et al., *Phys. Rev. Lett.* **117**, 182502 (2016).
4. S. Gandolfi et al., *Phys. Rev. Lett.* **118**, 232501 (2017).
5. J. G. Li et al., *Phys. Rev. C* **100**, 054313 (2019).
6. A. M. Shirokov et al., *Phys. Rev. C* **94**, 064320 (2016).
7. B. R. Barrett, P. Navrátil, J. P. Vary, *Prog. Part. Nucl. Phys.* **69**, 131 (2013).
8. R. Machleidt and D. R. Entem, *Phys. Rep.* **503**, 1 (2011).

TRINEUTRON IN THE SS-HORSE–NCSM APPROACH

**M. K. Efimenko¹, I. A. Mazur², A. M. Shirokov³, A. I. Mazur¹,
V. A. Kulikov³, I. J. Shin⁴**

¹Pacific National University, Khabarovsk, Russia;

²Center for Exotic Nuclear Studies, Institute for Basic Science, Daejeon, Republic of Korea;

³Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
1(2) Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia,
Tel.: +7 495 939-18-18, fax: +7 495 932-08-96;

⁴Rare Isotope Science Project, Institute for Basic Science, Daejeon, Republic of Korea;
E-mail: welna@pnu.edu.ru

The study of nuclear systems consisting of neutrons only is a timely problem in nuclear physics. Interest to these systems is supported by experimental results [1, 2] and theoretical calculations based on realistic NN interactions (see, e. g., Refs. [3–5]) advocating the existence of a resonant state in a system of four neutrons (tetra-neutron).

We present a generalization of the Single-State HORSE method [6] to the case of democratic decays into an odd number of particles and suggest its application in combination with the *ab initio* No-Core Shell Model [7] to the analysis with various realistic NN interactions of a resonance in a system of three neutrons (trineutron).

“Soft” NN interactions (Daejeon16, JISP16, and the SRG-evolved chiral Idaho N3LO [8]) yield close locations of the S-matrix poles corresponding to resonance energies ranging from 0.4 MeV to 0.7 MeV and widths ranging from 0.9 MeV to 1.2 MeV. Meanwhile, the original Idaho N3LO interaction leads to a resonant state with an energy of about 0.2 MeV and a width of about 0.5 MeV. The trineutron resonance energy obtained with “soft” interactions is approximately two times smaller than that proposed in Refs. [4,5], while the width is comparable to the result of Ref. [5].

References

1. M. Duer et al., *Nature* **606**, 678 (2022).
2. K. Kisamori et al., *Phys. Rev. Lett.* **116**, 052501 (2016).
3. A. M. Shirokov et al., *Phys. Rev. Lett.* **117**, 182502 (2016).
4. S. Gandolfi et al., *Phys. Rev. Lett.* **118**, 232501 (2017).
5. J. G. Li et al., *Phys. Rev. C* **100**, 054313 (2019).
6. A. M. Shirokov et al., *Phys. Rev. C* **94**, 064320 (2016).
7. B. R. Barrett, P. Navrátil, J. P. Vary, *Prog. Part. Nucl. Phys.* **69**, 131 (2013).
8. R. Machleidt and D. R. Entem, *Phys. Rep.* **503**, 1 (2011).

МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИРАСТ-ПОЛОСЫ В ^{248}Cm

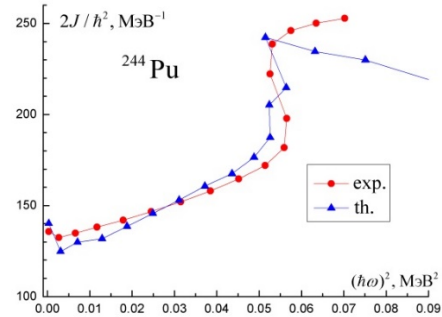
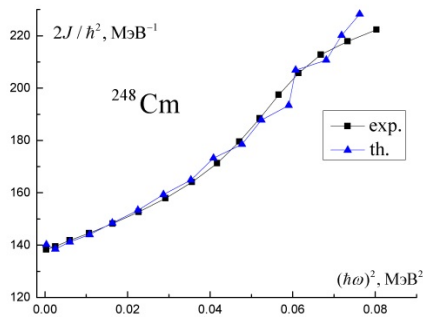
А. Д. Ефимов^{1,2}, И. Н. Изосимов³

¹Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова.

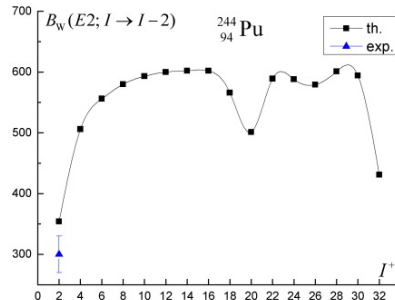
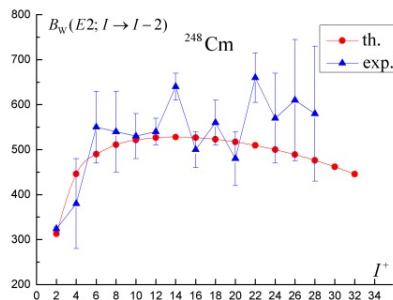
²ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия.

³141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
E-mail: efimov98@mail.ru

Для выявления причины отсутствия обратного изгиба в тяжелых ядрах с $Z > 92$, за исключением единственного ^{244}Pu , были проведены сравнительные расчеты в ираст-полосах в ^{248}Cm и ^{244}Pu . Обратный изгиб момента инерции от квадрата частоты не наблюдается в ^{248}Cm , но известны значения $B(E2)$ с состояний до $I^\pi = 28^+$. В ядре ^{244}Pu , наоборот, отчетливо проявляется явление обратного загиба. Расчеты проводились в рамках расширенной микроскопической версии МВБ1 [1], где, кроме d-бозонов, использовались, b_J -бозоны с $J^\pi \leq 14^+$. Гамильтониан теории в схематичном виде определяется как $H = H_{\text{IBM1}} + \sum (\omega_i + E_0^{(b)}) b_i^+ b_i + V(b, d)$ и все его параметры, кроме $E_0^{(b)}$, вычислялись микроскопически. $E_0^{(b)}$ есть избыток энергий всех коллективных состояний, определяемых H_{IBM1} при наличии хотя бы одного b_J -бозона. Зависимость эффективного момента инерции для двух ядер показана на соответствующих рисунках.



Значения $B(E2)$ вдоль ираст-полос приведены на следующих рисунках. Если для Cm параметр $E_0^{(b)} = 1.9$ МэВ, то для Pu он равен -0.7 . Видно, что при наличии пересечения полос в Pu, которое следует из зависимости $J(\omega^2)$, значения $B(E2)$ дают аномалию, но не настолько большую, чтобы эту аномалию можно было идентифицировать с точностью 10 % от экспериментальных значений. В этом случае единственным критерием факта пересечения полос является поведение $J(\omega^2)$.



Список литературы

1. A. D. Efimov, Phys. At. Nucl. 83, 651 (2020).

MICROSCOPIC DESCRIPTION OF THE YRAST BAND ^{248}Cm

A. D. Efimov^{1,2}, I. N. Izosimov³

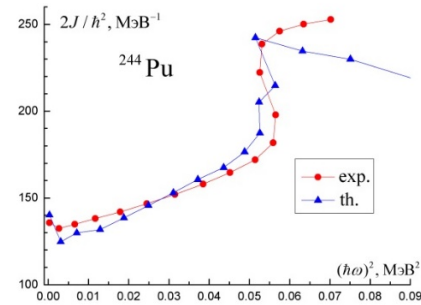
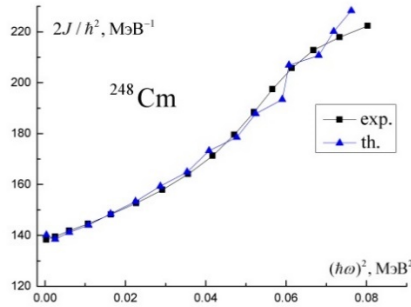
¹Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St.-Petersburg, Russia;

²Ioffe Physical-Technical Institute, Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, Russia;

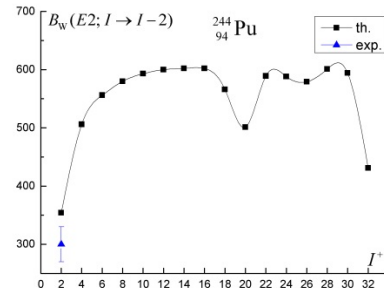
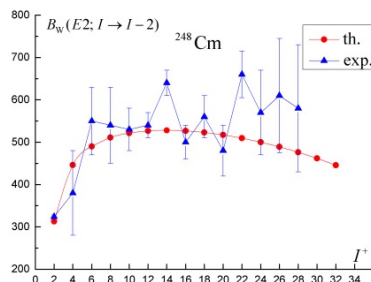
³Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

E-mail: efimov98@mail.ru

To identify the reason for the absence of backbending in heavy nuclei with $Z > 92$ the exception of the only ^{244}Pu , comparative calculations were made in yrast bands in ^{248}Cm and ^{244}Pu . Backbending is not observed in ^{248}Cm , but values $B(E2)$ are known up to states up to $I^\pi = 28^+$. In the nucleus ^{244}Pu , on the contrary, backbending is clearly manifested. The calculations were carried out within the framework of the extended microscopic version of IBM1 [1], where, in addition to d-bosons, b_J-bosons with $J^\pi \leq 14^+$. The Hamiltonian of the theory in a schematic form is defined as $H = H_{\text{IBM1}} + \Sigma(\omega_i + E_0^{(b)})b_i^+ b_i + V(b, d)$ and all its parameters, except for $E_0^{(b)}$, were calculated microscopically. $E_0^{(b)}$ is the excess of the energies of all collective states determined H_{IBM1} in the presence of at least one b_J-boson. The dependence of the effective moment of inertia for two nuclei is shown in the corresponding figures.



The values of $B(E2)$ along the yrast bands are given in the following figures. If for Cm the parameter $E_0^{(b)} = 1.9$ MeV, then for Pu it is -0.7 . It can be seen that in the presence of band crossing in Pu, which follows from the dependence $J(\omega^2)$, the $B(E2)$ values give an anomaly, but not so large that this anomaly could be identified at an accuracy level of 10 % of the experimental $B(E2)$ values. In this case, the only criterion for the fact of crossing the bands is the behavior of the $J(\omega^2)$.



References

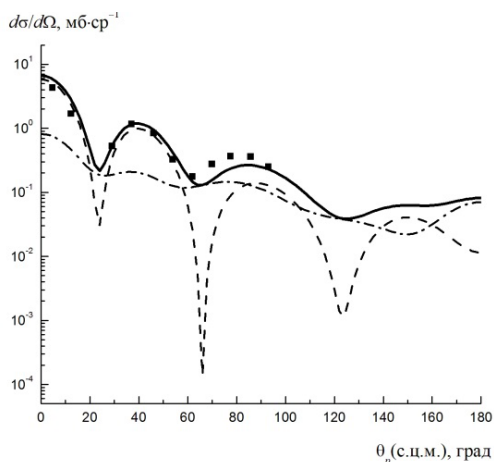
1. A. D. Efimov, Phys. At. Nucl. 83, 651 (2020).

ДВУХНЕЙТРОННАЯ ПЕРИФЕРИЯ ЯДРА $^{14}\text{C}(\text{g. s.})$

Л. И. Галанина, Н. С. Зеленская

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991 ГСП-1 Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИЯФ МГУ
Тел.: +7 495 939-18-18, Факс: +7 495 932-08-96
E-mail: ns-zelenskaya@yandex.ru

Ядро ^{14}C имеет два избыточных нейтрона в $1p_{1/2}$ -оболочке над кором ^{12}C , что допускает существование протяженной нейтронной периферии этого ядра как в динейтронной, так и в сигарообразной (с одним нейтроном в каждом плече) конфигурации. Поскольку динейтрон и нейтроны в ^{14}C достаточно сильно связаны с кором ^{12}C , а среднеквадратичные радиусы изотопов $^{12,14}\text{C}$ практически совпадают между собой и равны 2.45 Фм [1], существование такой периферии в $^{14}\text{C}(\text{g. s.})$ неочевидно. Нами выполнено исследование нейтронной периферии ядра $^{14}\text{C}(\text{g. s.})$, проявляющееся в реакции $^{12}\text{C}(t,p)^{14}\text{C}(\text{g. s.})$ с $E_t \approx 20$ МэВ. На рисунке представлено рассчитанное с учетом механизмов срыва динейтрона и независимой передачи нейтронов дифференциальное сечение реакции (сплошная кривая), которое согласуется с экспериментальным [2].



Как видно из рисунка, при углах вылета протона $\theta_p < 50^\circ$ основной вклад в сечение вносит механизм срыва динейтрона (штрих). При увеличении θ_p замечен вклад механизма независимой передачи нейтрона (штрих-пунктир). Полученное согласие позволило определить параметры волновых функций относительного движения динейтрона (обоих нейтронов) и кора ^{12}C и рассчитать $\langle L_i \rangle$ – размеры нейтронной периферии в обеих конфигурациях: $\langle L_{nn} \rangle = 2.754$ Фм, $\langle L_{1,2} \rangle =$

$= 3.26$ Фм, так что динейтронная периферия в $^{14}\text{C}(\text{g. s.})$ проявляется слабо. Протяженная однонейтронная «кожа» в сигарообразной конфигурации определяет двухнейтронную периферию в $^{14}\text{C}(\text{g. s.})$.

Список литературы

1. A. V. Dobrovolsky, G. A. Korolev, S. Tang, G.D. Alkhazov, arXiv:2101.10687v1 [nucl-ex]. 2021.
2. H. T. Fortune, G.S. Stephans, Phys. Rev. C 25, 1 (1982).

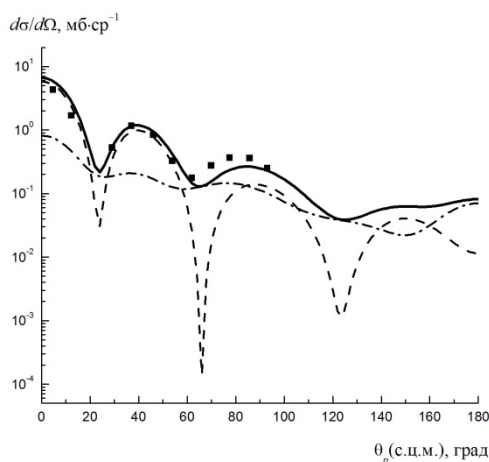
TWO-NEUTRON PERIPHERY OF THE $^{14}\text{C}(\text{g. s.})$ NUCLEUS

L. I. Galanina, N. S. Zelenskaya

Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
1(2) Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia,
Tel.: +7 495 939-18-18, fax: +7 495 932-08-96
E-mail: ns-zelenskaya@yandex.ru

The ^{14}C nucleus has two excess neutrons in the $1p_{1/2}$ shell above the ^{12}C core, which allows the existence of an extended neutron periphery of this nucleus in both dineutron and cigar-shaped (with one neutron in each arm) configurations. Since the dineutron and neutrons in ^{14}C are quite strongly bound with ^{12}C core and the root-mean-square radii of $^{12,14}\text{C}$ isotopes practically coincide with each other and are equal to 2.45 fm [1], the existence of such a periphery in $^{14}\text{C}(\text{g. s.})$ is not obvious. We have studied the neutron periphery of the $^{14}\text{C}(\text{g.s.})$ nucleus, which manifests itself in the $^{12}\text{C}(\text{t,p})^{14}\text{C}(\text{g. s.})$ reaction at $E_t \approx 20$ MeV. The figure shows the reaction differential cross section (solid curve) calculated with taking into account the mechanisms of dineutron strip and independent neutron transfer, which agrees with the experimental one [2].

As can be seen from the figure, at proton emission angles $\theta_p < 50^\circ$, the main contribution to the cross section is made by the dineutron stripping mechanism (dashed line). With an increase in θ_p , the contribution of the independent neutron transfer mechanism is noticeable (dash-dotted line). The obtained agreement made it possible to determine the parameters of the wave functions of the relative



motion of the dineutron (both neutrons) and the ^{12}C core and calculate the sizes of the neutron periphery in both configurations: $\langle L_{nn} \rangle = 2.754$ fm, $\langle L_{1,2} \rangle = 3.26$ fm, so that the dineutron periphery in $^{14}\text{C}(\text{g. s.})$ manifests itself weakly. An extended one-neutron "skin" in a cigar-shaped configuration determines the two-neutron periphery in $^{14}\text{C}(\text{g. s.})$.

References

1. A.V. Dobrovolsky, G. A. Korolev, S. Tang, G.D. Alkhazov, arXiv:2101.10687v1 [nucl-ex]. 2021.
2. H. T. Fortune, G. S. Stephans, Phys. Rev. C 25, 1 (1982).

ОСОБЕННОСТИ БЕТА-РАСПАДА ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЯДЕР И К-ИЗОМЕРОВ

И. Н. Изосимов

141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
e-mail: izosimov@jinr.ru

Вероятность β -перехода на уровень дочернего ядра с энергией возбуждения E пропорциональна [1] произведению функции Ферми $f(Q_\beta - E)$, описывающей лептонную часть, и силовой функции $S_\beta(E)$ β -распада, описывающей нуклонную часть. При энергии возбуждения E меньше полной энергии β -распада Q_β , $S_\beta(E)$ определяет характеристики β -распада. Для энергий возбуждения $E > Q_\beta$, $S_\beta(E)$ определяет сечение зарядово-обменных реакций [1–3].

Как было показано в работах [2–5], методы ядерной спектроскопии с высоким разрешением по энергии дали однозначное доказательство резонансной структуры $S_\beta(E)$ для β -переходов типа Гамова-Теллера (GT) и для β -переходов первого порядка запрета (FF)

в сферических, деформированных и переходных ядрах. В работах [3-6] продемонстрировано наличие расщепления пиков $S_\beta(E)$ на два компонента для GT β^+/EC -распада в деформированных ядрах. Резонансная структура $S_\beta(E)$ для β -распада гало ядер проанализирована в [7-9].

Деление и альфа распад изомеров с большим спином довольно сильно заторможены, в то же время при β -распаде таких изомеров в дочернем ядре могут заселяться соответствующие уровни с высоким спином вблизи ираст-полосы [10]. Далее, после нескольких γ -переходов, заселяются уровни ираст-полосы. Энергия уровней ираст-полосы может быть рассчитана с использованием ряда модельных подходов и экстраполяций [11, 12]. Подобные оценки энергий уровней ираст-полосы крайне полезны при планировании и проведении экспериментов по исследованию β -распада, особенно в области тяжелых и сверхтяжелых ядер [12].

В представленном докладе анализируется тонкая структура резонансов $S_\beta(E)$. Обсуждаются резонансная структура $S_\beta(E)$ для GT и FF β -распадов, структура $S_\beta(E)$ для гало ядер, перенормировка константы [9] аксиально-векторного слабого взаимодействия g_A^{eff} , расщепление пиков $S_\beta(E)$ в деформированных ядрах, связанное с анизотропией колебаний протонных дырок относительно нейтронов (резонансы в $S_\beta(E)$ для GT β^+/EC -распада) или протонов относительно нейтронных дырок (резонансы в $S_\beta(E)$ для GT β^- -распада), структура $S_\beta(E)$ для β -распада высоко-спиновых изомеров (K-изомеров) [10].

Список литературы

1. Yu. V. Naumov, A. A. Bykov, I. N. Izosimov, Sov. J. Part. Nucl., **14**,175(1983). <https://www.researchgate.net/publication/233832321>
2. I. N. Izosimov, Physics of Particles and Nuclei, **30**,131(1999). <https://www.researchgate.net/publication/259820759>
3. I. N. Izosimov, et al, Phys. Part. Nucl., **42**,1804(2011). DOI:10.1134/S1063779611060049
4. I. N. Izosimov, et al, Phys. At. Nucl., **75**,1324(2012). DOI: 10.1134/S1063778812110099
5. I. N. Izosimov, et al, Phys. Part. Nucl. Lett., **15**,298(2018). DOI:10.1134/S1547477118030081
6. I. N. Izosimov, et al, JPS Conf. Proc., **23**,013004 (2018). DOI: 10.7566/JPSCP.23.013004
7. I. N. Izosimov, JPS Conf. Proc., **23**,013005 (2018). DOI: 10.7566/JPSCP.23.013005
8. I. N. Izosimov, Phys. Part. Nucl. Lett., **15**,621(2018). DOI:10.1134/S1547477118060092
9. I. N. Izosimov, Phys. Part. Nucl. Lett., **16**,754(2019). DOI:10.1134/S1547477119060207
10. A. D. Efimov, I. N. Izosimov, Phys. At. Nucl., **84**,408(2021). DOI:10.1134/S1063778821040116
11. A. D. Efimov, I. N. Izosimov, Phys. At. Nucl. (2023, in press); JINR Preprint P4-2022-50, (JINR, Dubna, 2022).
12. A. D. Efimov, I. N. Izosimov, Phys. Part. and Nucl. Lett., **18**,658(2021). DOI: 10.1134/S1547477121060066; JINR Preprint E6-2022-19, (JINR, Dubna, 2022).

FEATURES OF BETA DECAY OF EXOTIC NUCLEI AND K-ISOMERS

I. N. Izosimov

Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
e-mail: izosimov@jinr.ru

The probability of the β -transition to the nuclear level with excitation energy E is proportional [1] to the product of the lepton part described by the Fermi function $f(Q_\beta - E)$ and the nucleon part described by the β -decay strength function $S_\beta(E)$. At excitation energies E smaller than Q_β (total β -decay energy), $S_\beta(E)$ determines the characters of the β -decay. For higher excitation energies that cannot be reached with the β -decay, $S_\beta(E)$ determines the charge exchange nuclear reaction cross sections, which depend on the nuclear matrix elements of the β -decay type [1-3].

It was shown [2-5] that the high-resolution nuclear spectroscopy methods give conclusive evidence of the resonance structure of $S_\beta(E)$ both for GT and first-forbidden (FF) β -transitions in spherical, deformed, and transition nuclei. The splitting of the peaks in the $S_\beta(E)$ for the GT β^+/EC -decay of the deformed nuclei into two components was demonstrated [3-6]. Resonance structure of the $S_\beta(E)$ for β -decay of halo nuclei was analyzed in [7-9].

Fission and alpha-decay of the high-spin isomers are rather strongly forbidden, while the beta-decay of the high-spin isomers can populate high-spin levels near the yrast-band [10]. Then after a few gamma-decays the yrast-band levels may be populated. The prediction of the energies of the levels of the corresponding yrast-band can be done by using the model proposed in [11]. Such prediction is extremely useful in planning and carry out experiments, especially in the region of heavy and superheavy nuclei [12].

In this report the fine structure of $S_{\beta}(E)$ is analysed. Resonance structure of $S_{\beta}(E)$ for GT and FF β -decays, structure of $S_{\beta}(E)$ for halo nuclei, quenching [9] of the weak axial-vector constant g_A^{eff} , splitting of the peaks in $S_{\beta}(E)$ for deformed nuclei connected with the anisotropy of oscillations of proton holes against neutrons (peaks in $S_{\beta}(E)$ of GT β^+ /EC-decay) or of protons against neutron holes (peaks in $S_{\beta}(E)$ of GT β^- – decay), and $S_{\beta}(E)$ for the high-spin isomers [10] β -decays in heavy and superheavy nuclei are discussed.

References

1. Yu. V. Naumov, A. A. Bykov, I. N. Izosimov, Sov. J. Part. Nucl., **14**,175(1983). <https://www.researchgate.net/publication/233832321>
2. I. N. Izosimov, Physics of Particles and Nuclei, **30**,131(1999). <https://www.researchgate.net/publication/259820759>
3. I. N. Izosimov, et al, Phys. Part. Nucl., **42**,1804(2011). DOI:10.1134/S1063779611060049
4. I. N. Izosimov, et al, Phys. At. Nucl., **75**,1324(2012). DOI: 10.1134/S1063778812110099
5. I. N. Izosimov, et al, Phys. Part. Nucl. Lett., **15**,298(2018). DOI:10.1134/S1547477118030081
6. I. N. Izosimov, et al, JPS Conf. Proc., **23**,013004 (2018). DOI: 10.7566/JPSCP.23.013004
7. I. N. Izosimov, JPS Conf. Proc., **23**,013005 (2018). DOI: 10.7566/JPSCP.23.013005
8. I. N. Izosimov, Phys. Part. Nucl. Lett., **15**,621(2018). DOI:10.1134/S1547477118060092
9. I. N. Izosimov, Phys. Part. Nucl. Lett., **16**,754(2019). DOI:10.1134/S1547477119060207
10. A. D. Efimov, I. N. Izosimov, Phys. At. Nucl., **84**,408(2021). DOI:10.1134/S1063778821040116
11. A. D. Efimov, I. N. Izosimov, Phys. At. Nucl. (2023, in press); JINR Preprint P4-2022-50, (JINR, Dubna, 2022).
12. A. D. Efimov, I. N. Izosimov, Phys. Part. and Nucl. Lett., **18**,658(2021). DOI: 10.1134/S1547477121060066; JINR Preprint E6-2022-19, (JINR, Dubna, 2022).

ДОПОЛНЕНИЕ К КВАНТОВОМУ ОПИСАНИЮ ОБЪЕМОВ, ЗАНИМАЕМЫХ ЭЛЕКТРОНАМИ В АТОМАХ И НУКЛОНАМИ В ЯДРАХ

М. А. Ватутин, В. Н. Кауров, Е. С. Каурова, А. М. Шаймарданов, Е. А. Петрова

Государственный Университет аэрокосмического приборостроения, СПб
190000, СПб, ул. Большая Морская, д. 67-А, т. (812)710-65-10, факс (812)494-70-57,
e-mail: info@guap.ru

Единый подход к моделированию движения электронов оболочки атома и нуклонов ядра получается, если использовать описание электронов и нуклонов в атоме через волны де-Бройля $\psi = e^{i\vec{k}\vec{r}}/\sqrt{V}$ в сферической системе координат с соответствующим волновым вектором $\vec{k}$ и сферической координатой $\vec{r}$. В знаменателе избавляемся от иррациональности, заменяя объем V на приближенный и управляемый. Для этого полный объем V заменим на ряд из суммы элементарных объемов L_0^3 одной частицы в виде набора кубиков $(vL_0)^3$. Этот набор кубиков, отличающихся друг от друга размером ядра на единицу для соседей справа и слева, может заканчиваться кубом ребром (vL_0) , где v – значения натурального ряда чисел. Число v членов ряда из кубиков выражается через квадрат суммы натурального ряда из чисел от 1 до v [1]:

$$V = (1^3 + 2^3 + 3^3 + 4^3 + \dots + v^3)(L_0)^3 = (1 + 2 + 3 + 4 + \dots + v)^2 (L_0)^3.$$

Запишем выражение в скобках как арифметическую прогрессию

$$V \cong L_0^3 \sum_{v=1}^v v^3 = V_v = v^2 (v+1)^2 \left(\frac{L_0^3}{2} \right).$$

Теперь квадратный корень извлекается. В результате получаем $\sqrt{V} = (v+1)L_0^{3/2} = \sqrt{V_v}$. Элементарные объемы из ряда кубов можно расположить в пространстве в виде “круассана” (рис. 1), например,

$$V_{cr} = 1^3 + 2^3 + 3^3 + \dots + v^3 + \dots + 3^3 + 2^3 + 1^3,$$

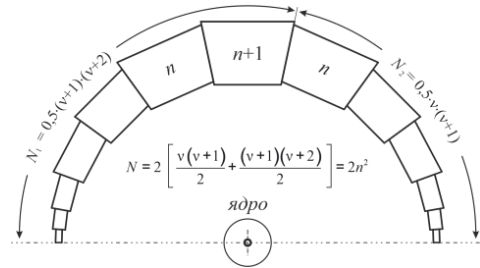


Рис. 1 Структура электронной оболочки атома с использованием “круассана”

откуда автоматически следует, что объем куба $(vL_0)^2$ содержит v^3 частиц. Из сказанного выше следует, что электронная оболочка атома в простейшем случае может быть представлена в виде 2-х наборов кубиков, расположенных выше и ниже диаметра по длине окружности радиусом, равным Боровскому R (рис. 2). Из рисунка видно, что суммирование длин ребер “круассанов”, лежащих вдоль Боровской окружности, дает нам формулу для числа частиц, находящихся на окружности, в предположении, что частицы размером L_0 расположены последовательно вдоль ребер кубиков: $N = 2(v+1)^2 = 2n^2$. В этой формуле $n = (v+1)$ имеет смысл главного квантового числа, а N – число частиц на n -й оболочке. Применим полученную структуру из “круассанов” для описания ядра атома. В рамках предложенной модели хорошо воспроизводятся магические числа, вытекающие из оболочечной модели по соотношению $N_{ob} = 2n^2$, при $n = (v+1)$ [2], и новые, вытекающие из предлагаемой объемной модели из “круассанов”, например, 2, 20, 90, 144 ... для $N_{cr} = n^2(1+n^2)$.

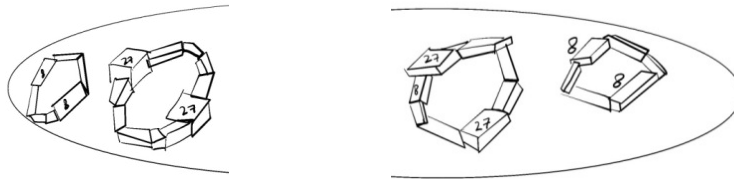


Рис. 2 Структура тяжелого деформированного ядра, полученная из “круассана” для $A = 220$, вписанная в сфероидальное ядро

Возможность замены реальной сфероидальной поверхности тяжелого ядра предлагаемой моделью из “круассанов” показана в приведенной работе, в которой получены значения энергии возбуждения ядра в первом приближении теории возмущений. В работе А. Б. Мигдала, помещенной в [2] в виде решенной задачи, рассмотрены отклонения формы поверхности ядра от поверхности сферы. В нашем же случае, соответственно, рассмотрены отклонения от поверхности модели. Получена поправка первого порядка к энергии колебания поверхности сфероида. Возмущения образуются разностью поверхностей сфероида и моделью из “круассанов”. Аналогичные рассуждения приведены в работе [3]. Как пример, в предложенной модели моделируется тяжелое ядро из 220 нуклонов с помощью 4-х замкнутых оболочек, где каждая состоит из 2-х “круассанов”. Первая и четвертая оболочки содержат кубы из 1-8-1 нуклонов. Средние две замкнутые оболочки содержат по 1-8-27-8-1 нуклонов в “круассане”, а всего по 90 нуклонов в оболочке. Структура описываемого ядра демонстрируется на рис. 2. Эта структура близка к структуре ^{222}Rn .

Список литературы

1. И. М. Рыжик. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. ОГИЗ, М: Ленинград, 1948, с. 241.
2. Л.Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. Издательство ФизМатЛитературы «Наука». 1974 г., с. 163-192.
3. Р. Натаф. Модели ядер и ядерная спектроскопия. М.: Изд-во «Мир», 1968 г. 403 с.

IN ADDITION TO THE QUANTUM DESCRIPTION OF THE VOLUMES OCCUPIED BY ELECTRONS IN ATOMS AND NUCLEONS IN NUCLEI

M. A. Vatutin, V. N. Kaurov, E. S. Kaurova, A. M. Shaimardanov, E. A. Petrova

State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg
67-A Bolshaya Morskaya str., St. Petersburg, 190000, t. (812)710-65-10, fax (812)494-70-57,
e-mail: info@guap.ru

A unified approach to modeling the motion of atom shell electrons and nucleons is obtained by using the description of electrons and nucleons in an atom through waves de-Broglie $\psi = e^{i\vec{k}\vec{r}}/\sqrt{V}$ in a spherical coordinate system with a corresponding wave vector $\vec{k}$ and a spherical coordinate $\vec{r}$. In the denominator, we get rid of irrationality by replacing the volume V with an approximate and manageable one. To do this, we replace the full volume V with a series of the sum of the elementary volumes L_0^3 of one particle in the form of a set of cubes $(vL_0)^3$. This set of cubes that differ from each other in size by one for neighbors on the right and left can end with a cube edge (vL_0) , where v – runs the values of the natural series of numbers. v of the terms of the series of cubes is expressed by the square of the sum of the natural series of numbers from 1 to v [1]:

$$V = (1^3 + 2^3 + 3^3 + 4^3 + \dots + v^3)(L_0)^3 = (1 + 2 + 3 + 4 + \dots + v)^2 (L_0)^3.$$

Writing the expression in parentheses as an arithmetic progression, we get:

$$V \cong L_0^3 \sum_{i=1}^v v^3 = V_v = v^2 (v+1)^2 (L_0^3/2).$$

Now the square root is extracted and we get $\sqrt{V} = (v+1)L_0^{3/2} = \sqrt{V_v}$. Elementary volumes from a series of cubes can be arranged in space as a "croissant" (fig.1), for example:

$$V_{cr} = 1^3 + 2^3 + 3^3 + \dots + v^3 + \dots + 3^3 + 2^3 + 1^3,$$

it automatically follows that the volume of the cube $(vL_0)^2$ contains v^3 particles. The relative accuracy of reproducing volume V through cubes will be written as

It follows from the above that the electron shell of an atom in the simplest case can be represented in the form of 2 sets of cubes located above and below the diameter along the circumference with a radius equal to Borovsky R (fig. 2).

It can be seen from the figure that summing the lengths of the edges of the "croissants" lying along the Bohr circle gives us a formula for the number of particles located on the circle, assuming that particles of size L_0 are arranged sequentially along the edges of the cubes: $N = 2(v+1)^2 = 2n^2$. In this formula, $n = (v+1)$ has the meaning of the main quantum number, and N – is the number of particles on the n th shell. Let us apply the resulting structure from "croissants" to describe the nucleus of an atom. Within the framework of the proposed model, the magic numbers arising from the chain model are well reproduced by the ratio $N_{ob} = 2n^2$, for $n = (v+1)$ [2], and new ones arising from the proposed volumetric model of "croissants", for example, 2, 20, 90, 144 ... for $N_{cr} = n^2(1+n^2)$.

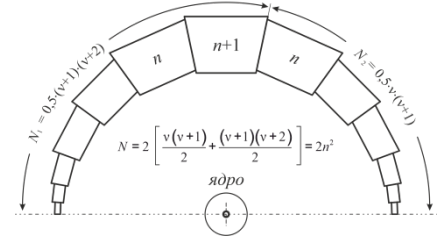


Fig. 1. Structure of the electron shell of an atom using a "croissant"

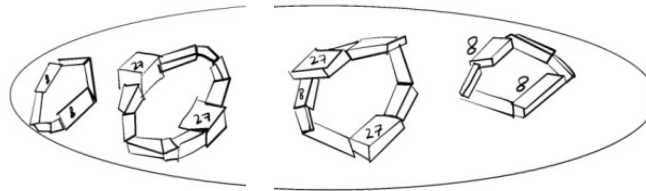


Fig. 2. The structure of a heavy deformed core obtained from a "croissant" for $A = 220$, inscribed in a spheroidal core

The possibility of replacing the real spheroidal surface of a heavy nucleus with the proposed model from “croissants” is shown in the above work, in which the values of the excitation energy of the nucleus are obtained in the first approximation of the perturbation theory. In the work of A.B.Migdal, placed in [2] in the form of a solved problem, deviations of the shape of the core surface from the surface of the sphere are considered. In our case, accordingly, deviations from the surface of the model are considered. A first-order correction to the oscillation energy of the spheroid surface is obtained. Perturbations are formed by the difference between the surfaces of the spheroid and the “croissant” model. Similar judgments are given in [3]. As an example, in the proposed model, a heavy nucleus of 220 nucleons is modeled using 4 closed shells, where each consists of 2 “croissants”. The first and fourth shells contain cubes of 1-8-1 nucleons. The middle two closed shells contain 1-8-27-8-1 nucleons in the “croissant”, and a total of 90 nucleons in the shell. The structure of the described kernel is shown in Fig.2. This structure is close to the ^{222}Rn structure.

References

1. I. M. Ryzhik. Tables of integrals, sums, series and products. OGIZ, Moscow: Leningrad, 1948, p. 241.
2. L. D. Landau, E. M. Lifshits. Quantum mechanics. Non-relativistic theory. Publishing house of Fizmatlitter-tours "Science". 1974, pp. 163-192.
3. R. Nataf. Models of nuclei and nuclear spectroscopy. M.: Publishing house "Mir", 1968. 403 p.

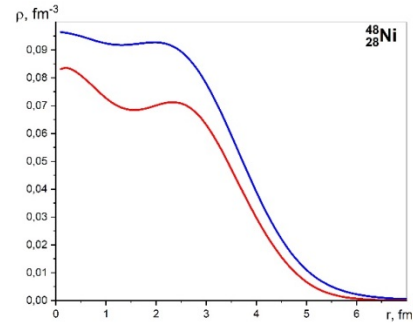
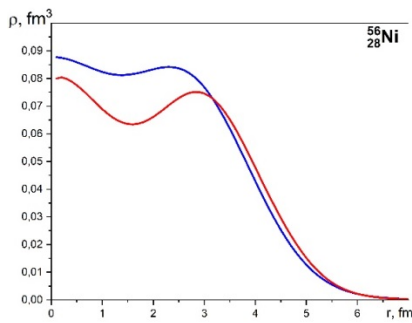
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НУКЛОННОЙ ПЛОТНОСТИ ЧЕТНО-ЧЕТНЫХ ИЗОТОПОВ $^{48-78}\text{Ni}$ В ДИСПЕРСИОННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

О. В. Беспалова¹, А. А. Климочкина², Д. Т. Талибджанов²

¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИЯФ МГУ
Тел.: +7 495 939-18-18, Факс: +7 495 932-08-96

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Физический факультет,
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2,
+7 (495) 939-31-60
klimann16@gmail.com

В рамках дисперсионной оптической модели [1] при описании экспериментальных данных по одночастичным энергиям E_{nlj} , зарядовым среднеквадратичным радиусам $r_{ch}^{эксп}$ и распределениям зарядовой плотности $\rho_{ch}^{эксп}(r)$ сконструированы протонные дисперсионные оптические потенциалы (ДОП) для стабильных ядер $^{58-64}\text{Ni}$ и ядра ^{56}Ni . Проведена оценка протонных одночастичных энергий $E_{nlj}^{р,оцен.}$ нейтронно-дефицитных изотопов $^{48-54}\text{Ni}$ на основе экспериментальных нейтронных энергий $E_{nlj}^{н,эксп}$ соответствующих зеркальных ядер-изобар. Используя физически обоснованный метод экстраполяции ДОП на область нестабильных ядер, выполнен расчет распределений протонных плотностей $\rho_{ch}(r)$ и среднеквадратичных радиусов $r_{ch}^{эксп}$ ядер $^{48-54}\text{Ni}$, $^{66-78}\text{Ni}$. Результаты показывают необходимость введения зависимости параметров радиуса r_{HF} и диффузности a_{HF} хартри-фоковской составляющей от относительного нейтронного избытка $(N - Z)/A$. В ядре ^{48}Ni расчет распределений плотности предсказывает образование «протонной» шубы, что согласуется с другими теоретическими подходами [2].



Распределения протонной (синий цвет) и нейтронной (красный) плотности ядер ^{56}Ni и ^{48}Ni

Список литературы

1. Mahaux C., Sartor R., Adv. Nucl. Phys., 20, 1 (1991).
2. N. Paar, P. et al, Phys. Lett. B 624, 195–202 (2006).

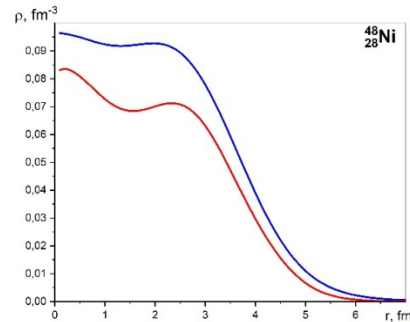
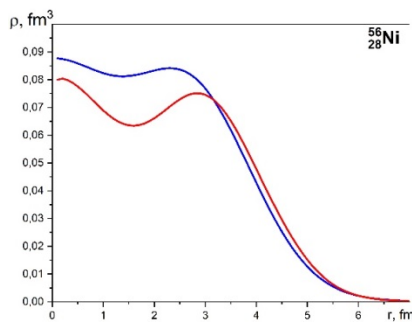
NUCLEON DENSITY DISTRIBUTION OF EVEN-EVEN $^{48-78}\text{Ni}$ ISOTOPES IN THE DISPERSIVE OPTICAL MODEL

O. V. Bessalova¹, A. A. Klimochkina², J. T. Talibjanov²

¹ Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
1(2) Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia,
Tel.: +7 495 939-18-18, fax: +7 495 932-08-96

² M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, 1(2), Leninskie gory, GSP-1,
Moscow 119991, Russian Federation, +7 (495) 939-31-60
klimann16@gmail.com

Within the dispersive optical model [1], proton dispersive optical potentials (DOPs) were constructed for stable $^{58-64}\text{Ni}$ and unstable ^{56}Ni nuclei describing the experimental single particle energies $E_{\text{nlj}}^{\text{exp}}$. Using DOPs, root-mean-square charge radii $r_{\text{ch}}^{\text{exp}}$ and charge density $\rho_{\text{ch}}^{\text{exp}}(r)$ were calculated. The single-particle proton energies $E_{\text{nlj}}^{\text{p,estim.}}$ of proton-rich $^{48-54}\text{Ni}$ isotopes were estimated from the experimental neutron energies $E_{\text{nlj}}^{\text{n,exp}}$ of the corresponding «mirror» isobar nuclei. The proton density $\rho_{\text{ch}}(r)$ and root-mean-square radii $r_{\text{ch}}^{\text{exp}}$ of $^{48-54}\text{Ni}$, $^{66-78}\text{Ni}$ nuclei were calculated also using the physically reasonable method of extrapolation of the DOP to the region of unstable nuclei. The results show the need to introduce the dependence of the parameters of the radius r_{HF} and diffuseness a_{HF} of the Hartree-Fock component on the relative excess of neutrons $(N - Z)/A$. The density distributions of ^{48}Ni nucleus corresponds to the forming of proton skin, which is consistent with the results of theoretical approach [2].



Density distributions of protons (blue) and neutrons (red) of ^{56}Ni and ^{48}Ni nuclei

References

1. Mahaux C., Sartor R., Adv. Nucl. Phys., 20, 1 (1991).
2. N. Paar, P. et al, Phys. Lett. B 624, 195–202 (2006).

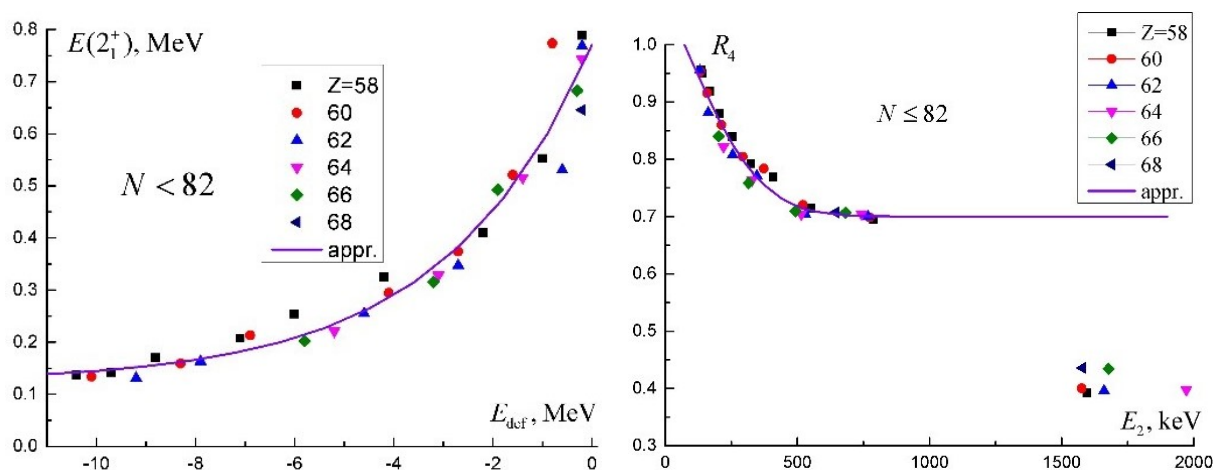
ЭНЕРГИЯ 2_1^+ , 4_1^+ , 6_1^+ СОСТОЯНИЙ В ТЯЖЕЛЫХ И СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЧЕТНЫХ-ЧЕТНЫХ ЯДРАХ

А. Д. Ефимов^{1,2}, И. В. Коваль¹, И. Н. Изосимов³

¹Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия. ²ФТИ им. А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург, Россия.

³141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
E-mail: efimov98@mail.ru

В тяжелых и сверхтяжелых ядрах была продемонстрирована выраженная корреляция [1, 2] между $E(2_1^+)$ энергиями 2_1^+ -состояний и энергиями деформации E_{def} , полученными в приближении Хартри–Фока–Боголюбова с реалистическими силами Гоньи [3]. Величина E_{def} определяется как разница между энергией ядер деформированной формы и сферической. Предложена и успешно использована параметризация $E(2_1^+) = b_1 + b_2 e^{a E_{\text{def}}}$. В [2] также рассматривалась систематика отношений энергий во вращательной полосе. Это позволило получить энергетические оценки 4_1^+ - и 6_1^+ -состояний, используя данные об энергиях 2_1^+ -состояний. Для отношения $R_4 = E(4_1^+) / E(2_1^+) / (10/3)$ использовалась параметризация $R_4 = a \exp(-(E(2_1^+) - E_0/b)^2) + c$. Соответствующие корреляции были проверены также для ядер группы лантаноидов с $N \leq 82$, и результаты представлены на рисунках.



Корреляция между $E(2_1^+)$ и E_{def} очевидна, и аппроксимация эффективна. Для ядер с идеальным вращением $R_4 = 1$. Для простых колебаний без ангармонизма $R_4 = 0.6$. Для полумагических ядер $R_4 \sim 0.4$, что свидетельствует о том, что структура 4_1^+ в них во многом определяется не двухфононной компонентой, хотя она заметна из-за больших значений $B(E2; 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)$. Успех представленных приближений для ядер группы лантаноидов демонстрирует неслучайный успех аналогичных приближений для сверхтяжелых ядер.

1. A. D. Efimov, I. N. Izosimov, Physics of Particles and Nuclei Letters 18, 658 (2021).
2. A. D. Efimov and I. N. Izosimov, JINR Preprint P6-2021-53 (JINR, Dubna, 2021).
3. S. Hilaire, M. Girod, Eur. Phys. J. A. 2007. V. 33. P. 237; http://www-phynu.cea.fr/science_en_ligne/carte_potentiels_microscopiques/choix/hoixisotopes.html.

ENERGY OF THE 2_1^+ , 4_1^+ , 6_1^+ STATES IN HEAVY AND SUPERHEAVY EVEN-EVEN NUCLEI

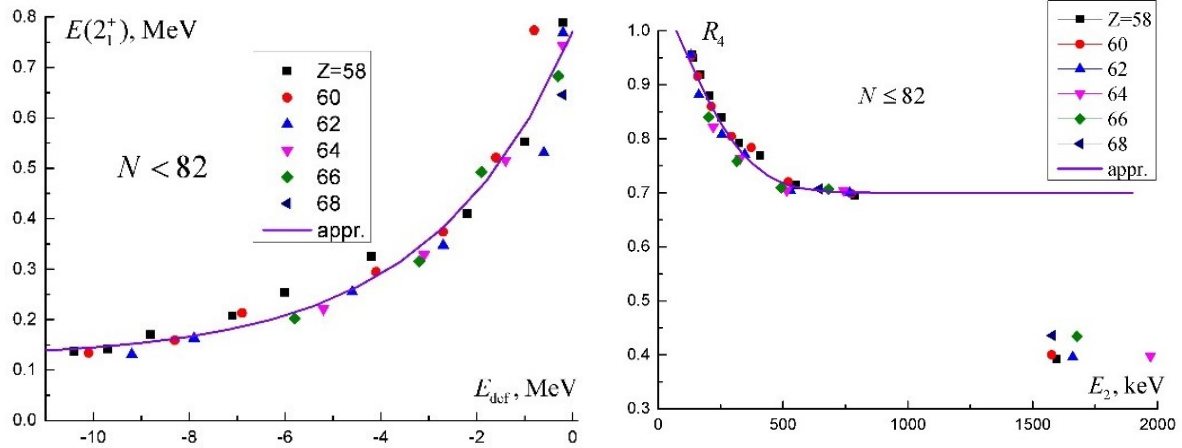
A. D. Efimov^{1,2}, I. V. Koval¹, I. N. Izosimov³

¹Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St.-Petersburg, Russia.

²Ioffe Physical-Technical Institute, Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, Russia.

³Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
E-mail: efimov98@mail.ru

In heavy and superheavy nuclei, a pronounced correlation was demonstrated [1, 2] between the energies $E(2_1^+)$ of the 2_1^+ states and the deformation energies E_{def} obtained in the Hartree–Fock–Bogolyubov approximation with realistic Gogny forces [3]. The E_{def} value is defined as the difference between the energy of the nuclei with deformed shape and a spherical one. The parametrization of $E(2_1^+) = b_1 + b_2 e^{aE_{\text{def}}}$ was proposed and successfully used. In [2], the systematics of the energy ratios in the rotational band was also considered. This made it possible to obtain energy estimates for the 4_1^+ and 6_1^+ states using data on the energies of the 2_1^+ states. For the ratio $R_4 = E(4_1^+) / E(2_1^+) / (10/3)$, the parametrization $R_4 = a \exp(-(E(2_1^+) - E_0/b)^2) + c$ was used. Corresponding correlations were also checked for the nuclei of the lanthanide group with $N \leq 82$ and results are presented in figures.



The correlation between $E(2_1^+)$ and E_{def} is obvious, and the approximation is effective. For nuclei with ideal rotation $R_4 = 1$. For simple vibrations without anharmonicity $R_4 = 0.6$. For semimagic nuclei the $R_4 \sim 0.4$, which indicates that the 4_1^+ structure is largely determined not by the two-phonon component, although it is noticeable due to the large value of $B(E2; 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)$. The success of the presented approximations for the nuclei of the lanthanide group renders the success of similar approximations for superheavy nuclei nonrandom.

1. A. D. Efimov, I. N. Izosimov, Physics of Particles and Nuclei Letters 18, 658 (2021).
2. A. D. Efimov and I. N. Izosimov, JINR Preprint P6-2021-53 (JINR, Dubna, 2021).
3. S. Hilaire, M. Girod, Eur. Phys. J. A. 2007. V. 33. P. 237; http://www-phynu.cea.fr/science_en_ligne/carte_potentiels_microscopiques/choix/choixisotopes.html.

ПРЕДСКАЗАНИЕ ЭНЕРГИЙ ВОЗБУЖДЕНИЙ 2_1^+ СОСТОЯНИЙ НЕКОТОРЫХ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР

Р. В. Джолос, Е. А. Колганова, Л. А. Малов, Н. Ю. Ширикова

141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
+7 (496) 216-50-59
E-mail: kea@jinr.ru

Синтез ядер с большим числом протонов привел к открытию новой области для исследования структуры ядер, а именно сверхтяжелых ядер [1–3]. Важным показателем формы и других свойств четных ядер является энергия возбуждения первых возбужденных 2_1^+ состояний $E(2_1^+)$. Феноменологическое соотношение Гродзинса [4], известное с 1962 года, говорит о том, что произведение энергии первого 2_1^+ состояния на вероятность E2 перехода из основного состояния ядра в первое возбужденное 2_1^+ состояние является плавной функцией A и Z ядра. В работе [5] это соотношение выведено на основе микроскопической модели ядра. Это дает возможность использовать такой теоретический подход и хорошо известную информацию о ядерной структуре для вычисления энергий $E(2_1^+)$ для некоторых цепочек сверхтяжелых ядер с Z от 100 до 120 [6, 7].

В работе выполнены расчеты энергий 2_1^+ состояний в ядрах с $Z > 100$ и показано, что при Z близких к $Z = 100$ энергия $E(2_1^+)$ не превышает 100 кэВ. Затем $E(2_1^+)$ резко возрастает с увеличением A и достигает максимального значения в 400-500 кэВ в ядрах с $Z = 114, 116, 118$.

Список литературы

1. Yu. Ts. Oganessian // J. Phys. G. 2007. V.34. P.R165.
2. Yu. Ts. Oganessian et al. // Phys. Rev. C. 2013. V.87. P.014302.
3. Yu. Ts. Oganessian et al. // Phys. Rev. C. 2022. V.106. P.024612.
4. L. Grodzins // Phys. Lett. 1962. V.2. P.88.
5. R. V. Jolos, E. A. Kolganova // Phys. Lett. B. 2021. V.820. P.136581.
6. N. Yu. Shirikova et al. // Phys. Rev. C. 2022. V.105. P.024309.
7. N. Yu. Shirikova et al. // PEPAN. 2022. V.53. P.1138.

PREDICTIONS OF THE EXCITATION ENERGIES OF THE 2_1^+ STATES FOR SOME SUPERHEAVY NUCLEI

R. V. Jolos, E. A. Kolganova, L. A. Malov, N. Yu. Shirikova

Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
+7 (496) 216-50-59
E-mail: kea@jinr.ru

The synthesis of nuclei with large proton numbers has led to discovering of a new region for investigation of the structure of nuclei, namely, of superheavy nuclei [1–3]. The important indicator of the shape and other properties of even-even nuclei is the excitation energy of the first excited 2_1^+ states $E(2_1^+)$. The phenomenological Grodzins relation [4] formulated in 1962 has established that the product of the energy of the first 2_1^+ state per probability of the E2 transition from the ground state of the nucleus to the first excited 2_1^+ state is a smooth function of A and Z of a nucleus. In [5] this relation has been derived based on the microscopic nuclear model. It gives us a possibility to use this theoretical approach and the well established nuclear structure information to calculate $E(2_1^+)$ for some chains of superheavy nuclei with Z from 100 to 120 [6, 7].

In our work the calculations of the excitation energies of the 2_1^+ states in nuclei with $Z > 100$ has been performed and it is shown that at Z close to $Z = 100$ the energy $E(2_1^+)$ does not exceed 100 keV. Then $E(2_1^+)$ sharply increases with A and reaches maximum value of 400-500 keV in nuclei with $Z = 114, 116, 118$.

References

1. Yu. Ts. Oganessian // J. Phys. G. 2007. V.34. P.R165.
2. Yu. Ts. Oganessian et al. // Phys. Rev. C. 2013. V.87. P.014302.
3. Yu. Ts. Oganessian et al. // Phys. Rev. C. 2022. V.106. P.024612.
4. L. Grodzins // Phys. Lett. 1962. V.2. P.88.
5. R. V. Jolos, E. A. Kolganova // Phys. Lett. B. 2021. V.820. P.136581.
6. N. Yu. Shirikova et al. // Phys. Rev. C. 2022. V.105. P.024309.
7. N. Yu. Shirikova et al. // PEPAN. 2022. V.53. P.1138.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИММЕТРИЧНЫХ И НЕСИММЕТРИЧНЫХ ТРЕХАТОМНЫХ СИСТЕМ АТОМОВ ГЕЛИЯ

А. А. Коробицин, Е. А. Колганова

141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
+7 (496) 216-50-59
E-mail: koroaa@jinr.ru

Кластеры инертных газов представляют собой большой класс молекул, взаимодействие которых описывается потенциалами ван-дер-ваальсового типа. Некоторые слабосвязанные кластеры проявляют универсальные характеристики и масштабные инварианты, связанные со знаменитым эффектом Ефимова [1], который был экспериментально подтвержден в ультра-холодном газе атомов цезия [2]. Система тримера гелия долгое время считалась идеальным кандидатом для наблюдения состояний Ефимова. Недавно, после длительных и непрерывных исследований, было обнаружено состояние Ефимова как возбужденное состояние тримера гелия $^4\text{He}_3$ [3]. Также была измерена волновая функция димера ^4He с использованием техники кулоновского взрыва, которая позволила определить его малую энергию связи – 151.9 ± 13.3 нэВ [4].

Существует множество реалистичных потенциальных моделей, которые все более и более точно воспроизводят взаимодействие двух атомов He-He [5]. Для оценки влияния потенциальной модели на характеристики трёхатомной системы необходимо выполнить очень точный расчет. Один из эффективных методов исследования трехатомных кластеров основан на использовании дифференциальных уравнений Фаддеева.

В данной работе разработан алгоритм численного решения двумерных дифференциальных уравнений Фаддеева в модели твердого кора, который применяется для исследования свойств трёхатомных систем $^4\text{He}_3$ и $^3\text{He}^4\text{He}_2$ с использованием современных реалистичных потенциалов PRZ2010 [6] и PRZ2017 [7], а также более старые потенциалы – HFD-B [8], LM2M2 [9] и TTY [10]. Результаты расчетов сравниваются с результатами других авторов, а также с экспериментом.

Список литературы

1. V. N. Efimov // Phys. Atom. Nucl. 1970. V.12. P.1080; Phys. Lett. B. 1970. V.33. P.563.
2. T. Kraemer et al. // Nature. 2006. V.440. P.315.
3. M. Kunitski et al. // Science. 2015. V.348. P.551.
4. S. Zeller, et al. // Proc. Nat. Acad. Sci. 2016. V.113. P.14651.
5. E. A. Kolganova et al. // Few-Body Syst. 2017. V.58. P.35.
6. M. Przybytek et al. // Phys. Rev. Lett. 2010. V.104. P.183003.
7. M. Przybytek et al. // Phys. Rev. Lett. 2017. V.119. P.123401.
8. R. A. Aziz et al. // J. Chem. Phys. 1987. V.61. P.1487.
9. R. A. Aziz et al. // J. Chem. Phys. 1991. V.94. P.8047.
10. K. T. Tang et al. // Phys. Rev. Lett. 1995. V.74. P.1546.

INVESTIGATION OF THE SYMMETRIC AND ASYMMETRIC HELIUM THREE-ATOMIC SYSTEMS

A. A. Korobitsin, E. A. Kolganova

Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
+7 (496) 216-50-59
E-mail: koraaa@jinr.ru

Clusters of gas atoms are a large class of molecules interacting via van der Waals type potentials. Some weakly bound clusters show universal characteristics and scale invariants related to the famous Efimov effect [1], which was experimentally confirmed in an ultracold gas of the Cs atoms [2]. The helium trimer system has been long considered as an ideal candidate for observing Efimov states. Only recently, after a long and continued research, the Efimov state as the excited state of the $^4\text{He}_3$, was detected [3]. Also, the wave function of the ^4He dimer has been measured via Coulomb explosion technique which enabled to determine its very small binding energy - 151.9 ± 13.3 neV [4].

There are many realistic He-He potential models which are more and more accurate reproduce two body data [5]. Very accurate calculation needed in order to evaluate the effect of potential models on the characteristic of three-body system. One of the effective methods for studying triatomic clusters is based on the differential Faddeev equations.

In this work we develop algorithm for numerical solution of the two-dimensional differential Faddeev equations in the hard-core model is applied to study the properties of the $^4\text{He}_3$ and $^3\text{He}^4\text{He}_2$ helium three-atomic system using modern realistic potentials constructed by M. Przybytek et al. in 2010 [6] and 2017 [7] years, as well as older potentials – HFD-B [8], LM2M2 [9] and TTY [10]. The calculated results we compare with the results obtained using different methods by other authors and with the experiment.

References

1. V. N. Efimov // Phys. Atom. Nucl. 1970. V.12. P.1080; Phys. Lett. B. 1970. V.33. P.563.
2. T. Kraemer et al. // Nature. 2006. V.440. P.315.
3. M. Kunitski et al. // Science. 2015. V.348. P.551.
4. S. Zeller, et al. // Proc. Nat. Acad. Sci. 2016. V.113. P.14651.
5. E. A. Kolganova et al. // Few-Body Syst. 2017. V.58. P.35.
6. M. Przybytek et al. // Phys. Rev. Lett. 2010. V.104. P.183003.
7. M. Przybytek et al. // Phys. Rev. Lett. 2017. V.119. P.123401.
8. R. A. Aziz et al. // J. Chem. Phys. 1987. V.61. P.1487.
9. R. A. Aziz et al. // J. Chem. Phys. 1991. V.94. P.8047.
10. K. T. Tang et al. // Phys. Rev. Lett. 1995. V.74. P.1546.

ПРОТОН-ПИОННАЯ МОДЕЛЬ НЕЙТРОНА И ЯДРА

П. В. Кудан

Научно-исследовательский центр общества с ограниченной ответственностью «Аквахром»
117198, Москва, Ленинский проспект, д. 113/1, тел./факс: +7 (495) 727-44-90
e-mail: pavel.kudan@aquachrom.ru

Показано, что заключение Дж. Чедвика о необходимости отнесения нейтрона к элементарным частицам не имеет логической полноты, так как получено на основании рассмотрения свойств только протона и электрона как единственных элементарных частиц, известных в 1932 г.

На основании рассмотрения свойств полного набора частиц, известных к 2023 г., показано, что по сочетанию спина, заряда и массы отрицательный пион также может рас-

смагиваться как частица, совместно с протоном образующая нейтрон и ядро, что соответствует изначальной гипотезе Э. Резерфорда о том, что ядра состоят из протонов и отрицательных частиц с уточнением типа отрицательной частицы на основании современных данных.

Точность данной идентификации подтверждается полным соответствием продуктов бета-распада нейтрона и ядер наиболее энергетически выгодному электронному пути бета-распада отрицательного пиона (при невозможности в силу недостатка энергии реализации менее энергетически выгодного мюонного пути), а также наличием прямой реакции между протоном и отрицательным пионом с образованием нейтрона и выделением энергии (в форме гамма-квантов либо в форме промежуточного образования нейтрального пиона с его дальнейшим распадом на гамма-кванты).

Независимым подтверждением точности данной идентификации также является то, что с точки зрения SU(3) симметрии именно отрицательный пион ($\bar{d}u$) в точности соответствует разнице между протоном (uud) и нейтроном (udd).

На основании проведенной идентификации предложена протон-пионная модель нейтрона и ядра, описывающая нейтрон как композит, состоящий из одного протона и одного отрицательного пиона, ядра как композиты, состоящие из протонов и отрицательных пионов с избытком протонов, слабое взаимодействие как реакцию бета-распада отрицательного пиона и сильное взаимодействие как взаимодействие протонов с отрицательными пионами.

Показано, что по сравнению со Стандартной моделью, предложенная протон-пионная модель обеспечивает снижение сложности, так как при полном соответствии SU(3) симметрии не требует постулирования не наблюдаемых непосредственно в эксперименте кварков и глюонов.

THE PROTON-PION MODEL OF NEUTRON AND NUCLEUS

P. V. Kudan

Research Center of «Aquachrom» Limited Liability Company
117198, Moscow, Leninskiy Prospekt, 113/1, tel./fax: +7 (495) 727-44-90
e-mail: pavel.kudan@aquachrom.ru

It is shown that J. Chadwick's conclusion about the need to attribute the neutron to elementary particles is not logically complete, as it was obtained on the basis of considering the properties of only the proton and electron as the only elementary particles known in 1932.

Based on the consideration of the properties of the complete set of particles known by 2023, it is shown that, by the combination of spin, charge and mass, a negative pion can also be considered as a particle that, together with proton, forms neutron and nucleus, which corresponds to the initial hypothesis of E. Rutherford that nuclei consist of protons and negative particles, but refined on the type of negative particle on the basis of modern data.

The accuracy of this identification is confirmed by the full correspondence of the products of beta decay of the neutron and nuclei to the most energetically favorable electron path of the beta decay of the negative pion (whereas the less energetically favorable muon path is impossible due to the lack of energy), as well as the presence of a reaction between the proton and the negative pion with the direct formation neutron and release of energy (in the form of photons or in the form of intermediate formation of a neutral pion with its further decay into photons).

An independent confirmation of the accuracy of this identification is also the fact that, from the point of view of SU(3) symmetry, it is the negative pion ($\bar{d}u$) that exactly corresponds to the difference between a proton (uud) and a neutron (udd).

Based on the identification, a proton-pion model of the neutron and the nucleus is proposed, which describes the neutron as a composite consisting of one proton and one negative pion, nuclei as composites consisting of protons and negative pions with an excess of protons, weak interaction as a negative pion beta decay reaction and the strong interaction as the interaction of protons with negative pions.

It is shown that, in comparison with the Standard Model, the proposed proton-pion model provides a reduction in complexity, since, being in full compliance with the SU(3) symmetry, it does not require the postulation of quarks and gluons that cannot be directly observed in the experiment.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ЯДРА ${}^9\text{Li}$ МЕТОДОМ SS-HORSE–NCSM

**В. А. Куликов¹, И. А. Мазур², А. И. Мазур³, А. М. Широков¹,
I. J. Shin⁴, Y. Kim², P. Maris⁵, J. P. Vary⁵**

¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИЯФ МГУ
Тел.: +7 495 939-18-18, Факс: +7 495 932-08-96

²Center for Exotic Nuclear Studies, Institute for Basic Science, Daejeon, Republic of Korea;
³Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия; ⁴Institute for Basic Sciences,
Daejeon, Republic of Korea; ⁵Iowa State University, Ames, Iowa, USA
E-mail: kulikov@nucl-th.sinp.msu.ru

В ядре ${}^9\text{Li}$ измерены энергии и определены спин-четности основного и первого возбужденного состояний, оценены величины некоторых асимптотических нормировочных коэффициентов (АНК), а также известны энергии трех резонансов и спин-четность одного из них определена экспериментально. Мы проводим теоретическое исследование спектра ядра ${}^9\text{Li}$ в подходе *ab initio* методами модели оболочек безинертного кора (No-core Shell Model, NSCM) [1] с использованием NN-взаимодействия Daejeon16. Мы используем формализм SS-HORSE (Single-State Harmonic Oscillator Representation of Scattering Equations) [2], позволяющий на основе результатов расчетов в NCSM рассчитать S-матрицу и найти ее полюсы. Это позволяет получить энергии и ширины резонансов, а в применении к связанным состояниям – уточнить энергии состояний и рассчитать АНК. В этом подходе мы получили энергию основного состояния ${}^9\text{Li}$, согласующуюся с экспериментальной, и описали первое возбужденное состояние. Нами исследован ряд резонансных состояний, некоторые из них можно сопоставить с известными из эксперимента. Результаты этих исследований частично представлены в работе [3], сейчас мы продолжаем данные исследования с использованием больших модельных пространств NCSM, что позволит уточнить имеющиеся и получить новые результаты.

Список литературы

1. B. R. Barrett, P. Navrátil, J. P. Vary // Prog. Part. Nucl. Phys. 2013. Vol. 69. P. 131–181.
2. A. M. Shirokov, A. I. Mazur, I. A. Mazur, J. P. Vary // Phys. Rev. C. 2016. Vol. 94, no. 6. P. 064320–1–064320–24.
3. I. A. Mazur, A. I. Mazur, V. A. Kulikov, A. M. Shirokov, I. J. Shin, Y. Kim, P. Maris, J. P. Vary // Phys. At. Nucl. 2022. Vol. 85, no. 6. P. 36–48.

THEORETICAL STUDY OF ${}^9\text{Li}$ SPECTRUM USING THE SS-HORSE–NCSM APPROACH

**V. A. Kulikov¹, I. A. Mazur², A. I. Mazur³, A. M. Shirokov¹,
I. J. Shin⁴, Y. Kim², P. Maris⁵, J. P. Vary⁵**

¹ Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
1(2) Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia,
Tel.: +7 495 939-18-18, fax: +7 495 932-08-96;

²Center for Exotic Nuclear Studies, Institute for Basic Science, Daejeon, Republic of Korea; ³Pacific
National University, Khabarovsk, Russia; ⁴Institute for Basic Sciences, Daejeon, Republic of Korea;
⁵Iowa State University, Ames, Iowa, USA
E-mail: kulikov@nucl-th.sinp.msu.ru

${}^9\text{Li}$ ground and first excited state energies and spin-parities as well as some asymptotic normalization coefficients (ANCs) are known experimentally; the energies of three resonances and the spin-parity of one of them have been also determined. We perform a theoretical *ab initio* study of the ${}^9\text{Li}$ spectrum by means of the No-core Shell Model (NSCM) [1] with Daejeon16 NN-interaction. We

utilize the SS-HORSE formalism (Single-State Harmonic Oscillator Representation of Scattering Equations) [2] to calculate the S matrix based on the NCSM results and to locate numerically the S-matrix poles. This makes it possible to obtain resonance energies and widths; in the case of bound states, the calculations of S-matrix poles provide improved results for binding energies and evaluation of ANCs. Within this SS-HORSE–NCSM approach, we described the ${}^9\text{Li}$ ground state in a good agreement with experimental data and the first excited bound state. We obtained also a number of resonant states, some of them may be put into correspondence with experimentally observed resonances. These results were partly published in Ref. [3]; we are continuing these investigations using larger NCSM model spaces which will improve previous and provide new results.

References

1. B. R. Barrett, P. Navrátil, J. P. Vary // Prog. Part. Nucl. Phys. 2013. Vol. 69. P. 131–181.
2. A. M. Shirokov, A. I. Mazur, I. A. Mazur, J. P. Vary // Phys. Rev. C. — 2016. — Vol. 94, no. 6. P. 064320–1–064320–24.
3. I. A. Mazur, A. I. Mazur, V. A. Kulikov, A. M. Shirokov, I. J. Shin, Y. Kim, P. Maris, J. P. Vary // Phys. At. Nucl. 2022. Vol. 85, no. 6. P. 36–48.

РЕЗОНАНСНЫЕ СОСТОЯНИЯ ЯДРА ${}^7\text{He}$ В ПОДХОДЕ SS-HORSE–NCSM

**А. И. Мазур¹, И. А. Мазур², А. М. Широков³, В. А. Куликов³,
I. J. Shin⁴, Y. Kim², P. Maris⁵, J. P. Vary⁵**

¹Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия;

²Center for Exotic Nuclear Studies, Institute for Basic Science, Daejeon, Republic of Korea;

³Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобелевца

Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

119991 ГСП-1 Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИЯФ МГУ

Тел.: +7 495 939-18-18, Факс: +7 495 932-08-96

⁴Institute for Basic Sciences, Daejeon, Republic of Korea; ⁵Iowa State University, Ames, Iowa, USA

E-mail: mazur@khb.ru

Представлены теоретические исследования ab initio резонансных состояний несвязанного ядра ${}^7\text{He}$ [1]. На основе результатов, полученных в модели оболочек без инертного кора (no-core shell model, NCSM [2]) с NN-взаимодействиями Daejeon16 [3] и JISP16 [4], в подходе SS-HORSE [5] рассчитаны S-матрицы для двухчастичных каналов $n + {}^6\text{He}$ и $n + {}^6\text{He}^*$ с ядром ${}^6\text{He}$ соответственно в основном и возбужденном 2^+ состояниях, а также для четырехчастичного демократического канала распада ${}^4\text{He} + n + n + n$. Резонансные энергии и ширины определены численным расчетом положения полюсов S-матрицы. Описаны все экспериментально известные резонансы ${}^7\text{He}$, предложена интерпретация наблюдаемого широкого резонанса неизвестной спин-четности. Показано, что прямые демократические четырехчастичные распады резонансов ядра ${}^7\text{He}$ подавлены вследствие большого гиперсферического центробежного барьера.

Список литературы

1. I. A. Mazur, I. J. Shin, Y. Kim, A. I. Mazur, A. M. Shirokov, P. Maris, and J. P. Vary // Phys. Rev. C. 2022. Vol. 106. P. 064320.
2. B. R. Barrett, P. Navrátil, J. P. Vary // Prog. Part. Nucl. Phys. 2013. Vol. 69. P. 131.
3. A. M. Shirokov, I. J. Shin, Y. Kim, M. Sosonkina, P. Maris, and J. P. Vary // Phys. Lett. B. 2016. Vol. 761. P. 87.
4. A. M. Shirokov, J. P. Vary, A. I. Mazur, and T. A. Weber // Phys. Lett. B. 2007. Vol. 644. P. 33.
5. A. M. Shirokov, A. I. Mazur, I. A. Mazur, J. P. Vary // Phys. Rev. C. 2016. Vol. 94, P. 064320.

^7He NUCLEUS RESONANT STATES IN THE SS-HORSE–NCSM APPROACH

**A. I. Mazur¹, I. A. Mazur², A. M. Shirokov³, V. A. Kulikov³,
I. J. Shin⁴, Y. Kim², P. Maris⁵, J. P. Vary⁵**

¹Pacific National University, Khabarovsk, Russia;

²Center for Exotic Nuclear Studies, Institute for Basic Science, Daejeon, Republic of Korea;

³Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
1(2) Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia,

Tel.: +7 495 939-18-18, fax: +7 495 932-08-96; ⁴Institute for Basic Sciences, Daejeon,
Republic of Korea;

⁵Iowa State University, Iowa, Ames, USA

E-mail: mazur@khb.ru

Ab initio studies of resonances in the unbound ^7He nucleus are presented [1]. We perform no-core shell model (NCSM) [2] calculations with NN interactions Daejeon16 [3] and JISP16 [4] and utilize the SS-HORSE–NCSM [5] approach to calculate the S matrix for two-body channels $n + ^6\text{He}$ and $n + ^6\text{He}^*$ with ^6He respectively in the ground and excited 2^+ states as well as for the four-body democratic decay channel $^4\text{He} + n + n + n$. The resonant energies and widths are obtained by numerical location of the S-matrix poles. We describe all experimentally known ^7He resonances and suggest an interpretation of an observed wide resonance of unknown spin-parity. We conclude that the direct democratic four-body decays of ^7He resonances are suppressed due to the large hyperspherical centrifugal barrier.

References

1. I. A. Mazur, I. J. Shin, Y. Kim, A. I. Mazur, A. M. Shirokov, P. Maris, and J. P. Vary // Phys. Rev. C. 2022. Vol. 106. P. 064320.
2. B. R. Barrett, P. Navrátil, J. P. Vary // Prog. Part. Nucl. Phys. 2013. Vol. 69. P. 131.
3. A. M. Shirokov, I. J. Shin, Y. Kim, M. Sosonkina, P. Maris, and J. P. Vary // Phys. Lett. B. 2016. Vol. 761. P. 87.
4. A. M. Shirokov, J. P. Vary, A. I. Mazur, and T. A. Weber // Phys. Lett. B. 2007. Vol. 644. P. 33.
5. A. M. Shirokov, A. I. Mazur, I. A. Mazur, J. P. Vary // Phys. Rev. C. 2016. Vol. 94, P. 064320.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭНЕРГИЙ СВЯЗИ ТРЕХ ЧАСТИЦ С КОНТАКТНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ОТ МАСС

О. И. Картавцев, А. В. Малых

141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
E-mail: maw@theor.jinr.ru

Рассмотрены спектры энергии трех частиц в универсальном низкоэнергетическом пределе двухчастичных взаимодействий нулевого радиуса. Цель состоит в том, чтобы изучить, помимо типичного случая трех положительных масс, также случай одной отрицательной и двух положительных масс. В последнем случае описание относительного движения (в системе центра масс) является хорошо определенной задачей при условии, что сумма всех масс отрицательна. Заметим, что появление отрицательной эффективной массы является обычным явлением в задачах о конденсированных средах.

В секторе $L^P = 0^+$ полного углового момента L и четности P существует эффект Ефимова, а асимптотика спектра имеет вид $E_N = \exp(2 \pi N / |g|)$. Зависимость g от масс определена, в том числе, для случая одной отрицательной и двух положительных масс.

Для ненулевого полного углового момента, чтобы уменьшить ряд существенных параметров, рассматриваются две тождественные частицы массы m и отличная от них частица массы m_1 . Если взаимодействие между одинаковыми частицами отсутствует, то существует соответствие между спектрами энергии для положительного отношения масс m/m_1 и для отрицательного отношения масс m^*/m_1^* при выполнении равенства $m^*/m_1^* = -m/m_1 / (1 + 2m/m_1)$. В частности, при выполнении равенства для нечетных L , спектр фермионной (бозонной) задачи при положительном m/m_1 совпадает со спектром бозонной (фермионной) задачи при отрицательном m^*/m_1^* ; а для четных L , спектры бозонной задачи для положительных и отрицательных масс одинаковы. При этом, как и в [1], получены критические значения отношения масс в разных L^P секторах. А именно, критические значения μ_c указывают на возникновение эффекта Ефимова, а μ_r указывает, где следует ввести дополнительный параметр b для однозначной постановки задачи. В частности, для $L^P=1^-$ и отрицательного отношения масс $\mu_r \approx -0,26664$ и $\mu_c \approx -0,35700$, если одинаковыми частицами являются бозоны. Приведен пример зависимости энергии от сил взаимодействия для низших полных угловых моментов.

Список литературы

- [1] O. I. Kartavtsev and A. V. Malykh EPL **115**, 36005 (2016).

MASS DEPENDENCE OF ENERGIES FOR THREE PARTICLES WITH CONTACT INTERACTIONS

O. I. Kartavtsev, A. V. Malykh

Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
E-mail: maw@theor.jinr.ru

Energy spectra of three particles in the universal low-energy limit of zero-range two-body interactions are considered. The aim is to study, besides the typical case of three positive masses, the case of one negative and two positive masses. In the latter configuration, the description of relative motion (in the center of mass frame) is a well defined problem under the condition that a sum of the masses is negative. Notice that the occurrence of negative effective mass is common in the condensed matter problems.

In the sector $L^P = 0^+$ of total angular momentum L and parity P , Efimov effect takes place, and an asymptotic form of the spectrum is given by $E_N = \exp(2\pi N / |g|)$. The dependence g on masses is determined including the case of one negative and two positive masses.

In order to diminish a number of essential parameters for nonzero total angular momentum one considers two identical particles of mass m and distinct one of mass m_1 . If there is no interaction between identical particles then it appears that there is a correspondence between energy spectra for the positive mass ratio m/m_1 and negative mass ratio m^*/m_1^* provided the relation $m^*/m_1^* = -m/m_1 / (1 + 2m/m_1)$ is valid. Particularly, under this relation, for odd L , the spectrum of fermionic (bosonic) problem for positive m/m_1 coincides with the spectrum of bosonic (fermionic) problem for negative m^*/m_1^* , while for even L the spectra of bosonic problem for positive and negative masses are the same.

Furthermore, similar to [1], the critical values of the mass ratio are obtained in different L^P sectors. More precisely, the critical values μ_c indicates an occurrence of the Efimov effect and μ_r indicates where an additional parameter b should be introduced to unambiguously formulate the problem. In particular, for $L^P=1^-$ and negative mass ratios, $\mu_r \approx -0.26664$ and $\mu_c \approx -0.35700$ if the identical particles are bosons. The dependence of energy on the interaction strengths for the lowest total angular momenta is exemplified.

References

- [1] O. I. Kartavtsev and A. V. Malykh EPL **115**, 36005 (2016).

СТАБИЛИЗАЦИЯ ОКТУПОЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ТЯЖЕЛЫХ И СВЕРХТЯЖЕЛЫХ АТОМНЫХ ЯДРАХ

Е. В. Мардыбан, Е. А. Колганова, Т. М. Шнейдман, Р. В. Джолос

141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
post@jinr.ru, +7 (496) 216-51-46

В структуре редкоземельных ядер, актинидов и сверхтяжелых ядер важную роль играют корреляции, приводящие к зеркально-асимметричной деформации [1]. Экспериментально зеркально-асимметричная деформация проявляется появлением низколежащих состояний отрицательной четности, связанных сильными переходами нечётной мультипольности с членами полосы основного состояния. В рамках геометрической коллективной модели и кластерного подхода получены аналитические выражения для зависимости величин расщепления по четности и переходных дипольных моментов от углового момента [2, 3]. В кластерной модели двойной ядерной системы произведен расчет расщепления по четности и критических угловых моментов для ядер с $Z > 96$ [4].

STABILIZATION OF OCTUPOLE DEFORMATION IN HEAVY AND SUPERHEAVY NUCLEI

E. V. Mardyban, E. A. Kolganova, T. M. Shneidman, R. V. Jolos

Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6,
141980 Dubna, Moscow Region, Russia
post@jinr.ru, +7 (496) 216-51-46

The correlations, which leading to reflection-asymmetric deformation, play an important role in the structure of rare-earth nuclei, actinides and superheavy nuclei [1]. Experimentally, the reflection-asymmetric deformation is manifested by the appearance of low-lying negative-parity states associated with strong odd multipole transitions with members of the ground state band. In the framework of the geometric collective model and the cluster approach, analytical expressions are obtained for the dependence of the parity splitting and transition dipole moments on the angular momentum [2,3]. Parity splitting and critical angular momenta for nuclei with $Z > 96$ were calculated in the cluster model of a dinuclear system [4].

References

- [1] R. V. Jolos E. A. Kolganova, E. V. Mardyban and T. M. Shneidman, Int. J. Mod. Phys. E, 2340002 (2023)
- [2] E. V. Mardyban, T. M. Shneidman, E.A. Kolganova, R. V. Jolos, and S.-G. Zhou, Chin. Phys. C 42, 124104 (2018).
- [3] E. V. Mardyban, T. M. Shneidman, E.A. Kolganova, R. V. Jolos, Physics of Atomic Nuclei. Vol. 83, No 1. 53 (2020).
- [4] E. V. Mardyban, E. A. Kolganova, T. M. Shneidman, R. V. Jolos, Physics of Particles and Nuclei Letters Vol. 19, No. 6, 646 (2022).

ПОВЕДЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ В СИЛЬНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДРАХ ^{24}Mg И ^{20}Ne

М. А. Мардыбан¹, В. О. Нестеренко^{1,2}, П.-Г. Рейнхард³, А. Репко⁴, Я. Квасил⁵

¹Лаборатория теоретической физики 141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6,
post@jinr.ru, +7 (496) 216-51-46

² Государственный университет «Дубна», Дубна, Московская область, 141982, Россия

³ Институт теоретической физики II, Эрлангенский университет, D-91058, Эрланген, Германия

⁴ Институт физики Словацкой академии наук, 84511 Братислава, Словакия

⁵ IPNP, Карлов университет, Прага, Чехия

Мы исследовали деформационную зависимость момента инерции J для легких ядер ^{24}Mg и ^{20}Ne и нашли режимы, при которых J уменьшается с ростом аксиальной квадрупольной деформации β , в отличие от ожидаемой тенденции к росту [1]. Исследование основано на квадрупольных расчетах [2, 3] с использованием трех подходов для J (Инглиса-Беляева, Таулеса-Валатина, адиабатического, зависящего от времени Хартри-Фока) и набора сил Скирма (SVbas, SkM* и SLy6). Расчеты охватывают широкий диапазон деформаций $0 < \beta < 1.2$. Аномальный режим с $dJ/d\beta < 0$ начинается примерно при $\beta = 0.5$ для ^{24}Mg и $\beta = 0.7$ для ^{20}Ne , где спаривание уже нарушается. Необычный тренд J объясняется эффектом оболочечной структуры: специфической эволюцией нескольких доминирующих конфигураций частица-дырка с β . Анализ экспериментальных данных для вращательных полос основного состояния в ^{24}Mg и ^{20}Ne [4] показывает, что такой аномальный эффект действительно может иметь место при низких спинах.

Список литературы

- [1] P. Ring and P. Schuck, The Nuclear Many-Body Problem (Springer-Verlag, Berlin, 1980).
[2] P.-G. Reinhard, B. Schuetrumpf, and J. A. Maruhn, Comput. Phys. Commun. 258, 107603 (2021).
[3] A. Repko, J. Kvasil and V.O. Nesterenko, Phys. Rev. C 99, 044307 (2019).
[4] Database <http://www.nndc.bl.gov>

BEHAVIOR OF MOMENT OF INERTIA IN HIGHLY DEFORMED ^{24}Mg AND ^{20}Ne

М. А. Мардыбан¹, В. О. Нестеренко^{1,2}, П.-Г. Рейнхард³, А. Репко⁴, Я. Квасил⁵

¹Laboratory of Theoretical Physics Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6,
141980 Dubna, Moscow Region, Russia

² Dubna State University, Dubna, Moscow Region 141982, Russia

³ Institut für Theoretische Physik II, Universität Erlangen, D-91058, Erlangen, Germany

⁴ Institute of Physics, Slovak Academy of Sciences, 84511 Bratislava, Slovakia

⁵ IPNP, Charles University, Praha, Czech Republic
post@jinr.ru, +7 (496) 216-51-46

We investigate the deformation dependence of the moment of inertia J for light nuclei ^{24}Mg and ^{20}Ne and find regimes where J decreases with increasing the axial quadrupole deformation β , at variance with the generally expected increasing trend [1]. The study is based on quadrupole constrained calculations [2, 3] using three cranking approaches for J (Inglis-Belyaev, Thouless-Valatin, adiabatic time-dependent Hartree-Fock) and set of Skyrme forces (SVbas, SkM* and SLy6). The calculations cover a wide deformation range $0 < \beta < 1.2$. The anomalous regime with $dJ/d\beta < 0$ starts at about $\beta = 0.5$ for ^{24}Mg and $\beta = 0.7$ for ^{20}Ne , where the pairing already breaks down. The unusual trend of J is explained by a shell structure effect: specific evolution of few dominant particle-hole configurations with β . The analysis of experimental data for the ground-state rotational bands in ^{24}Mg and ^{20}Ne [4] shows that such anomalous effect indeed can take place at low spins.

References

- [1] P. Ring and P. Schuck, The Nuclear Many-Body Problem (Springer-Verlag, Berlin, 1980).
- [2] P.-G. Reinhard, B. Schuetrumpf, and J. A. Maruhn, Comput. Phys. Commun. 258, 107603 (2021).
- [3] A. Repko, J. Kvasil and V. O. Nesterenko, Phys. Rev. C 99, 044307 (2019).
- [4] Database <http://www.nndc.bnl.gov>.

ОПТИМАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ НА СКОРОСТЬ ЭВОЛЮЦИИ ПОДПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ В СЛУЧАЕ ПОТЕНЦИАЛА, ЗАВИСЯЩЕГО ОТ ВРЕМЕНИ

А. К. Мотовилов

Лаборатория теоретической физики, 141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
Тел.: +7 (496) 216-3355; факс: +7 (496) 216-5084;
e-mail: motovilv@theor.jinr.ru

Под квантовым ограничением скорости обычно понимают нижнюю оценку на время, необходимое для перехода квантовой системы из одного ее состояния в другое. Наиболее известной оценкой такого рода является неравенство Мандельштама-Тамма, связывающее наименьшее возможное время, необходимое для перехода, с дисперсией энергии системы в исходном состоянии. В противоположность классическому неравенству Мандельштама-Тамма мы следим за шрёдингеровской эволюцией не отдельного состояния, а целого подпространства состояний, возможно, бесконечномерного. Используя понятие максимального угла между подпространствами, мы устанавливаем оптимальные оценки на скорость эволюции такого подпространства. В нашем настоящем исследовании результаты, установленные в [1] для времянезависимых операторов Шрёдингера, обобщаются на случай эволюции подпространства, порождаемой (возможно, неограниченным) гамильтонианом с потенциалом, зависящим от времени.

Список литературы

1. Albeverio S., Motovilov A.K. Optimal bounds on the speed of subspace evolution // J. Phys. A: Math. Theor. 2022. V. 55. Paper No. 235203 (17 pp.); DOI: 10.1088/1751-8121/ac6bcf.

OPTIMAL BOUNDS ON THE EVOLUTION SPEED OF A STATE SUBSPACE IN THE CASE OF POTENTIAL DEPENDING ON TIME

A. K. Motovilov

Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
Phone: +7 (496) 216-3355; fax: +7 (496) 216-5084; e-mail: motovilv@theor.jinr.ru

By a quantum speed limit one usually calls a lower bound on the time that is needed for a quantum system to evolve from a given state to a target state. The most known quantum speed limit is given in the form of the celebrated Mandelstam-Tamm inequality that bounds the minimal passage time of a state in terms of its energy dispersion. In contrast to the basic Mandelstam-Tamm inequality, we are concerned not with a single state but with a (possibly infinite-dimensional) subspace which is subject to the Schroedinger evolution. By using the concept of maximal angle between subspaces we derive optimal bounds on the speed of such a subspace evolution. Our present study extends the results obtained in [1] for time-independent Schroedinger operators to the case of subspace evolution governed by a (possibly unbounded) Hamiltonian including a time-dependent potential.

References

1. Albeverio S., Motovilov A.K. Optimal bounds on the speed of subspace evolution // J. Phys. A: Math. Theor. 2022. V. 55. Paper No. 235203 (17 pp.); DOI: 10.1088/1751-8121/ac6bcf.

ПРЯМОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НЕЙТРОН – ЭЛЕКТРОННОЙ ЭНЕРГИИ СВЯЗИ ОТ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ НУКЛОНАМИ

В. Г. Плеханов

Fonoriton Sci. Lab., Garon Ltd., Tallinn, 11413, Estonia; vgplekhanov@gmail.com

Хорошо всем известный коэффициент – энергия связи протона с электроном (13,6 эВ) содержится в любой книге по атомной физике. Являющаяся второй частицей в ядре атома – нейтрон, свойства которого изучены не так полно как у протона. Демонстрацией сказанного служит отсутствие знания о нейтрон – электронной энергии связи [1]. Добавим, что оценку радиуса действия ядерных сил получают из рассеяния 10 МэВ нейтронов на протонах. Настоящий доклад посвящён результатам неускорительного изучения сильного ядерного дальнего действия в массовом изотопическом эффекте современным методом низкотемпературной оптической спектроскопии конденсированного состояния. Это стало возможным после открытия, что добавление одного нейтрона вызывает глобальное изменение макроскопических характеристик твёрдого тела. Наблюдение изотопического сдвига (0,103 эВ) бесфононной линии свободных экситонов в спектрах люминесценции кристаллов LiH (без сильного взаимодействия в ядре водорода) и LiD (с сильным взаимодействием в ядре дейтерия) явилось первым и прямым доказательством дальнего действия потенциала Юкавы. Действительно, в обоих кристаллах ионы лития, протон и электрон одни и те же и, следовательно, гравитационное, электромагнитное и слабое взаимодействие у них одни и те же, а добавление нейтрона, согласно Юкаве появляется сильное взаимодействие, влияние которого и проявляется в изотопическом сдвиге. Эти экспериментальные результаты продемонстрировали нейтрон – электронную энергию связи (0,105 эВ) которая прекрасно согласуется с теоретическими оценками Брейта [2], равной 0,1067 эВ. Было найдено, что максимальное значение константы сильного дальнего действия в ядре дейтерия равно 2,4680. Ещё один яркий эффект новой физики связан с изотопическим созданием массы у безмассовых фермионов (лептонов) в графене [3]. Этот механизм создания массы был предсказан более 15 лет назад Б. Л. Иоффе [4] для низкоэнергетических элементарных возбуждений, не требующих огромных энергий возбуждения современных ускорителей.

Список литературы

1. Ю. А. Александров, Фундаментальные свойства нейтрона, Энергоиздат, Москва, 1982.
2. G. Breit, Rev. Mod. Phys. **30**, 507 (1958).
3. V.G. Plekhanov, in, Progress in Chem. Sci. Research (in press).
4. Б.Л. Иоффе, УФН **176**, 1103 (2006).

DIRECT OBSERVATION OF THE DEPENDENCE OF THE NEUTRON - ELECTRON BINDING ENERGY ON THE DISTANCE BETWEEN NUCLEONS

V. G. Plekhanov

Fonoriton Sci. Lab., Garon Ltd., Tallinn 11413, Estonia; vgplekhanov@gmail.com

The well-known coefficient - the binding energy of a proton with an electron (13.6 eV) is contained in any book on atomic physics. Being the second particle in the nucleus of an atom, the

neutron, whose properties have not been studied as fully as that of the proton. The demonstration of what has been said is the lack of knowledge about the neutron-electron binding energy [1]. We add that the estimate of the radius of action of nuclear forces is obtained from the scattering of 10 MeV neutrons by protons. This report is devoted to the results of non-accelerator study of strong nuclear long-range interaction in the mass isotope effect by the modern method of low-temperature optical spectroscopy of condensed matter. This became possible after the discovery that the addition of one neutron causes global changes in the macroscopic characteristics of a solid. The observation of an isotopic shift (0.103 eV) of the zero-phonon line of free excitons in the luminescence spectra of LiH (without strong interaction in the hydrogen nucleus) and LiD (with strong interaction in the deuterium nucleus) crystals was the first and direct evidence of the long-range interaction of the Yukawa potential. Indeed, in both crystals, the lithium ions, the proton and the electron are the same and, therefore, the gravitational, electromagnetic and weak interactions are the same, and the addition of a neutron, according to Yukawa, a strong interaction appears, the influence of which manifests itself in the isotopic shift. These experimental results demonstrate the neutron-electron binding energy (0.105 eV) which is in excellent agreement with the theoretical Breit [2] estimate of 0.1067 eV. It was found that the maximum value of the strong long-range coupling constant in the deuterium nucleus is 2.4680. Another bright effect of the new physics is associated with the isotopic creation of mass by massless fermions (leptons) in graphene [3]. This mass creation mechanism was predicted more than 15 years ago by B.L. Ioffe [4] for low-energy elementary excitations that do not require huge excitation energies of modern accelerators.

References

1. Yu. A. Aleksandrov, Fundamental Properties of Neutron, Energoisdat, Moscow, 1982.
2. G. Breit, Rev. Mod. Phys. **30**, 507 (1958).
3. V. G. Plekhanov, in, Progress in Chem. Sci. Research (in press).
4. B. L. Ioffe, UFN – Phys., Moscow **176**, 1103 (2006).

ПРИМЕНЕНИЕ АБ ИНИТИО ПОДХОДОВ К РАСЧЕТУ ПАРЦИАЛЬНЫХ ШИРИН РАСПАДА РЕЗОНАНСНЫХ СОСТОЯНИЙ ЛЕГКИХ ЯДЕР И СЕЧЕНИЙ РЕЗОНАНСНЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Д. М. Родкин^{1,2}, Ю. М. Чувильский^{1,2}

¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИЯФ МГУ
Тел.: +7 495 939-18-18, Факс: +7 495 932-08-96

² Научно-исследовательский институт автоматики имени Н. Л. Духова, 127055,
Москва, Россия

В современной теоретической ядерной физике все большее место занимают высокоточные микроскопические подходы, в частности *ab initio* (из первопринципов) методы описания атомных ядер. Эти подходы основаны на применении реалистических NN-потенциалов. Важное место среди *ab initio* методов занимают различные версии оболочечной модели ядра безинертного кора (NCSM). В этой модели можно довольно точно рассчитать волновые функции основных и резонансных состояний легких ядер, как стабильных, так и нестабильных. Однако NCSM не может непосредственно применяться для расчета асимптотических нормировочных коэффициентов (ANC) закрытых и ширин открытых каналов распада ядер. Авторами был разработан метод ортогонализованных функций кластерных каналов (CCOFM), предназначенный для расчета асимптотических характеристик виртуального и реального распада ядер. Данный подход с успехом применялся для расчета распадных характеристик большого количества как связанных, так и резонансных состояний, в том числе высоковозбужденных состояний ядер ⁵He, ⁷Li, ⁷He, ⁸Be, ¹⁰Be и ¹⁰Li. Естественным

продолжением этой линии исследований является представленный в докладе новый подход к анализу полных и дифференциальных сечений ядерных реакций. В рамках данного подхода был проведен теоретический расчет функции возбуждения реакции $p(^7\text{Li}, ^4\text{He})^4\text{He}$ в резонансной области энергий. Данная реакция характеризуется вкладом в сечение большого количества перекрывающихся резонансов, что делает его непосредственное фитирование без применения теоретических данных достаточно произвольной процедурой. Результаты теоретического расчета показывают вполне удовлетворительное соответствие теоретического расчета экспериментальным данным даже без дополнительного фитирования. В итоге подтверждена применимость разработанного подхода для использования в расчетах сечений ядерных реакций. Как следствие, данный метод можно рассматривать как один из немногих надежно обоснованных микроскопических подходов, объединяющих теорию атомного ядра и теорию ядерных реакций.

APPLICATION OF AB INITIO APPROACHES TO THE CALCULATION OF PARTIAL DECAY WIDTHS OF RESONANT STATES OF LIGHT NUCLEI AND CROSS SECTIONS OF RESONANT NUCLEAR REACTIONS

D. M. Rodkin^{1,2}, Yu. M. Tchuvil'sky^{1,2}

¹Dukhov Research Institute for Automatics, 127055, Moscow, Russia;

² Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
1(2) Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia,
Tel.: +7 495 939-18-18, fax: +7 495 932-08-96

Nowadays, in theoretical nuclear physics, high-precision microscopic approaches, in particular, ab initio methods for describing atomic nuclei, occupy a prominent place. Ab initio approaches are based on the application of realistic NN-potentials. An important place among ab initio methods is occupied by various versions of the no-core shell model (NCSM). Using this model one can accurately calculate the A-nucleon wave functions of the ground and resonance states of light nuclei, both stable and unstable. However, NCSM cannot be directly applied for calculation of the asymptotic normalization coefficients (ANC) of closed and partial decay widths of open decay channels. The authors have developed cluster channel orthogonalized functions method (CCOFM) – designed to calculate the asymptotic characteristics of virtual and real nuclear decay channels. This approach has been successfully used for obtaining the decay characteristics of a large number of both bound and resonance states, including highly excited states of ^5He , ^7Li , ^7He , ^8Be , ^{10}Be , and ^{10}Li nuclei.

A natural continuation of this research is the development of the new approach for the analysis of nuclear reactions total and differential cross sections presented in this report. Within the framework of this approach, a theoretical calculation of the excitation function of the $p(^7\text{Li}, ^4\text{He})^4\text{He}$ reaction in the resonant energy region was carried out. This reaction is characterized by the influence of a large number of overlapping resonances, which makes its direct fitting without the use of theoretical data a rather arbitrary procedure. The results of the theoretical calculation show quite satisfactory agreement between the theoretical calculation and the experimental data even without additional fitting. As a result, the applicability of the developed approach for use in calculations of cross sections for nuclear reactions was confirmed. As a consequence, this method can be considered as one of the few well-founded microscopic approaches that combine the theory of the atomic nucleus and the theory of nuclear reactions.

УЧЕТ НЕНУКЛЕОННЫХ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ В ЯДЕРНОЙ МАТЕРИИ

О. А. Рубцова, В. Н. Померанцев

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобелевца
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИЯФ МГУ
Тел.: +7 495 939-18-18, Факс: +7 495 932-08-96
E-mail: rubtsova@nucl-th.sinp.msu.ru

Предлагается новый формализм для эффективного учета ненуклонных степеней свободы при расчетах в бесконечной ядерной материи. Этот формализм основан на дибарионной модели нуклон-нуклонного (NN) взаимодействия [1], учитывающей образование промежуточного шестикваркового (дибарионного) состояния в каждой парциально-угловой NN-конфигурации. Такой механизм приводит к зависящему от энергии эффективному взаимодействию нуклонов, отражающему связь с внутренним ненуклонным каналом. Для расчетов в ядерной материи удобно рассматривать такой внутренний канал явно. Здесь разработан специальный двухканальный подход, представляющий собой обобщение техники волновых пакетов, развитой ранее авторами для описания процессов в ядерной материи с учетом стандартных мезон-обменных NN-взаимодействий [2, 3].

На основе развитого подхода будет получено уравнение состояния симметричной ядерной материи при наличии дополнительного дибарионного канала, а также сверхтекучие щели. Ранее было показано, что высокоимпульсные компоненты NN-взаимодействия в дибарионной модели отличаются от предсказываемых стандартными мезон-обменными моделями. Поэтому такая модель должна приводить и к отличным короткодействующим корреляциям нуклонов в ядерной среде. Также будут вычислены сверхтекучие щели в NN-каналах ${}^3\text{D}_2$ и ${}^3\text{P}_F_2$, дающие важные вклады в эффект спаривания при высокой плотности среды в симметричной ядерной материи и нейтронной материи соответственно.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-22-00072).

Список литературы

1. V. I. Kukulin et al. // Chinese Physics C. 2022. V. 46. 114106.
2. H. Mütter, O. A. Rubtsova, V. I. Kukulin, V. N. Pomerantsev // Phys. Rev. C. 2016. V. 94. 024328.
3. O. A. Rubtsova, V.I. Kukulin, V.N. Pomerantsev // Phys. Rev. C. 2021. V.103. 014307.

ACCOUNT OF NON-NUCLEONIC DEGREES OF FREEDOM IN NUCLEAR MATTER

O. A. Rubtsova, V. N. Pomerantsev

Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
1(2) Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia,
Tel.: +7 495 939-18-18, fax: +7 495 932-08-96
E-mail: rubtsova@nucl-th.sinp.msu.ru

We introduce a new formalism for nuclear matter calculations which allows to consider effectively non-nucleonic degrees of freedom. Here the dibaryon model for the bare nucleon-nucleon (NN) interaction is employed [1]. This model takes into account a formation of the intermediate six-quark (dibaryon) state in each partial NN-configuration. The respective mechanism leads to an energy-dependent term in the interaction which reflects the coupling with the internal non-nucleonic channel. In nuclear matter calculations, it is convenient to consider the above dibaryon internal channel explicitly. A special two-channel formalism is developed for such type interaction. For this purpose, we generalize the wave-packet approach which has been shown to be efficient in practical nuclear matter calculations with the conventional meson-exchange NN potentials [2, 3].

Within the developed formalism we calculate the equation of state for symmetric nuclear matter and also the pairing gaps with account of the coupling with the internal dibaryon channel. The NN interaction of the dibaryon model is shown to have high-momentum components which differ from those for the meson-exchange NN potentials. So that, one can expect different contributions of short-range NN correlations in nuclear matter as well. A special attention will be paid to the pairing gaps in the channels $^3D_2$ and $^3PF_2$ which give visible contributions to pairing at high density in symmetric nuclear matter and neutron matter correspondingly.

This work was supported by the Russian Science Foundation grant no. 23-22-00072.

References

1. V. I. Kukulin et al. // Chinese Physics C. 2022. V. 46. 114106.
2. H. Mütter, O. A. Rubtsova, V. I. Kukulin, V. N. Pomerantsev // Phys. Rev. C. 2016. V. 94. 024328.
3. O. A. Rubtsova, V. I. Kukulin, V. N. Pomerantsev // Phys. Rev. C. 2021. V.103. 014307.

ИНДУЦИРОВАНИЕ МУЛЬТИПОЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ В ЯДРАХ ЗАКРУЧЕННЫМИ ФОТОНАМИ

А. А. Соколов, П. О. Казинский

Томский государственный университет, г. Томск, Россия
E-mail: Alexei.Sokolov.A@gmail.com

Последнее время широко распространяются методы изучения структуры микросистем с помощью частиц с негауссовым профилем волновых функций [1]. Примером последних являются закрученные фотоны [2, 3], электроны и нейтроны [4–6] – частицы с определённой проекцией полного углового момента на выделенную ось. В процессе рассеяния таких частиц проявляются ранее неизвестные квантовые эффекты, которые используются для получения новой информации о системе.

В работе рассматривается процесс неупругого рассеяния закрученных фотонов на свободных атомных ядрах. Начальное состояние центра масс ядра задаётся гауссовым волновым пакетом. Основным методом вычисления инклюзивной вероятности фотопоглощения является стандартный S-матричный формализм и теория возмущений по постоянной тонкой структуры. В длинноволновом приближении получено выражение для вероятности фотопоглощения в виде ряда по приведённым матричным элементам мультипольных операторов. Показано, что основной вклад в фотопоглощение ядром закрученного фотона с проекцией полного углового момента m дают переходы типа $E|m|$.

Результаты исследования могут быть использованы для получения и изучения гигантских резонансов большой мультипольности.

Список литературы

1. P. O. Kazinski, T. V. Solovyev, arXiv:2303.02821v2 [hep-th]
2. O. V. Bogdanov, P. O. Kazinski, G. Yu. Lazarenko, Phys. Rev. A 97, 033837 (2018).
3. O. B. Bogdanov, P. O. Kazinski, G. Yu. Lazarenko, Phys. Rev. A 100, 043836 (2019).
4. A. V. Afanasev, D. V. Karlovets, V. G. Serbo, Phys. Rev. C 103, 054612 (2021).
5. A. V. Afanasev, D. V. Karlovets, V. G. Serbo, Phys. Rev. C 100, 051601 (2019).
6. A. V. Afanasev, V. G. Serbo, M. Solyanik, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 45, 055102 (2018).

EXCITATION OF MULTIPOLAR TRANSITIONS IN NUCLEI BY TWISTED PHOTONS

A. A. Sokolov, P. O. Kazinski

Tomsk State University, Tomsk, Russia
E-mail: Alexei.Sokolov.A@gmail.com

Recently, methods for studying the structure of microsystems using particles with non-Gaussian wave function profiles have become widespread [1]. Examples of such particles include twisted photons [2,3], electrons, and neutrons [4-6] – particles with a definite projection of the total angular momentum onto a distinguished axis. Previously unknown quantum effects are manifested in the process of scattering of such particles and are used to obtain new information about the system.

This work considers the process of inelastic scattering of twisted photons on free atomic nuclei. The initial state of the nucleus's center of mass is defined by a Gaussian wave packet. The main method for calculating the inclusive probability of nucleus photoexcitation is the standard S-matrix formalism and perturbation theory with respect to the fine structure constant. In the long wavelength approximation, an expression for the probability of photoexcitation of a nucleus is obtained in the form of a series of reduced matrix elements of multipole operators. It is shown that the main contribution to nucleus photoexcitation by a twisted photon with projection of the total angular momentum m comes from $E|m|$ transitions.

The results of the study can be used to generate and to study giant resonances of high multipolarity.

References

1. P. O. Kazinski, T. V. Solovyev, arXiv:2303.02821v2 [hep-th]
2. O. V. Bogdanov, P. O. Kazinski, G. Yu. Lazarenko, Phys. Rev. A 97, 033837 (2018).
3. O. B. Bogdanov, P. O. Kazinski, G. Yu. Lazarenko, Phys. Rev. A 100, 043836 (2019).
4. A. V. Afanasev, D. V. Karlovets, V. G. Serbo, Phys. Rev. C 103, 054612 (2021).
5. A. V. Afanasev, D. V. Karlovets, V. G. Serbo, Phys. Rev. C 100, 051601 (2019).
6. A. V. Afanasev, V. G. Serbo, M. Solyanik, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 45, 055102 (2018).

ГЕНЕРАЦИЯ МАССОВЫХ ТАБЛИЦ НА ОСНОВЕ РАЗНОСТНЫХ СООТНОШЕНИЙ ЭНЕРГИЙ СВЯЗИ ЯДЕР

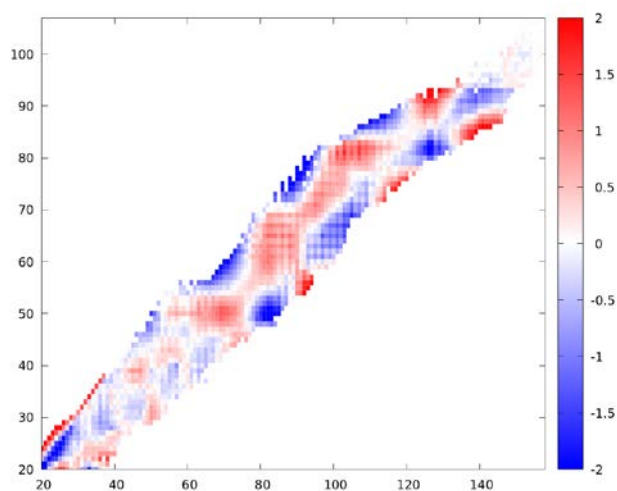
К. А. Стопани¹, Т. Ю. Третьякова^{1,2}, А. П. Ивлева², Д. Ф. Байрамов²

¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИЯФ МГУ
Тел.: +7 495 939-18-18, Факс: +7 495 932-08-96

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Физический факультет,
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2,
+7 (495) 939-31-60
E-mail: kstopani@sinp.msu.ru

Простые арифметические разностные соотношения энергий связи и масс ядер давно используются в ядерной физике для предсказания неизвестных масс ядер, исследования различных типов нуклонных корреляций, анализа экспериментальных данных и т. д. К наиболее известным соотношениям этого типа относятся массовые соотношения Гарви-Келсона GKL и GKT [1], а также соотношения, полученные путем их модификации [2]. На плоскости NZ-диаграммы атомных ядер разностные соотношения рассматриваемого типа задают разностные уравнения, которые в зависимости от вида разностных соотношений могут являться однородными или неоднородными. Решения этих уравнений определяют массовые таблицы,

соответствующие данному разностному соотношению. При этом уравнение решается аналогично дифференциальным уравнениям в частных производных, а в качестве граничных условий используются данные об экспериментально измеренных значениях масс ядер. Рассмотрены семейства разностных соотношений размерностью по N и Z , соответственно, 2×2 , 3×3 и 4×4 с различными значениями коэффициентов. В каждом семействе определены оптимальные разностные соотношения для ядер с четным и нечетным количеством протонов и нейтронов. Некоторые из полученных оптимальных разностных соотношений совпали с уже известными, но в остальных случаях были найдены ранее не упоминавшиеся соотношения. Рассмотренные разностные соотношения использованы для генерации массовых таблиц и вычисления среднеквадратичного отклонения предсказанных масс от значений экспериментальной базы данных AME2020.



Отклонение в МэВ значений масс ядер, рассчитанных на основе разностного соотношения $\Delta_{\text{пр}}$, от данных AME2020.

Список литературы

- [1] G. T. Garvey et al., Rev. Mod. Phys. 41, S1 (1969).
- [2] Z. He, M. Bao, Y. M. Zhao, A. Arima, Phys. Rev. C 90, 054320 (2014).
- [3] E. V. Vladimirova et al. Int. J. Mod. Phys. E 30, 2150025 (2021).

CALCULATION OF MASS TABLES BASED ON DIFFERENCE RELATIONS OF NUCLEAR BINDING ENERGIES

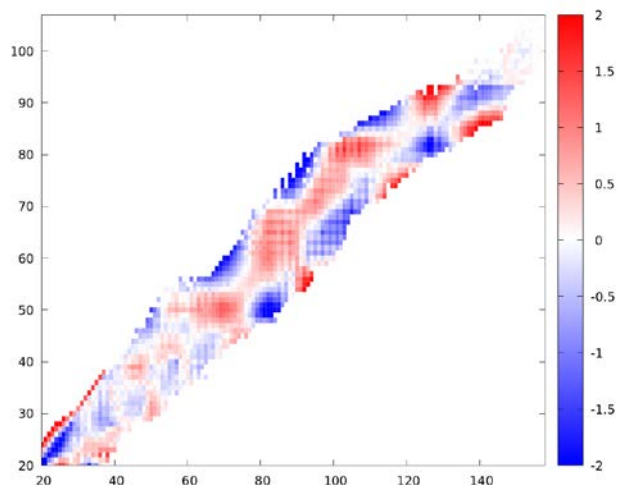
K. A. Stopani¹, T. Yu. Tretyakova^{1,2}, A. P. Ivleva², D. F. Bayramov²

¹ Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
1(2) Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia,
Tel.: +7 495 939-18-18, fax: +7 495 932-08-96

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, 19991, GSP-1, Moscow, Leninskie gory,
1(2), Phone: +7(495)939-31-60, Fax: +7(495)932-88-20
E-mail: kstopani@sinp.msu.ru

Simple arithmetic difference relations of nuclear binding energies and masses are used for a long time in nuclear physics for prediction of unknown nuclear masses, exploration of different kinds of nucleon correlations, analysis of experimental data and so on. The most well-known relations of this type include the Garvey-Kelson relations GKL and GKT [1], as well as the relations obtained by their modification [2]. On the NZ plane the difference relations of the considered type define the corresponding difference equations, which, depending on the form of the underlying difference relations, can be homogeneous or inhomogeneous. The solutions of these equations determine the

mass tables corresponding to a given difference relation. For this the equation is solved similarly to partial differential equations, and the boundary conditions are provided from the experimentally measured masses of nuclei. The families of difference relations with the dimensions along N and Z axes, respectively, 2×2 , 3×3 , and 4×4 with different values of the coefficients are considered. In each family the optimal difference relations for nuclei with even and odd number of nucleons are deduced. Some of the obtained optimal difference relations were identical to the already known types, while the remaining optimal relations have not been studied previously. The considered difference relations were used for computation of the nuclear mass tables and calculation of the RMS deviation of the predicted masses from the values contained in the AME2020 experimental database.



Deviation (in MeV units) of the nuclear masses calculated using the Δ_{np} difference relation from the AME2020 data.

References

- [1] G. T. Garvey et al., Rev. Mod. Phys. 41, S1 (1969).
- [2] Z. He, M. Bao, Y. M. Zhao, A. Arima, Phys. Rev. C 90, 054320 (2014).
- [3] E. V. Vladimirova et al. Int. J. Mod. Phys. E 30, 2150025 (2021).

ВЫСОКОВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ НЕЙТРОННО-ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗОТОПОВ ЛЕГКИХ ЯДЕР

Ю. Б. Гуров^{1,2}, В. Г. Сандуковский², М. В. Телькушев¹, Б. А. Чернышев¹

- ¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 115409 Россия, Москва, Каширское шоссе, 31г, тел. +7 495 788 56 99, факс +7 495 324 21 11
- ² 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
e-mail chernyshev@mephi.ru

Образование высоковозбужденных состояний ($E_x > 8$ МэВ) нейтронно-избыточных изотопов гелия и лития исследовалось в реакциях поглощения остановившихся пионов ядрами ^9Be , $^{10,11}\text{B}$ и $^{12,14}\text{C}$. Измерения были выполнены с помощью двухплечевого многослойного полупроводникового спектрометра. Поиск состояний исследуемых изотопов ^nHe ($6 \leq n \leq 9$) и ^nLi ($8 \leq n \leq 11$) проводился в спектрах недостающих масс, полученных в инклюзивных и корреляционных измерениях. Исследованная область энергий возбуждений простиралась до 40 МэВ. Для большинства ядер результаты были получены сразу в нескольких каналах реакции. Обнаружены кандидаты на кластерные резонансы и изобар-аналоговые состояния.

HIGH-EXCITED STATES OF NEUTRON-RICH ISOTOPES OF LIGHT NUCLEI

Yu. B. Gurov^{1,2}, V. G. Sandukovsky², M. V. Tel'kushev¹, B. A. Chernyshev¹

¹ National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute),
115409 Russia, Moscow, Kashirskoe sch., 31r, tel. +7 495 788 56 99, fax +7 495 324 21 11

² Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
e-mail chernyshev@mephi.ru

The formation of high-excited states ($E_x > 8$ MeV) of neutron-rich isotopes of helium and lithium was studied in the absorption reactions of stopped pions by nuclei ^9Be , $^{10,11}\text{B}$ and $^{12,14}\text{C}$. The measurements were performed using a two-arm multilayer semiconductor spectrometer. The search for the states of the studied isotopes ^nHe ($6 \leq n \leq 9$) и ^nLi ($8 \leq n \leq 11$) was carried out in the spectra of the missing masses obtained in inclusive and correlation measurements. The studied range of excitation energies extended up to 40 MeV. For most nuclei, the results were obtained in several reaction channels at once. Candidates for cluster resonances and isobar-analog states have been observed.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В РАСЧЕТАХ АВ ИНИТIO СВОЙСТВ ЯДЕР

Р. Э. Шарыпов², А. М. Широков¹, А. И. Мазур², А. О. Белозёров², И. Дж. Шин³

¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991 ГСП-1 Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИЯФ МГУ
Тел.: +7 495 939-18-18, Факс: +7 495 932-08-96

²Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия; ³Institute for Basic Sciences,
Daejeon, Republic of Korea
E-mail: shirokov@nucl-th.sinp.msu.ru

Исследованы возможности использования методов машинного обучения, а именно искусственных нейронных сетей (ИНС), для экстраполяции результатов расчетов, полученных в рамках модели оболочек безинертного кора (no-core shell model [1]) на бесконечный базис. Представлены результаты экстраполяции энергии основного состояния и среднеквадратичного радиуса распределения заряда для различных ядер: ^2H , ^4He , ^6Li , ^6Be , полученных при использовании различных реалистических NN-потенциалов. Выполнена оценка погрешности экстраполяции путем создания ансамбля ИНС. Показано, что использование более сложной топологии ИНС (по сравнению с работой [2]) позволяет получать более стабильные предсказания при изменении гиперпараметров. В частности, проведено исследование зависимости получаемых предсказаний при изменении масштабирования и предварительного отбора входных данных.

Список литературы

1. B. R. Barrett, P. Navratil and J. P. Vary // Prog. Part. Nucl. Phys. 2013. Vol. 69. P. 131.
2. G. A. Negoita et al. // Phys. Rev. C. 2019. Vol. 99. P. 054308.

MACHINE LEARNING FOR AB INITIO CALCULATIONS OF NUCLEAR STRUCTURE

A. M. Shirokov¹, A. I. Mazur², R. E. Sharypov², A. O. Belozarov², I. J. Shin³

¹ Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
1(2) Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia,
Tel.: +7 495 939-18-18, fax: +7 495 932-08-96;

²Pacific National University, Khabarovsk, Russia; ³Institute for Basic Sciences, Daejeon,
Republic of Korea
E-mail: shirokov@nucl-th.sinp.msu.ru

We explore possibilities of using machine learning and artificial neural networks (ANN) for extrapolating the ab initio calculation results obtained by means of the no-core shell model [1] to the case of infinite basis. We present extrapolations of the ${}^2\text{H}$, ${}^4\text{He}$, ${}^6\text{Li}$, and ${}^6\text{Be}$ ground state energies and rms charge radii obtained using various realistic NN interactions. A set of ANNs is created to evaluate the extrapolation uncertainty. We demonstrate that the stability of predictions is improved and less affected by the changes of the machine learning hyperparameters if a more complicated ANN topology as compared to those of Ref. [2] is used. In particular, we present a study of the dependence of the extrapolated results on the input data selection and scaling.

References

1. B. R. Barrett, P. Navratil and J. P. Vary // Prog. Part. Nucl. Phys. 2013. Vol. 69. P. 131.
2. G. A. Negoita et al. // Phys. Rev. C. 2019. Vol. 99. P. 054308.

САМОСОГЛАСОВАННЫЕ РАСЧЕТЫ E1 ПЕРЕХОДОВ ИЗ ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ В ДВУХ-ФОНОННОЕ В ИЗОТОПАХ ОЛОВА

М. И. Шитов¹, С. П. Камерджиев¹, С. В. Толоконников¹, В. И. Целяев²

¹Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Контактная информация: Шитов Михаил Игоревич

Тел. +7(985) 146 62 84

Email: schitov.mih@mail.ru

В рамках самосогласованной Теории Конечных Ферми-Систем [1] впервые рассмотрены E1-переходы из основного состояния в двух-фононное в ядрах со спариванием. В отличие от подобной задачи, изученной в Квазичастично-Фононной Модели [2], наши расчеты выполнялись с одними и теми же параметрами энергетического функционала плотности Фаянса как для характеристик обоих фононов, так и для величин $B(E1, 0 \rightarrow [2_1^+ \otimes 3_1^-]_1^-)$. Используемая физическая схема близка к той, которая реализована нами для E1-переходов между указанными однофононными состояниями [3, 4]. Она существенно отличается от двух-фононной модели, рассмотренной в [5].

Получено удовлетворительное согласие со всеми имеющимися экспериментальными данными для ядер ${}^{112-124}\text{Sn}$, как для характеристик отдельных фононов, так и для указанных величин $B(E1)$. Показано, что наблюдаемые величины $B(E1)$ определяются численной разностью двух количественно больших эффектов –поляризуемостью ядра и корреляциями в основном состоянии.

В качестве возможной причины небольшого расхождения с экспериментом для величин $B(E1)$ обсуждается неточный учет «духового» 1^- - состояния.

Список литературы

- [1] V. A. Khodel, E. E. Saperstein, Phys. Rep. **92**, 183 (1982).
- [2] J. Bryssinck et al., Phys. Rev. C **59**, 1930 (1999).
- [3] М. И. Шитов, Д. А. Войтенков, С. П. Камерджиев, С. В. Толоконников, Ядерная физика **85**, 45 (2022).
- [4] М. И. Шитов, С. П. Камерджиев, С. В. Толоконников, Письма в ЖЕТФ **117**, 3 (2023).
- [5] E. Litvinova, P. Ring, V. Tselyaev, Phys. Rev. C **78**, 014312 (2008).

SELF-CONSISTENT CALCULATIONS OF THE PROBABILITIES OF E1 TRANSITIONS FROM THE GROUND STATE TO THE TWO-PHONON STATE IN TIN ISOTOPES

M. I. Shitov¹, S. P. Kamerdzhev¹, S. V. Tolokonnikov¹, V. I. Tselyaev²

¹National research center «Kurchatov institute», Moscow, Russia

²Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Email: schitov.mih@mail.ru

Within the framework of the self-consistent Theory of Finite Fermi Systems [1], E1 transitions from the ground state to the two-phonon state in nuclei with pairing are considered for the first time. In contrast to a similar problem studied in the Quasiparticle-Phonon Model [2], our calculations were performed with the same parameters of Fayans energy functional density for the characteristics of both phonons and the values $B(E1, 0 \rightarrow [2_1^+ \otimes 3_1^-]_{1-})$. The physical scheme used is close to that implemented by us for E1 transitions between one-phonon states [3,4]. It differs significantly from the two-phonon model discussed in [5].

A generally satisfactory agreement was obtained with all available experimental data for nuclei $^{112-124}\text{Sn}$, both for the characteristics of individual phonons and for the values $B(E1)$. It is shown that the observed values of $B(E1)$ are determined by the numerical difference of two quantitatively large effects - the nuclear polarizability and correlations in the ground state.

As a possible reason for a slight discrepancy with the experiment for the values of $B(E1)$, an inaccurate account of the "spirituel" 1^- - state is discussed.

References

- [1] V. A. Khodel, E. E. Saperstein, Phys. Rep. **92**, 183 (1982).
- [2] J. Bryssinck et al., Phys. Rev. C **59**, 1930 (1999).
- [3] M. I. Shitov, D. A. Voitenkov, S. P. Kamerdzhev, S. V. Tolokonnikov, Physics of Atomic Nuclei **85**, 42 (2022).
- [4] M. I. Shitov, S. P. Kamerdzhev, S. V. Tolokonnikov, JETP Letters **1**, 1 (2023).
- [5] E. Litvinova, P. Ring, V. Tselyaev, Phys. Rev. C **78**, 014312 (2008).

ЭФФЕКТ НАВЕДЕННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПРИ РАССЕЯНИИ ЭЛЕКТРОНОВ НА ВОДОРОДЕ

В. А. Градусов, С. Л. Яковлев

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

Электронная почта: v.gradusov@spbu.ru, s.yakovlev@spbu.ru

Рассмотрено рассеяние заряженной частицы на двухчастичной системе-мишени, связанной притягивающим кулоновским взаимодействием. Хотя основной вклад в асимптотику волновой функции и ее компонент вносит асимптотическое кулоновское взаимодействие между двухчастичной мишенью и налетающей частицей, следующие дальнедействующие члены

мультипольного разложения этого взаимодействия играют важную роль в области энергий, в которой открыты каналы возбужденного состояния мишени [1, 2]. В этом сообщении мы получаем явные асимптотические представления для компонент волновой функции, которые учитывают как кулоновское, так и индуцированное дипольное взаимодействие между двухчастичной мишенью и налетающей частицей. Для построения асимптотических решений используется общий метод из [3]. Затем полученная асимптотика предназначена для использования в расчетах рассеяния электронов и позитронов на атомах водорода в области энергий выше порогов возбужденных состояний мишени, где индуцированное дипольное взаимодействие производит специфические эффекты в данных рассеяния [4, 5]. Для описания процесса рассеяния используется система уравнений Фаддеева-Меркурьева [6].

Список литературы

1. M. Gailitis, J. Phys. B: Atom. Mol. Phys. 9, 843 (1976).
2. V. A. Gradusov, S. L. Yakovlev, JETP Letters (2023) to appear.
3. S. L. Yakovlev, Theor. Math. Phys. 203 (2), 664 (2020).
4. V. A. Gradusov et al., J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 52, 055202 (2019).
5. V. A. Gradusov et al., JETP Letters 114, No. 1, 11 (2021).
6. L. D. Faddeev and S. P. Merkuriev, Quantum Scattering Theory for Several Particle Systems, Kluwer, Dordrecht (1993).

EFFECT OF INDUCED POLARIZATION IN SCATTERING OF ELECTRONS ON HYDROGEN

V. A. Gradusov, S. L. Yakovlev

St Petersburg State University, St Petersburg, Russia;
E-mail: v.gradusov@spbu.ru, s.yakovlev@spbu.ru

Scattering of a charged particle with a two-particle target system, which is bound by the attractive Coulomb interaction, is considered. Although, the leading contribution to the asymptotic form of the wave function and its components comes from the asymptotic Coulomb interaction between the two-particle target and the spectator particle, the next long-range terms of the multipole expansion of this interaction plays important role in energy regions where the excited state channels are open [1,2]. In this contribution we derive the explicit asymptotic representations for the wave function components which take into account as the Coulomb as well as the induced dipole interactions between the two-body target and the spectator particle. The general method from [3] is used for constructing asymptotic solutions. The derived asymptotics is then intended for the use in electron and positron scattering off the hydrogen atom calculations in the energy region above the thresholds of excited states of the target where the induced dipole interaction produces specific effects in scattering data [4,5]. The Faddeev-Merkuriev set of equations is used for describing the scattering process [6].

References

1. M. Gailitis, J. Phys. B: Atom. Mol. Phys. 9, 843 (1976).
2. V. A. Gradusov, S. L. Yakovlev, JETP Letters (2023) to appear.
3. S. L. Yakovlev, Theor. Math. Phys. 203 (2), 664 (2020).
4. V. A. Gradusov et al., J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 52, 055202 (2019).
5. V. A. Gradusov et al., JETP Letters 114, No. 1, 11 (2021).
6. L. D. Faddeev and S. P. Merkuriev, Quantum Scattering Theory for Several Particle Systems, Kluwer, Dordrecht (1993).

Секция 2

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ЯДЕРНЫХ
РЕАКЦИЙ**

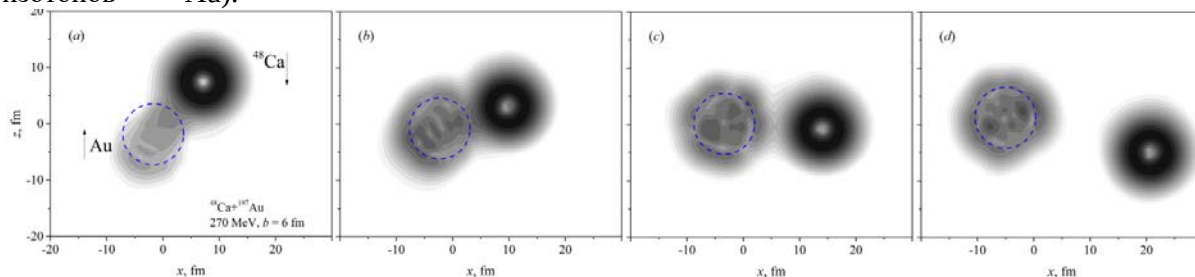
ОПИСАНИЕ НЕЙТРОННЫХ ПЕРЕДАЧ В РЕАКЦИИ $^{48}\text{Ca}+^{197}\text{Au}$ ПРИ ЭНЕРГИИ 270 МэВ В РАМКАХ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПОДХОДА

А. К. Ажибеков

141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
E-mail: azhibekoaidos@gmail.com

Реакции нуклонных передач являются важной областью физики тяжелых ионов, поскольку открывают возможности для синтеза новых ядер. Реакции передачи нейтронов являются одним из методов получения нейтронно-избыточных изотопов [1].

В данной работе представлен теоретический анализ механизма передачи нейтронов для реакции $^{48}\text{Ca}+^{197}\text{Au}$ при энергии 270 МэВ. Для описания процессов передачи нейтронов использовалось численное решение нестационарного уравнения Шредингера [2]. Вычислена эволюция волновых функций нейтронов верхних занятых одночастичных уровней ($1f_{7/2}$ (см. рисунок), $1d_{3/2+}$, $2s_{1/2+}$) ядра ^{48}Ca и ($3p_{3/2}$, $1i_{13/2+}$) уровней ядра ^{197}Au . Определены вероятности заселения изначально незанятых одночастичных нейтронных уровней ядра ^{197}Au (с образованием изотопов $^{198-205}\text{Au}$) и вероятности потери нейтронов ядром ^{197}Au (с образованием изотопов $^{192-196}\text{Au}$).



Эволюция плотности вероятности нейтрона $1f_{7/2}$ -ядра ^{48}Ca при касательном столкновении ядер $^{48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au}$. Энергия 270 МэВ, прицельный параметр $b = 6$ фм. Ход времени соответствует направлению слева направо

Список литературы

- [1] Nucleosynthesis in multinucleon transfer reactions / S. Heinz, H. M. Devaraja // Eur. Phys. J. A, Vol. 58. – 2022. – Art. 114.
[2] Time-Dependent Description of Reactions with Weakly Bound ^{11}Li and ^{11}Be Nuclei // Azhibekov, A.K., Samarin // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. Vol. 86. – 2022. – P. 1092-1098.

TIME-DEPENDENT DESCRIPTION OF NEUTRON TRANSFERS IN THE $^{48}\text{Ca}+^{197}\text{Au}$ REACTION AT ENERGY OF 270 MeV

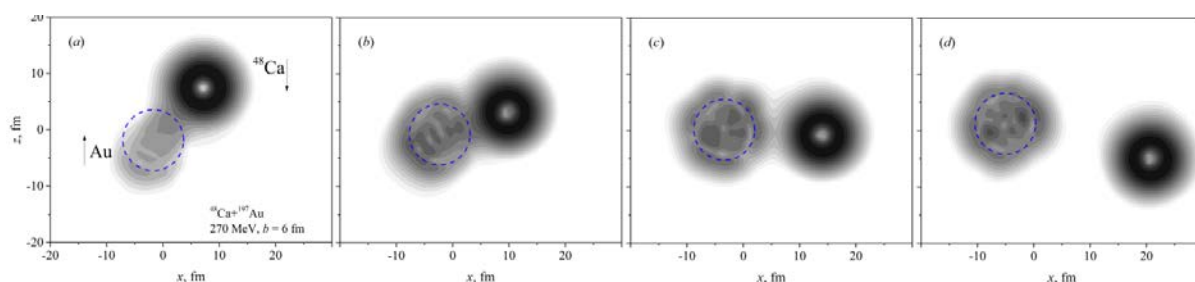
A. K. Azhibekov

Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
E-mail: azhibekoaidos@gmail.com

The study of nucleon transfer reactions is an important area of heavy ion physics because these reactions provide the possibilities for the synthesis of new nuclei. Multi-neutron transfer reactions are one of the tools to access neutron-rich isotopes [1]. Its advantage is the low excitation energy of the formed reaction products leading to their higher survival probability.

This work presents the theoretical analysis of neutron transfer mechanism for the $^{48}\text{Ca}+^{197}\text{Au}$ reaction at energy of 270 MeV. Numerical solution of the time-dependent Schrödinger equation is used for studying neutron transfer processes [2]. The evolution of the wave function for the neutrons from the upper occupied ($1f_{7/2}$ (see Figure), $1d_{3/2+}$, $2s_{1/2+}$) single-particle levels of the ^{48}Ca and ($3p_{3/2}$, $1i_{13/2+}$)

levels of the ^{197}Au is determined. The dynamics of neutron transfer process is described and the probabilities of occupation of initially unoccupied single-particle neutron levels of the ^{197}Au nucleus (with formation of $^{198-205}\text{Au}$) and the probabilities of the formation of $^{192-196}\text{Au}$ are determined.



Evolution of the probability density of a neutron from the outer single-particle neutron level $1f_{7/2}$ of the ^{48}Ca nucleus in the grazing collision $^{48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au}$ at energy 270 MeV and impact parameter $b = 6$ fm. The course of time corresponds to the direction from left to right

References

- [1] Nucleosynthesis in multinucleon transfer reactions / S. Heinz, H. M. Devaraja // Eur. Phys. J. A, Vol. 58. – 2022. – Art. 114.
- [2] Time-Dependent Description of Reactions with Weakly Bound ^{11}Li and ^{11}Be Nuclei // Azhibekov, A.K., Samarin // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. Vol. 86. – 2022. – P. 1092–1098.

ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ NDX2

А. В. Алексеев, Н. А. Крутько

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
пр. Мира, д. 37, г. Саров, Нижегородская обл., 607188.
Факс: 83130 29494 E-mail: staff@vniief.ru

Представлено описание информационно-справочной системы ядерно-физических данных NDX2 в составе программного комплекса константного обеспечения GROUND2. Программа NDX2 представляет собой оболочку-клиент БД CPND, обеспечивающую обзор всех содержащихся в ней данных как единой древовидной логической структуры, объединяющей все классы ядерно-физических данных.

В состав БД CPND включены:

- скалярные интегральные характеристики ядер (массы и энергии реакций) AME2016;
- данные по уровням возбуждения и переходам ядер ENSDF;
- оценённые данные из библиотек в формате ENDF/B;
- экспериментальные данные EXFOR.

Программа NDX2 обладает развитым аппаратом табличного и графического представления всех имеющихся классов ядерно-физических данных, интерпретирующим опубликованные форматы их источников. В программу NDX2 включена также базовая функциональность вычислительной обработки оценённых ядерных данных, наиболее востребованная на практике для экспертного анализа и выработки рекомендаций по их использованию в расчетах ядерно-физических характеристик.

NDX2 INFORMATION AND REFERENCE SYSTEM OF NUCLEAR PHYSICS DATA

A. V. Alekseev, N. A. Krutko

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center –
All-Russian Research Institute of Experimental Physics»
37 Mir Ave., Sarov, Nizhny Novgorod reg., 607188.
Fax: 83130 29494 E-mail: staff@vniief.ru

The report describes the NDX2 information and reference (I&R) system of nuclear physics data within the GROUND2 software system of constants. The NDX2 program is the SSH client of the CPND database (DB) providing the representation of the data contained in it as a single tree-like structure uniting all classes of nuclear physics data.

CPND DB includes:

- scalar integral characteristics of nuclei (masses and reaction energies), AME2016;
- data on the excitation levels and transitions of nuclei, ENSDF;
- evaluated library data in ENDF/B format; and
- experimental data, EXFOR.

The NDX2 program has a well-developed mechanism of representing all available classes of nuclear physics data in tabular and graphical forms, which interprets the published formats of the data sources. The NDX2 program also includes the basic functionality for computationally processing the evaluated nuclear data, which is commonly used in practice for the expert analysis of such data and making recommendations on how to use this data to calculate the physical parameters of atomic nuclei.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКИХ НОРМИРОВОЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПУТЕМ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРОДОЛЖЕНИЯ R-МАТРИЦЫ

Л. Д. Блохинцев, Д. А. Савин

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобелевича
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
e-mail: blokh@srd.sinp.msu.ru

Асимптотические нормировочные коэффициенты (АНК) определяют асимптотическое поведение ядерных волновых функций в бинарных каналах на расстояниях между фрагментами, превышающих радиус ядерного взаимодействия [1]. В терминах АНК параметризуются сечения периферических ядерных реакций. АНК особенно важны для ядерной астрофизики. Они определяют общую нормировку сечений радиационного захвата при астрофизических энергиях [2]. В отличие от энергий связи АНК не могут быть непосредственно измерены. Для их определения на основе экспериментальных данных требуется проводить определенный теоретический анализ. В частности, значения АНК можно извлечь путем сравнения абсолютных значений экспериментальных сечений ядерных реакций передачи с теоретическими, рассчитанными в рамках метода искаженных волн. Некоторые другие методы определения АНК из экспериментальных данных по рассеянию и реакциям описаны в [3].

В настоящей работе предлагается метод нахождения значений АНК путем аналитического продолжения R -матрицы, описывающей упругое ядерное рассеяние, в нефизическую область отрицательной энергии соударения ($E < 0$). Выведена формула, выражающая парциальную амплитуду рассеяния через R -матрицу и модифицированные кулоновские функции. Эта формула позволяет при продолжении амплитуды в область $E < 0$ преодолеть трудности, связанные с нерегулярным поведением амплитуды рассеяния вблизи $E = 0$ при наличии кулоновского взаимодействия. Предложенный метод применен для определения АНК в канале $^{16}\text{O} \rightarrow \alpha + ^{12}\text{C}$.

Список литературы

1. A. M. Mukhamedzhanov and L. D. Blokhintsev, Eur. Phys. J. A **58**, 29 (2022).
2. A. M. Mukhamedzhanov and N. K. Timofeyuk, Sov. J. Nucl. Phys. **51**, 679 (1990).
3. L. D. Blokhintsev and D. A. Savin, Phys. At. Nucl., **85**, 842 (2022).

DETERMINATION OF ASYMPTOTIC NORMALIZATION COEFFICIENTS BY ANALYTIC CONTINUATION OF THE R-MATRIX

L. D. Blokhintsev, D. A. Savin

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University,
119991, GSP-1, Moscow, Leninskie gory 1, building 2
E-mail: blokh@srd.sinp.msu.ru

Asymptotic normalization coefficients (ANC) determine the asymptotic behavior of nuclear wave functions in binary channels at distances between fragments exceeding the radius of nuclear interaction [1]. In terms of ANCs, the cross sections of peripheral nuclear transfer reactions are parameterized. ANCs are of particular importance for nuclear astrophysics. They determine the overall normalization of cross sections of radiative capture reactions at astrophysical energies [2]. Unlike binding energies, ANCs cannot be directly measured. To determine them on the basis of experimental data, a certain theoretical analysis is required. In particular, the values of ANCs can be extracted by comparing the absolute values of experimental cross sections of nuclear transfer reactions with theoretical ones, calculated within the framework of the distorted wave Born approximation. Some other methods for determining ANCs from experimental data and reactions are described in [3].

In the present work, the method of finding the values of ANCs is proposed based on the analytic continuation of the *R*-matrix that describes the elastic nuclear scattering into the unphysical region of the negative energy of collision ($E < 0$). The formula is derived, expressing the partial-wave scattering amplitude through the *R*-matrix and modified Coulomb functions. This formula allows, when continuing the amplitude to the region $E < 0$, to overcome difficulties associated with irregular behavior of the scattering amplitude near $E = 0$ if the Coulomb interaction is present. The proposed method is used to determine the ANC for the channel $^{16}\text{O} \rightarrow \alpha + ^{12}\text{C}$.

References

1. A. M. Mukhamedzhanov and L. D. Blokhintsev, Eur. Phys. J. A **58**, 29 (2022).
2. A. M. Mukhamedzhanov and N. K. Timofeyuk, Sov. J. Nucl. Phys. **51**, 679 (1990).
3. L. D. Blokhintsev and D. A. Savin, Phys. At. Nucl., **85**, 842 (2022).

ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ РЕАКЦИЙ $^9\text{Be}(d,xt)$ МЕТОДОМ ВТОРИЧНОЙ АКТИВАЦИИ

Л. Н. Генералов, И. А. Карпов

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный
центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира 37
otd4@expd.vniief.ru

В интервале энергии дейтронов 2.5–12 МэВ с погрешностью 12 % на электростатическом
тандемном ускорителе ЭГП-10 (РФЯЦ-ВНИИЭФ) [1] на основании активационной реакции
 $^9\text{Be}+t \rightarrow \alpha + ^8\text{Li} + 2.927 \text{ МэВ}$ [2] ($T_{8\text{Li}} = 0.84 \text{ с}$, $E_{\beta \text{ max}} = 13 \text{ МэВ}$) измерены полные сечения $\sigma_{d,xt}$ реакции

${}^9\text{Be}(d,xt)$, где $T_{8\text{Li}}$, $E_{\beta \text{ max}}$ – периоды полураспада и максимальные энергии β -частиц распада ядра ${}^8\text{Li}$. Необходимые данные по этой активационной реакции экспериментально получены в настоящей работе в виде выхода ядер ${}^8\text{Li}$ при облучении толстой бериллиевой мишени тритонами различной энергии. Метод предложен Гужовским Б. Я.

Для измерения сечений $\sigma_{d,xt}$ реализовано совмещение функций первичной мишени и конвертора тритонов в ядра ${}^8\text{Li}$ в одном и том же слое бериллия, что возможно при условии $h > R(E_d) + R(E_t)$ – толщина слоя h больше суммы пробегов налетающих дейтронов и образующихся тритонов.

Измерения сечений при $E_d = 2.5\text{--}12$ МэВ методом вторичной активации проведены на ЭПП-10. Для этого создавался импульсный режим облучения длительностью 1 с. После облучения в течение 6 с проводилась регистрация β -частиц. Мишенью служила пластина толщиной 1 мм из особо чистого металлического бериллия. В качестве детектора β -частиц использовался пластиковый сцинтиллятор (диаметром 40 и высотой 50 мм), совмещенный с ФЭУ-93. Для получения абсолютных значений сечений $\sigma_{d,xt}$ необходимо иметь зависимость средней энергии образующихся в изучаемой реакции ${}^9\text{Be}(d,xt)$ тритонов от энергии дейтронов, вызывающих эту реакцию. Она была получена нами по энергетическим спектрам тритонов из этой реакции, что были измерены при различных углах регистрации и приведены в докладе на конференции [3].

Список литературы

- [1] Абрамович С. Н. // ВАНТ. Сер. Физ. Яд. Реак. Спец. Вып. ТИЯС-XI. 1997. С. 4.
- [2] Ajzenberg-Selove F. // Nucl. Phys. A. 1985. V. 433. №1. P. 1.
- [3] Generalov L. N., Vikhlyantsev O. P., Karpov I. A. et al. // Book of abstracts. Intern. Conf. “Nucleus-2019”. Dubna. 2019. P. 116.

MEASUREMENT OF ${}^9\text{Be}(d,xt)$ REACTION TOTAL CROSS SECTIONS BY SECONDARY ACTIVATION METHOD

L. N. Generalov, I. A. Karpov

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center –
All-Russian Research Institute of Experimental Physics»
Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave, 37
otd4@expd.vniief.ru

In the range of deuteron energies 2.5-12 MeV with error 12 % on charge-exchange electrostatic accelerator EGP-10 (RFNC-VNIIEF) [1] based on activation reaction ${}^9\text{Be}+t \rightarrow \alpha + {}^8\text{Li} + 2.927$ MeV [2] ($T_{8\text{Li}} = 0.84$ s, $E_{\beta \text{ max}} = 13$ MeV) total cross sections $\sigma_{d,xt}$ of reaction ${}^9\text{Be}(d,xt)$ were measured, where $T_{8\text{Li}}$, $E_{\beta \text{ max}}$ – half-lives and maximum energies of nucleus ${}^8\text{Li}$ decay β -particles. In the present paper the necessary data on this activation reaction were obtained experimentally as nuclei ${}^8\text{Li}$ yield when irradiating a thick beryllium target by various energy tritons. The method was proposed by Guzhovskii B. Ya.

To measure cross-sections $\sigma_{d,xt}$, combined were functions of primary target and triton converter into nuclei ${}^8\text{Li}$ in one and the same beryllium layer, what was possible provided $h > R(E_d) + R(E_t)$ – layer h thickness is larger than path sums of incident deuterons and forming tritons.

Cross sections at $E_d = 2.5\text{--}12$ MeV were measured by the secondary activation method on EGP-10. For this purpose a pulse irradiation mode was developed with 1s duration. After a 6s irradiation, β -particles were registered. A 1 mm thick plate made of superpurity beryllium metal served as a target. As a β -particle detector a plastic scintillator was used (diameter 40 and height 50 mm), combined with FEM-93. To obtain absolute values of cross-sections $\sigma_{d,xt}$, one should have a relation between average energy of tritons being formed in studied reaction ${}^9\text{Be}(d,xt)$ and energy of deuterons, causing this reaction. We received it by energy triton spectra in this reaction, which were measured at different acceptance angles and presented in the conference report [3].

References

- [1] Abramovich S. N. // VANT. Ser. Nucl. React. Phys. // Special issue TIYaS-XI. 1997. P. 4.
- [2] Ajzenberg-Selove F. // Nucl. Phys. A. 1985. V. 433. № 1. P. 1.
- [3] Generalov L. N., Vikhlyantsev O. P., Karpov I. A. et al. // Book of abstracts. Intern. Conf. "Nucleus-2019". Dubna. 2019. P. 116.

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ НЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 14,1 МэВ, РАССЕЯННЫХ НА ЯДРАХ УГЛЕРОДА

**Д. Н. Грозданов*, Н. А. Федоров, Ю. Н. Копач, В. Р. Ской, Т. Ю. Третьякова, К. Храмко,
И. Н. Русков, Г. Ахмедов, Д. Бериков, А. В. Андреев, В. К. Ионкин, П. Г. Филончик
и коллаборация TANGRA**

141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
Тел. +7 (496) 216-50-59, факс. +7 (496) 216-51-46, e-mail: post@jinr.ru
*dimitar@nf.jinr.ru

Исследования нейтрон-индуцированных ядерных реакций на углероде представляет интерес как с точки зрения уточнения данных по свойствам уровней возбуждения углерода, так и для уточнения параметров моделей для описания механизма взаимодействия нейтронов с ядрами углерода. Углерод играет важную роль в процессе нуклеосинтеза, в частности, по утверждению Ф. Хойла, существование жизни обязано уровню углерода с энергией 7,65 МэВ [1].

В рамках проекта ТАНГРА [2] нами были измерены угловые распределения нейтронов, рассеянных на ядрах углерода, с использованием меченых нейтронов. В качестве источника нейтронов использовался нейтронный генератор ИНГ-27 с встроенным 256-пиксельным детектором альфа-частиц. Графитовая пластина размером 44х44х2 см³ использовалась в качестве мишени и располагалась на расстоянии 27 см от источника нейтронов. Поток нейтронов на мишень определялся по счету встроенного в ИНГ-27 альфа-детектора. Нейтроны регистрировались с помощью 20 пластиковых детекторов, расположенных вокруг мишени на расстоянии ~2м. Энергия рассеянных нейтронов определялась по времени пролета. Были измерены угловые распределения для упруго рассеянных нейтронов, а также для неупруго рассеянных на уровнях 4.44 МэВ, 7.65 МэВ и 9.64 МэВ. Полученные данные сравниваются с результатами предыдущих экспериментов по рассеянию нейтронов с энергией 14.1 МэВ на ¹²C.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 23-12-00239).

Список литературы

1. Hoyle F. On nuclear reactions occurring with very hot stars. *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 1:121, September 1954.
2. Ruskov I. N., Kopatch, Y. N., Bystritsky, V. M. *et al.*, TANGRA-Setup for the Investigation of Nuclear Fission induced by 14.1 MeV neutrons // *Physics procedia.* – 2015. – Т. 64. – С. 163-170.

MEASURING THE ANGULAR DISTRIBUTIONS OF 14.1 MeV NEUTRONS SCATTERING ON CARBON NUCLEI

D. N. Grozdanov*, N. A. Fedorov, Yu. N. Kopatch, V. R. Skoy, T. Yu. Tretyakova, C. Hramco, I. N. Ruskov, G. Akhmedov, D. Berikov, A. V. Andreev, V. K. Ionkin, P. G. Filonchik, and TANGRA collaboration

Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
tel. +7 (496) 216-50-59, fax. +7 (496) 216-51-46, e-mail: post@jinr.ru

*dimitar@nf.jinr.ru

The study of neutron-induced nuclear reactions on carbon is of interest both from the point of view of improving data on the properties of carbon excitation levels and for refining model parameters for describing the mechanism of interaction of neutrons with carbon nuclei. Carbon plays an important role in the process of nucleosynthesis, in particular, according to F. Hoyle, the existence of life on Earth is due to the level of carbon with an energy of 7.65 MeV [1].

In the framework of the TANGRA project [2], we measured the angular distributions of neutrons scattered on carbon nuclei using the tagged neutron method. An ING-27 neutron generator with a built-in 256-pixel alpha-particle detector was used as a neutron source. A graphite plate with dimensions 44x44x2 cm³ was used as a target and was located at a distance of 27 cm from the neutron source. The neutron flux on the target was determined from the alpha detector built into the ING-27. Scattered neutrons were measured using 20 plastic detectors located around the target at a distance of ~2 m. The energy of scattered neutrons was determined from the time of flight. Angular distributions were measured for elastically scattered neutrons, as well as for inelastically scattered neutrons at levels of 4.44 MeV, 7.65 MeV, and 9.64 MeV. The data obtained are compared with the results of previous experiments on the scattering of neutrons with an energy of 14.1 MeV on ¹²C.

This work was supported by the RSCF grant 23-12-00239.

References

1. Hoyle F. On nuclear reactions occurring with very hot stars. *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 1:121, September 1954.
2. Ruskov I. N., Kopatch Y. N., Bystritsky V. M. et al. TANGRA-Setup for the Investigation of Nuclear Fission induced by 14.1 MeV neutrons // *Physics procedia.* – 2015. – T. 64. – С. 163–170.

ОБРАЗОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ПИОНОВ В «ЖИВОЙ» КРЕМНИЕВОЙ МИШЕНИ

Ю. Б. Гуров^{1,2}, С. А. Евсеев¹, С. В. Розов¹, В. Г. Сандуковский¹, Б. А. Чернышев²

¹141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва

Анализируются результаты измерения энергетических спектров заряженных частиц (d, t, ³He, ⁴He), образованных в реакции поглощения остановившихся π⁻-мезонов ядрами «живой» мишени – аналога мишени ²⁸Si. Использование в эксперименте «живой» мишени, позволяет одновременно с регистрацией частицы измерять энерговыделение в самой мишени. Энерговыделение в толщине «живой» мишени складывается из потерь энергии налетающего пиона и заряженных частиц, образующихся в процессе поглощения, в том числе и ядра отдачи.

В спектрах энерговыделений в мишени проявляется максимум вблизи нулевых значений, что указывает на существование «прямых» механизмов образования сложных частиц (оценка их доли в выходе на уровне 30 %). Вместе с тем к «прямым» механизмам можно отнести как многонуклонное (A ≥ 3) поглощение с образованием первичных сложных частиц, так и прямые ядерные реакции типа подхвата при парном механизме поглощения.

PRODUCTION OF COMPLICATED PARTICLES DURING THE ABSORPTION OF NEGATIVE PIONS IN A “LIVE” SILICON TARGET

Yu. B. Gurov ^{1,2}, S. A. Evseev ¹, S. V. Rozov ¹, V. G. Sandukovsky ¹, B. A. Chernyshev ²

¹ Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

² National Research Nuclear University “MEPhI”, Moscow, Russia

The results of measuring the energy spectra of charged particles (d, t, ³He, ⁴He) formed in the absorption reaction of stopped π^- -mesons by the nuclei of a “live” target – analog of the ²⁸Si target are analyzed. The use of a “live” target in the experiment makes it possible to measure the energy release in the target itself simultaneously with the registration of the particle. The energy release in the thickness of the “live” target consists of energy losses of the incoming pion and charged particles formed during absorption, including the recoil core.

In the spectra of energy releases in the target, a maximum appears near zero values, which indicates the existence of “direct” mechanisms for the formation of complicated particles (their share in the output is estimated at 30%). At the same time, the “direct” mechanisms include both multi-nucleon ($A \geq 3$) absorption with the formation of primary complicated particles, and direct nuclear reactions of the pick-up type with a paired absorption mechanism.

НОВЫЕ СЕЧЕНИЯ ФОТОНЕЙТРОННЫХ РЕАКЦИЙ, ОЦЕНЕННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЗИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ДОСТОВЕРНОСТИ

А. И. Давыдов, В. В. Варламов

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобелевца
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991 Москва, Ленинские горы, НИИЯФ МГУ, (495)9393483, (495)9390896,
alexdavdovmet@gmail.com

Рассматриваются проблемы достоверности сечений парциальных фотонейтронных реакций (γ , 1n), (γ , 2n) и (γ , 3n), существо которых представляют значительные систематические расхождения данных разных экспериментов. Выполненные исследования посвящены ответам на вопросы о том, какие именно результаты являются достоверными, являются ли результаты экспериментов достоверными в целом и какие данные могут быть достоверными, т. е. соответствующими физическим критериям. Для решения проблем расхождений данных по сечениям парциальных реакций, полученных в разных экспериментах, используются объективные физические критерии достоверности, не зависящие от способов получения таких данных [1] – отношения сечений конкретных парциальных реакций $\sigma(\gamma, in)$ к соответствующему сечению выхода нейтронов $\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 1n) + 2\sigma(\gamma, 2n) + 3\sigma(\gamma, 3n)$. С помощью экспериментально-теоретического метода оценки [1], основанного на физических критериях, получены новые достоверные сечения парциальных и полных фотонейтронных реакций для 22 ядер (⁵¹V, ⁵⁹Co, ^{58,60}Ni, ^{63,65}Cu, ⁷⁵As, ^{76,78,80,82}Se, ⁸⁹Y, ^{90,91,92,94}Zr, ¹⁰³Rh, ¹²⁷I, ¹⁶⁵Ho, ¹⁸¹Ta, ^{206,207}Pb) [2, 3]. На основании результатов детального исследования разностей между оцененными и экспериментальными сечениями установлено, что расхождения между ними обусловлены проявлением в последних существенных систематических погрешностей трех разных типов.

Список литературы

1. Оцененные сечения реакций $\sigma(\gamma, nX)$ и $\sigma(\gamma, 2nX)$ на изотопах олова ^{112,114,116,117,118,119,120,122,124}Sn / В. В. Варламов, Б. С. Ишханов, В. Н. Орлин, В. А. Четверткова // Изв. РАН. Сер. физ.-2010-Том 74; С. 875-883.

2. Фотоядерные исследования: достоверность результатов экспериментов: учебное пособие / В. В. Варламов, А. И. Давыдов, В. Н. Орлин; Издательство «КДУ». МГУ. М., 2023. 86с.

3. Давыдов А. И., Варламов В. В., Орлин В. Н. Сечения парциальных фотонейтронных реакций: проблемы с достоверностью и новые данные // Вестник Московского университета. Серия 3. 2023. Том 78; № 3. С. 1–11.

NEW PHOTONEUTRON REACTION CROSS SECTIONS EVALUATED USING PHYSICAL RELIABILITY CRITERIA

A. I. Davydov, V. V. Varlamov

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University
119991 Moscow, Leninskie gory, MSU SINP, (495)9393483, (495)9390896,
alexdavdovmet@gmail.com

The problems of partial photoneutron reactions ($\gamma, 1n$), ($\gamma, 2n$) и ($\gamma, 3n$) cross sections reliability of were considered. The essence is presence of significant disagreements between the results of various experiments. The studies carried out were devoted to answers the questions i) what results are reliable exactly, 2) are experimental data reliable in general and 3) what data could be reliable, that is satisfying objective physical reliability criteria. The physical criteria do not dependent on the experimental methods of data obtaining [1] – ratios of definite partial reaction cross-section $\sigma(\gamma, in)$ to the correspondent neutron yield cross-section $\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 1n) + 2\sigma(\gamma, 2n) + 3\sigma(\gamma, 3n)$ – were used to solve the problems of disagreements between data obtained in various experiments. New reliable cross sections of both partial and total photoneutron reactions for 22 nuclei (^{51}V , ^{59}Co , $^{58,60}\text{Ni}$, $^{63,65}\text{Cu}$, ^{75}As , $^{76,78,80,82}\text{Se}$, ^{89}Y , $^{90,91,92,94}\text{Zr}$, ^{103}Rh , ^{127}I , ^{165}Ho , ^{181}Ta , $^{206,207}\text{Pb}$) were obtained [2,3] using the experimental-theoretical evaluation method [1] basing on the physical criteria. Using the results of detail analysis of differences between evaluated and experimental cross sections it was found out that the disagreements between evaluated and experimental cross sections are because the presence in the last ones of essential systematic uncertainties of three various types.

References

1. Evaluated cross sections of the (γ, nX) and ($\gamma, 2nX$) reactions on $^{112,114,116,117,118,119,120,122,124}\text{Sn}$ isotopes / V. V. Varlamov, B. S. Ishkhanov, V. N. Orlin, V. A. Chetvertkova// Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2010. Vol. 74. P. 833-841.

2. Photonuclear research: reliability of experimental results: handbook / V. V. Varlamov, A. I. Davydov, V. N. Orlin; Publishing House «KDU». MSU. М., 2023. 86с.

3. Davydov A. I., Varlamov V. V., Orlin V. N. Cross sections of partial photoneutron reactions: the problems with reliability and new data // Вестник Московского университета. Сер. 3. 2023. Т. 78; № 3. С. 1–11.

**К АКТИВАЦИОННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ
НА γ - ПУЧКАХ ОТ ОБРАТНОГО КОМПТОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ
ПРИ $E\gamma \lesssim 40$ МэВ**

**Л. З. Джилавян^{1*}, С. С. Бельшев², В. В. Варламов³, А. А. Кузнецов^{2,3},
А. М. Лапик¹, А. Л. Полонский¹, А. В. Русаков¹, В. И. Шведун³**

¹ Институт ядерных исследований Российской академии наук,
117312, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический
факультет. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

³ Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, 119234, ГСП-1, Москва,
Ленинские горы, д. 1, стр. 2, т. (499)1352112, ф. (499)1352268, E-mail: dzhil@inr.ru

В настоящей работе для разрабатываемого γ -источника от обратного комптоновского рассеяния с $E\gamma \lesssim 40$ МэВ продолжены исследования в согласии с общей программой работ [1] и предложенным мониторингом пучка [2]. В качестве начального этапа предложены сравнительно простые эксперименты с регистрацией наведенной активности с помощью одно- или двух-канальных γ -спектрометров (сцинтилляционных или полупроводниковых). Рассмотрена отработка методик настройки и мониторинга γ -пучка, а также детальных измерений фоновой обстановки с использованием результатов таких экспериментов. Кроме того, показано, что активационные исследования фотоядерных реакций на таких γ -пучках имеют фундаментальную ценность для выяснения множественности образования фотонейтронов, а также наличия сравнительно узких структурных особенностей в энергетических зависимостях сечений фотоядерных реакций, прежде всего, фотонейтронных реакций.

Список литературы

1. S. S. Belyshev, V. V. Varlamov, L. Z. Dzhilavyan, *et al.* // Moscow University Physics Bull., 2023, No. 2.
2. S. S. Belyshev, V. V. Varlamov, L. Z. Dzhilavyan, *et al.* // Moscow University Physics Bull., 2023, No. 2.

**TO ACTIVATION STUDIES OF PHOTONUCLEAR REACTIONS ON
 γ - BEAMS FROM BACKWARD COMPTON SCATTERING AT $E\gamma \lesssim 40$ MeV**

**L. Z. Dzhilavyan^{1*}, S. S. Belyshev², V. V. Varlamov³, A. A. Kuznetsov^{2,3}, A. M. Lapik¹,
A. L. Polonski¹, A. V. Rusakov¹, V. I. Shvedunov³**

¹ Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences. 7a, 60th October Anniversary
Prospect, Moscow 117312, Russia

² Physics Department of M.V. Lomonosov Moscow State University, 1(2), Leninskie gory, GSP-1,
Moscow 119991, Russia;

³ D. V. Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of M.V. Lomonosov Moscow State University, 1(2),
Leninskie gory, GSP-1, Moscow 119991, Russia
phone: (499)1352112, fax: (499)1352268

*E-mail: dzhil@inr.ru

In the present work for the projected γ -source from backward Compton scattering with $E\gamma \lesssim 40$ MeV, studies are continued in accordance with the general work program [1] and the proposed beam monitoring [2]. As an initial stage, relatively simple experiments were proposed with the registration of induced activity using one- or two-channel γ -spectrometers (scintillation or semiconductor ones). In these experiments, there were considered methods of tuning and monitoring of the γ - beam, as well as

studding the background situation in such experiments. In addition, it is shown that activation studies of photonuclear reactions on these γ - beams are of fundamental value for clarifying multiplicities of photoneutron production, as well as the presence of relatively narrow structural features in the energy dependences of cross sections of photonuclear reactions, first of all, photoneutron ones.

References

1. S. S. Belyshev, V. V. Varlamov, L. Z. Dzhilavyan, *et al.* // Moscow University Physics Bull., 2023, No. 2.
2. S. S. Belyshev, V. V. Varlamov, L. Z. Dzhilavyan, *et al.* // Moscow University Physics Bull., 2023, No. 2.

О РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ НЕЙТРОНОВ ИЗ (γ, n) -РЕАКЦИЙ ПО ЭНЕРГИИ И УГЛАМ НА γ - ПУЧКАХ ОТ ОБРАТНОГО КОМПТОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ ПРИ $E_\gamma \lesssim 40$ МэВ

Л. З. Джилавян^{1*}, А. М. Лапик¹, С. С. Бельшев², В. В. Варламов³,
А. А. Кузнецов^{2,3}, А. Л. Полонский¹, А. В. Русаков¹, В. И. Шведунов³

¹ Институт ядерных исследований Российской академии наук,
117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет.
119991, Москва, Ленинские горы, 1 (2)

³ Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова,
119234, Москва, Ленинские горы, 1 (2)

т. (499)1352112, ф. (499)1352268

*E-mail: dzhil@inr.ru

Для дальнейшего развития адекватного модельного описания процессов возбуждения и релаксации изовекторного электрического дипольного гигантского резонанса (Е1 ГР) в атомных ядрах большой интерес представляет изучение распределений по энергии и углам быстрых нейтронов, образующихся в парциальных (γ, n) -реакциях. Некоторые исследования такого типа указывают на наличие весьма интересной тонкой структуры Е1 ГР как на средних [1], так и на тяжелых ядрах [2]. Как показано, в частности, в [3], для таких исследований особенно привлекательны измерения на γ -пучках от обратного комптоновского рассеяния, благодаря малым разбросам по энергии, поперечным размерам, углам и длительности, а также возможной высокой поляризации в таких пучках. В настоящей работе рассматриваются некоторые детали таких исследований с использованием системы спектрометров быстрых нейтронов, использующих как амплитудную, так и времяпролётную информацию. Отмечено также, что довольно высокая ожидаемая интенсивность этих разрабатываемых γ -пучков при низком фоне электронов открывают новые возможности для изучения и фотопротонных реакций.

Список литературы

1. S. S. Verbitsky, A. M. Lapik, *et al.* // Physics of Atomic Nuclei, 2009. vol. 72, issue 3, p. 387.
2. N. K. Sherman, *et al.* // Phys. Rev. Lett., 1975, vol. 35, p. 1215.
3. S. S. Belyshev, V. V. Varlamov, L. Z. Dzhilavyan, *et al.* // Moscow University Physics Bull., 2023, No. 2.

ON DISTRIBUTIONS OF NEUTRONS FROM (γ , n)-REACTIONS IN ENERGY AND ANGLES ON γ - BEAMS FROM BACKWARD COMPTON SCATTERING AT $E_\gamma \lesssim 40$ MeV

A. M. Lapik¹, L. Z. Dzhilavyan^{1,*}, S. S. Belyshev², V. V. Varlamov³, A. A. Kuznetsov^{2,3},
A. L. Polonski¹, A. V. Rusakov¹, V. I. Shvedunov³

¹ Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences.
7a, 60th October Anniversary Prospect, Moscow 117312, Russia

² Physics Department of M. V. Lomonosov Moscow State University,
1(2), Leninskie gory, Moscow 119991, Russia

³ D. V. Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of M.V. Lomonosov Moscow State University, 1(2),
Leninskie gory, GSP-1, Moscow 119991, Russia
phone: (499)1352112, fax: (499)1352268

*E-mail: dzhil@inr.ru

For the further development of an adequate model description of excitation and relaxation processes of the isovector electric dipole giant resonance (E1 GR) in atomic nuclei, it is essential to study the energy and angle distributions of fast neutrons produced in partial (γ , n)- reactions. Some studies of the type indicate the presence of a interesting fine structure of E1 GR on both medium [1] and heavy nuclei [2]. As shown, in particular, in [3], measurements on γ - beams from backward Compton scattering are especially attractive for such studies, due to small spreads in energy, transverse dimensions, angles and duration, as well as the possible high polarization in these beams. In present work, we consider some details of such studies with a system of fast neutron spectrometers that use both amplitude and time-of-flight information. It was also noted that a rather high expected intensity of these developed γ -beams at a low electron background opens up new possibilities for studying photoproton reactions as well.

References

1. S. S. Verbitsky, A. M. Lapik, *et al.* // Physics of Atomic Nuclei, 2009. vol. 72, issue 3, p. 387.
2. N. K. Sherman, *et al.* // Phys. Rev. Lett., 1975, vol. 35, p. 1215.
3. S. S. Belyshev, V. V. Varlamov, L. Z. Dzhilavyan, *et al.* // Moscow University Physics Bull., 2023, No. 2.

РЕГИСТРАЦИЯ β -ЧАСТИЦ ОТ ^{12}B -РАСПАДОВ ТЕЛЕСКОПАМИ ДЕ-ДЕТЕКТОРОВ МЕЖДУ ИМПУЛЬСАМИ УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ

Л. З. Джилавян^{1*}, С. С. Бельшев², А. И. Карев³, А. М. Лапик¹, А. Л. Полонский¹,
В. Н. Пономарёв¹, А. В. Русаков¹, А. А. Туринге¹, В. В. Ханкин⁴

¹ Институт ядерных исследований Российской академии наук,
117312 Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а

² Физический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова,
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, 1 (2)

³ Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук,
119991, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, 53

⁴ Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова,
119234, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, 1 (2)
т. (499)1352112, ф. (499)1352268
e-mail: dzhil@inr.ru

Для дальнейшего развития современных моделей ядерных реакций нужны достоверные данные о каналах реакций, ведущих к образованию ядер вне полосы стабильности, в частности, ^{12}B (β^- -распад, период полураспада $T_{1/2} = 20,2$ мс) в реакции $^{13}\text{C}(\gamma, p)$. Важно и то, что эта реакция

интересна для обнаружения скрытых концентраций углерода. До последнего времени модельные и экспериментальные данные о сечениях и выходах этой реакции различаются на порядок величин [1]. Предприняты между импульсами ускорителя электронов при $E_e \cong 55$ МэВ новые активационные измерения с графитовой мишенью выходов этой реакции в самом зале ускорителя. При этом вызывает опасение большой фон «гуляющих» в зале фотонейтронов. Для ослабления влияния такого фона использована регистрация β -частиц от распадов нарабатываемых в мишени ядер ^{12}B двумя телескопами тонких пластиковых ΔE -детекторов. Результаты сопоставляются с проведённым моделированием эксперимента [2].

Список литературы

1. O. I. Achakovskiy *et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys., 2016, vol. 80, p. 572.
2. S. S. Belyshev *et al.* // Moscow University Physics Bull., 2023, No. 2.

REGISTRATION OF β - PARTICLES FROM ^{12}B -DECAYS BY ΔE -DETECTOR TELESCOPES BETWEEN PULSES OF THE ELECTRON ACCELERATOR

L. Z. Dzhilavyan^{1,*}, S. S. Belyshev², A. I. Karev³, A. M. Lapik¹, A. L. Polonski¹,
V. N. Ponomarev¹, A. V. Rusakov¹, A. A. Turinge¹, V. V. Khankin⁴

¹ Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences.
7a, 60th October Anniversary Prospect, Moscow 117312, Russia

² Physics Department of Lomonosov Moscow State University,
1(2), Leninskie gory, GSP-1, Moscow 119991, Russia

³ Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences,
53, Leninskiy Prospect, GSP-1, Moscow 119991, Russia

⁴ Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University,
1(2), Leninskie gory, GSP-1, Moscow 119991, Russia
phone: (499)1352112, fax: (499)1352268

*e-mail: dzhil@inr.ru

Further development of modern models of nuclear reactions requires reliable data on reaction channels producing nuclei outside the stability band, in particular, $^{12}\text{B}(\beta^- \text{ decay, half-life } T_{1/2} = 20.2 \text{ ms})$ in the reaction $^{13}\text{C}(\gamma, p)$. It is also important that this reaction is interesting for detecting hidden carbon concentrations. Until recently, model and experimental data on the cross sections and yields of this reaction differ by an order of their magnitude [1]. Between pulses of the electron accelerator at $E_e \cong 55$ MeV, new activation measurements of this reaction yields with a graphite target in the accelerator hall itself were undertaken. But in these cases, a large background of photoneutrons “walking” in this hall causes concern. To weaken the influence of such a background, we used the registration of β - particles produced in the target at ^{12}B - decay by means of two telescopes of thin plastic ΔE - detectors. The results are compared with the simulation of the experiment [2].

References

1. O. I. Achakovskiy *et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys., 2016, vol. 80, p. 572.
2. S. S. Belyshev *et al.* // Moscow University Physics Bull., 2023, No. 2.

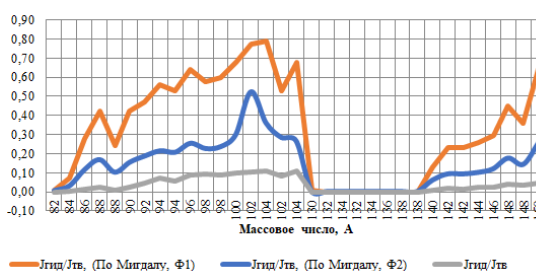
ОЦЕНКА МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ ФРАГМЕНТОВ ДВОЙНОГО ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР

С. Г. Кадменский, Д. Е. Любашевский, А. А. Писклюков

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет,
394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1, Россия,
E-mail: kadmensky@phys.vsu.ru

В работе [1] сделано предположение о зависимости средней величины спина S_f от массового числа фрагментов A_f , которая демонстрирует пилообразную структуру $S_f(A_f)$. В дальнейшем, используя модель деления FREYA, в работе [2] было показано, что такое поведение спинов фрагментов возникает естественным образом из-за изменения моментов инерции фрагментов при разрыве. Средние значения спина фрагмента масштабируются, как квадратный корень от момента инерции I_f , а момент инерции фрагмента определяется формулой $I_f(A_f) = c_{\text{rot}} \cdot I_{\text{rigid}}(A_f)$, где коэффициент c_{rot} принимается равным 0.5, к сожалению, без какого-либо физического обоснования.

В настоящей работе представлено физическое обоснование выбора величины c_{rot} на основе оценки предельных случаев твердотельных и гидродинамических (серая кривая), а также базирующихся на сверхтекучей модели атомного ядра (оранжевая и синяя кривые) моментов инерции. Как видно из рисунка, зависимость момента инерции от массового числа фрагмента имеет пилообразную форму, а среднее значение коэффициента c_{rot} лежит в диапазоне от 0.35 до 0.5, что хорошо согласуется и дает физическое обоснование выбору указанного коэффициента в работе [2]. Отклонение наблюдаемых значений моментов инерции от твердотельных значений обусловлены наличием корреляций между нуклонами, причиной которых является куперовское спаривание нуклонов в рамках сверхтекучей модели атомного ядра с осцилляторным потенциалом [3] (оранжевая кривая).



Список литературы

1. J. Wilson et al., Nature (London) **590**, 566 (2021).
2. J. Randrup, R. Vogt, Phys.Rev. Lett. **127**, 062502 (2021).
3. А. Б. Мигдал, ЖЭТФ, **37**, 249 (1959).

ESTIMATION OF THE MOMENTS OF INERTIA OF FRAGMENTS OF DOUBLE NUCLEAR FISSION

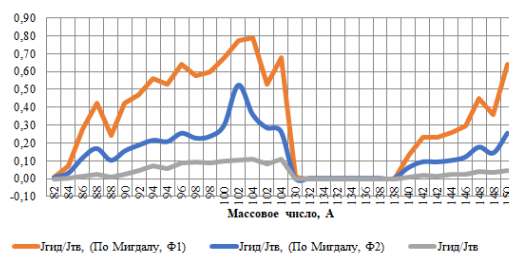
S. G. Kadmensky, D. E. Lyubashevsky, A. A. Pisklyukov

Voronezh State University, 394018, Voronezh, University square, 1, Russia,
E-mail: kadmensky@phys.vsu.ru

In [1], an assumption was made about the dependence of the average spin S_f on the mass number of fragments A_f , which demonstrates the sawtooth structure $S_f(A_f)$. Subsequently, using the FREYA fission model, it was shown in [2] that this behavior of fragment spins arises naturally due to a change in the moments of inertia of fragments upon scission. The average values of the fragment spin are scaled

as the square root of the moment of inertia I_f , and the moment of inertia of the fragment is determined by the formula $I_f(A_f) = c_{\text{rot}} \cdot I_{\text{rigid}}(A_f)$, where the coefficient c_{rot} is taken equal to 0.5, unfortunately, without any physical justification.

In this article, we present a physical justification for the choice of the c_{rot} value based on an estimate of moments of inertia of the limiting cases of solid-state and hydrodynamic (grey curves) as well as superfluid model of the atomic nucleus (orange and blue curves). As can be seen from the figure, the dependence of the moment of inertia on the mass number of the fragment has a sawtooth shape, and the average value of the coefficient c_{rot} lies in the range from 0.35 to 0.5, which is in good agreement and provides a physical justification for the choice of this coefficient in [2]. The deviation of the observed values of the moments of inertia from the solid-state values is due to the presence of correlations between nucleons, which are caused by the Cooper pairing of nucleons in the framework of the superfluid model of an atomic nucleus with an oscillatory potential [3] (orange curve).



References

1. J. Wilson et al., Nature (London) **590**, 566 (2021).
2. J. Randrup, R. Vogt, Phys.Rev. Lett. **127**, 062502 (2021).
3. A. B. Migdal, JETP, **37**, 249 (1959).

СПИНОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФРАГМЕНТОВ ДВОЙНОГО ДЕЛЕНИЯ АТОМНЫХ ЯДЕР С УЧЕТОМ BENDING- И WRIGGLING-КОЛЕБАНИЙ

С. Г. Кадменский, Д. Е. Любашевский, Д. С. Степанов

Voronezh State University, Voronezh, Russia

E-mail: kadmensky@phys.vsu.ru

Проблема описания спинов фрагментов деления (ФД) требует для своего решения использования квантовых представлений о динамике процесса деления. Указанный процесс всегда начинается с образования [1] термализованных возбужденных состояний составного делящегося ядра в первой яме его потенциала деформации. Многоквaziчастичные волновые функции указанных состояний включают компоненты, связанные с коллективными деформационными колебаниями делящегося ядра и соответствующие введенным О. Бором [1] переходным делительным состояниям. В настоящей работе показано, что для случая спонтанного и низкоэнергетического вынужденного деления делящееся ядро и вылетающие из него ФД в окрестности точки разрыва указанного ядра должны находиться только в холодных неравновесных состояниях. При построении их спиновых распределений необходимо учитывать только нулевые поперечные bending- и wriggling-колебания делящегося ядра [2]. Проведено обобщение аппарата, развитого в работе [3] на случай асимметричного деления. Для оценки моментов инерции ФД входящих в коэффициенты указанных поперечных колебаний в рамках сверхтекучей модели атомного ядра, получена зависимость моментов инерции ФД от массового числа, имеющая пилообразный характер. Момент инерции легкого ФД превосходит аналогичный момент инерции тяжелого ФД, что соответствует предсказаниям работы [4]. Зависимость рассчитанных спинов ФД от массового числа имеет пилообразный характер, аналогичный зависимости полученной в работе [5], но отличается по средним значениям, которые для легкого

и тяжелого ФД равны 9.5h и 8.3h. Эти данные разумно согласуются с величинами, полученными в работе [6], поскольку, как показано в работе [7], значения спинов ФД отличаются от полученных в [5] на величину от 3.5h до 5h вследствие испускания испарительных нейтронов и γ -квантов.

Список литературы

1. A. Bohr, B. Mottelson, *Nuclear Structure*, (Benjamin, N-Y, 1974) V.2.
2. J. R. Nix and W. J. Swiatecki, *Nucl. Phys.* **71**, 1 (1965).
3. В. Е. Бунаков, С. Г. Кадменский, Д. Е. Любашевский, *ЯФ* **79**, 198 (2016).
4. J. Randrup and R. Vong, *Phys. Rev. Lett.* **127**, 062502(2021).
5. J. N. Wilson *et al.*, *Nature (London)* **590**, 566 (2021).
6. A. Bulgac, I. Abdurrahman, K. Godbey, and I. Stetcu, *Phys. Rev. Lett.* **127**, 022501 (2022).
7. A. Stutce, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **127**, 222501(2021).

SPIN DISTRIBUTION OF FRAGMENTS OF DOUBLE FISSION OF ATOMIC NUCLEI WITH BENDING AND WRIGGLING OSCILLATIONS TAKEN INTO ACCOUNT

S. G. Kadmsky, D. E. Lyubashevsky, D. S. Stepanov

Voronezh State University, Voronezh, Russia

E-mail: kadmensky@phys.vsu.ru

The problem of describing the spins of fission fragments (FF) requires the use of quantum concepts of the dynamics of the fission process for its solution. This process always begins with the formation [1] of thermalized excited states of a compound fissile nucleus in the first well of its deformation potential. The multiquasiparticle wave functions of these states include components associated with the collective deformation vibrations of the fissile nucleus and corresponding to the transition fission states introduced by O. Bohr [1]. In the present work, it is shown that for the case of spontaneous and low-energy induced fission, the fissile nucleus and the FFs emitted from it in the vicinity of the discontinuity point of the indicated nucleus should only be in cold nonequilibrium states. When constructing their spin distributions, it is necessary to take into account only zero transverse bending and wriggling vibrations of the fissile nucleus [2]. The apparatus developed in [3] is generalized to the case of asymmetric fission. To estimate the moments of inertia of the FF included in the coefficients of indicated transverse vibrations in the framework of the superfluid model of the atomic nucleus, the dependence of the moments of inertia of the FF on the mass number, which has a sawtooth character, is obtained. The moment of inertia of the light FF exceeds the similar moment of inertia of the heavy FF, which is consistent with the predictions of [4]. The dependence of the calculated FF spins on the mass number has a sawtooth character, similar to the dependence obtained in [5], but differs in the average values, which are equal to 9.5h and 8.3h for light and heavy FF. These data are in reasonable agreement with the values obtained in [6], since, as shown in [7], the values of the FF spins differ from those obtained in [5] by 3.5h to 5h due to the emission of evaporation neutrons and γ -quanta.

References

1. A. Bohr, B. Mottelson, *Nuclear Structure*, (Benjamin, N-Y, 1974) V.2.
2. J. R. Nix and W. J. Swiatecki, *Nucl. Phys.* **71**, 1 (1965).
3. V. E. Bunakov, S. G. Kadmsky, D. E. Lyubashevsky, *Nucl. Phys.* **79**, 304 (2016).
4. J. Randrup and R. Vong, *Phys. Rev. Lett.* **127**, 062502(2021).
5. J. N. Wilson *et al.*, *Nature (London)* **590**, 566 (2021).
6. A. Bulgac, I. Abdurrahman, K. Godbey, and I. Stetcu, *Phys. Rev. Lett.* **127**, 022501 (2022).
7. A. Stutce, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **127**, 222501(2021).

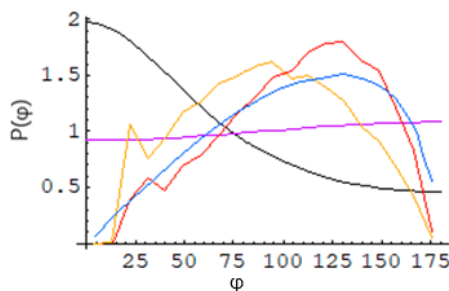
УГЛОВЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ СПИНОВ ФРАГМЕНТОВ ДВОЙНОГО ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР

С. Г. Кадменский, Д. Е. Любашевский, А. А. Писклюков, Д. С. Степанов

Voronezh State University, Voronezh, Russia
E-mail: kadmensky@phys.vsu.ru

Природа спинов фрагментов деления (ФД), а также их относительного орбитального момента обсуждается более шести десятилетий. Интерпретация недавних экспериментальных результатов [1] была поставлена под сомнение несколькими теоретическими исследованиями, которые не согласуются друг с другом. Согласно интерпретации работы [1], спины ФД образуются значительно позже момента деления ядра на ФД. Соглашаясь с некоррелированностью спинов ФД, авторы [2] на основе феноменологической модели FRAYA заключают, что спины ФД имеют слабую корреляцию с незначительной ориентацией спинов в противоположные стороны с количественной оценкой $P(180^\circ)/P(0^\circ) \approx 1.18$ (фиолетовая линия). Авторы работы [1] в полностью микроскопическом исследовании показывают, что исходные конечные значения спинов ФД определяются до испускания мгновенных нейтронов и каскадных гамма-квантов и сильно коррелируют с относительным углом между спинами, близким к $2\pi/3$ (красная, оранжевая и синяя линия).

В настоящей работе в рамках жидко-капельной модели ядра [3], получено заключение, что спины ФД имеют сильную корреляцию со значительной ориентацией спинов в одном направлении с количественной оценкой $P(180^\circ)/P(0^\circ) \approx 0.25$ (черная линия). Представленный на рисунке график находит простое физическое обоснование: так как отношение констант $C_w/C_b \approx 2.3$, то wiggling – колебания, спины которого параллельны друг другу, значительно преобладают над bending – колебаниями, спины которого антипараллельны друг другу.



Список литературы

1. A. Bulgac, Phys. Rev. C. 106, 014624 (2022).
2. J. Randrup and R. Vogt, Phys. Rev. Lett. 127, 062502(2021).
3. J. R. Nix and W. J. Swiatecki, Nucl. Phys. 71, 1 (1965).

ANGULAR CORRELATIONS OF THE SPINS OF FRAGMENTS OF NUCLEAR DOUBLE FISSION

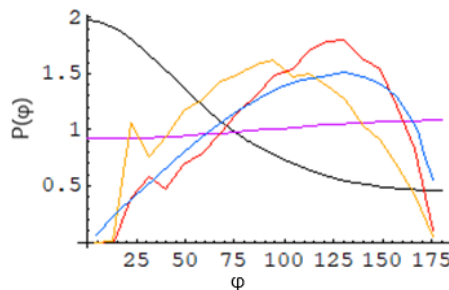
S .G. Kadmensky, D. E. Lyubashevsky, A. A. Pisklyukov, D. S. Stepanov

Voronezh State University, Voronezh, Russia
E-mail: kadmensky@phys.vsu.ru

The nature of the spins of fission fragments (FFs), as well as their relative orbital angular momentum, have been discussed for more than six decades. The interpretation of recent experimental results [1] has been challenged by several theoretical studies that are inconsistent with each other. According to the interpretation of [1], the FF spins are formed much later than the fission of the nucleus into the FF. Agreeing with the uncorrelatedness of the FF spins, the authors of [2] based on the phenomenological FRAYA model conclude that the FF spins have a weak correlation with an

insignificant orientation of the spins in opposite directions with a quantitative estimate of $P(180^\circ)/P(0^\circ) \approx 1.18$ (purple line). The authors of [1] in a fully microscopic study show that the initial final values of the FF spins are determined before the emission of prompt neutrons and cascade gamma quanta and strongly correlate with a relative angle between spins close to $2\pi/3$ (red, orange and blue lines).

In this work, in the framework of the liquid-drop model of the nucleus [3], it was concluded that the FF spins have a strong correlation with a significant orientation of the spins in one direction with a quantitative estimate of $P(180^\circ)/P(0^\circ) \approx 0.25$ (black line). The graph presented in the figure finds a simple physical justification: since the ratio of the constants $C_w / C_b \approx 2.3$, wriggling – oscillations, the spins of which are parallel to each other, significantly prevail over bending – oscillations, the spins of which are antiparallel to each other.



References

1. A. Bulgac, Phys. Rev. C. 106, 014624 (2022).
2. J. Randrup and R. Vogt, Phys. Rev. Lett. 127, 062502(2021).
3. J. R. Nix and W. J. Swiatecki, Nucl. Phys. 71, 1 (1965).

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ *np*-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РЕАКЦИИ *nd*-РАЗВАЛА ПРИ ЭНЕРГИИ НЕЙТРОНОВ 5 МэВ

А. А. Каспаров*, М. В. Мордовской, А. А. Афонин, Д. Г. Цветкович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН).

117312, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а

Телефон: 8(499)135-77-60 (Москва), 8(495)850-42-01 (Троицк),

Факс: 8(499)135-22-68 (Москва), 8(495)850-42-28 (Троицк), E-mail: kasparov200191@gmail.com

Реакция *nd*-развала является одной из основных малонуклонных реакций для получения данных о *NN*-взаимодействии. Полученные данные о *nn*-взаимодействии в реакции *nd*-развала при различных энергиях нейтронов имеют большой разброс значений, превышающий экспериментальные ошибки. Так, недавний анализ полученных в реакциях *nd*-и *dd*-развала значений длин нейтрон-нейтронного рассеяния [1] в значительной мере подтвердил гипотезу о влиянии *3N*-сил на величины извлекаемых параметров *nn*-взаимодействия в реакциях с малонуклонными системами [2].

В недавней работе [3] полученные в кинематически полном эксперименте по исследованию реакции *nd*-развала при энергиях нейтронов 9 и 11 МэВ канала РАДЭКС ИЯИ РАН значения $^1S_0$ *np*-длины рассеяния существенно отличаются от значения, полученного в эксперименте по свободному *np*-рассеянию, что может быть связано со значительным влиянием трехнуклонных сил. Для проверки данного предположения в ИЯИ РАН планируется исследование реакции *nd*-развала при более низких энергиях нейтронов. Преимуществом канала РАДЭКС является возможность изучения реакции *nd*-развала в широком диапазоне энергий нейтронов за счет восстановления энергии первичного пучка из кинематики реакции.

В настоящей работе рассматриваются кинематическое моделирование реакции $n+^2\text{H}\rightarrow p+n+n$ при энергии нейтронов 5 МэВ, на основе которого выбираются оптимальные условия будущего эксперимента по определению низкоэнергетических параметров np -взаимодействия (синглетной np -длины рассеяния и энергии виртуального $^1S_0$ состояния E_{np}).

Список литературы

1. Е. С. Конобеевский, А. А. Каспаров, М. В. Мордовской, С. В. Зуев, С. И. Поташев, А. А. Афонин, В. В. Мицук. Данные о нейтрон-нейтронной длине рассеяния, извлеченные из реакции nd -развала при $E_n = 9$ МэВ и $E_n = 11$ МэВ // Ядерная физика. 2022. Т. 85. № 3. С. 216–222.
2. Е. С. Конобеевский, С. В. Зуев, А. А. Каспаров, В. И. Кукулин, В. М. Лебедев, М. В. Мордовской, В.Н. Померанцев, А. В. Спасский. Низкоэнергетические параметры нейтрон-нейтронного взаимодействия: анализ данных, извлеченных из реакций nd - и dd -развалов // Ядерная физика. 2018. Т. 81. № 5. С. 555–563.
3. А. А. Каспаров, М. В. Мордовской, А. А. Афонин, С. И. Поташев, В. В. Мицук. Данные о np -длины рассеяния из реакции nd -развала при низких энергиях // Ядерная физика. 2023. Т. 86. № 1. С. 245–251.

MODELING AND SELECTION OF THE OPTIMAL EXPERIMENT CONDITIONS TO DETERMINE THE LOW-ENERGY PARAMETERS OF THE np -INTERACTION IN THE nd -BREAKUP REACTION AT A NEUTRON ENERGY OF 5 MeV

A. A. Kasparov*, M. V. Mordovskoy, A. A. Afonin, D. G. Tsvetkovich

Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
 prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a, Moscow 117312
 Phone: +7 (499) 135 77 60 (Moscow) +7 (495)850 42 01 (Troitsk),
 Fax: +7 (499) 135 22 68 (Moscow) +7 (495)850 42 28 (Troitsk), E-mail: kasparov200191@gmail.com

One of the main few-body reactions, in which data on NN -interaction are obtained, is the nd -breakup reaction. The obtained data on nn -interaction extracted from this reaction at different energies, have a large scatter of values that exceeds the experimental errors. For example, the analysis of the neutron-neutron scattering lengths obtained in the nd - and dd -breakup reactions that was performed recently in [1] confirmed, to a considerable extent, the hypothesis of the effect of three-nucleon forces on the nn -interaction parameters extracted in reactions involving few-nucleon systems [2].

In a recent paper [3], the values of $^1S_0$ np scattering length in a kinematically complete experiment on the study of the nd -breakup reaction at neutron energies of 9 and 11 MeV in the RADEX channel of the INR RAS were obtained. The ones differ significantly from the value obtained in the experiment on free np scattering. In turn, the difference in question may be due to a significant effect of three-nucleon forces. To verify this assumption, investigation of the $d+^1\text{H}\rightarrow p+p+n$ reaction at lower neutron energies is planned in the INR RAS. The advantage of RADEX channel is a possibility of studying nd -breakup reaction in a wide range of neutron energies by recovering the primary beam energy from the reaction kinematics.

In this work, kinematic simulation of the $n+^2\text{H}\rightarrow p+n+n$ reaction at a neutron energy of 5 MeV is considered. Based on the simulation results, the optimal conditions for the future experiment to determine the low-energy parameters of the np interaction (the singlet np scattering length and the energy of the virtual $^1S_0$ state E_{np}) are selected.

References

1. E. S. Konobeevski, A. A. Kasparov, M. V. Mordovskoy, S. V. Zuyev, S. I. Potashev, A. A. Afonin, V. V. Mitcuk. Data on the neutron-neutron scattering length from the nd -breakup reaction at $E_n = 8$ MeV and $E_n = 11$ MeV // Physics of Atomic Nuclei. 2022. V. 85. № 3. P. 289–295.
2. E. S. Konobeevski, S. V. Zuyev, A. A. Kasparov, V. I. Kukulin, V. M. Lebedev, M. V. Mordovskoy, V. N. Pomerantsev, A. V. Spassky. Low-energy parameters of neutron-neutron interaction:

analysis of data obtained in nd and dd breakup reactions // Physics of Atomic Nuclei. 2018. V. 81. № 5. P. 595–603.

3. A. A. Kasparov, M. V. Mordovskoy, A. A. Afonin, S. I. Potashev, V. V. Mitcuk. Data on the neutron-proton scattering length from the nd -breakup reaction at low energies // Physics of Atomic Nuclei. 2023. V. 86. № 1. P. 44–50.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИОГЕННОЙ ГАЗОВОЙ ИОННОЙ ЛОВУШКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. Когоутова^{1,2}, А. М. Родин¹, Л. Крупа^{1,2,3}, Й. Пехоушек², П. Когоут^{1,2}, Е. В. Чернышева¹,
А. В. Гуляев¹, А. В. Гуляева¹, Я. Климан⁵, А. Б. Комаров¹, Х. Ю. Куркова¹, А. Махер⁶,
С. Новоселов¹, А. Опихал^{1,2}, А. В. Подшибякин¹, В. С. Саламатин¹, С. В. Степанцов¹,
В. Ю. Веденеев¹, С. А. Юхимчук¹

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных реакций
имени Г. Н. Флерова, г. Дубна, Россия

² Университет имени Палацки, Оломоуц, Чехия

³ Чешский технический университет, Институт экспериментальной и прикладной физики,
Прага, Чехия

⁴ Западнечешский университет, Пльзень, Чехия

⁵ Физический институт Словацкой академии Наук, Братислава, Словакия

⁶ Эль-Халифа Эль-Мамун, улица Аббасья, Каир, Египет

Масса – это фундаментальное свойство атома, содержащее всю информацию о его составляющих и их взаимодействиях. Таким образом, он несет информацию о внутренней структуре ядра, раскрывает структуру квантово-механической оболочки внутри сложных ядер и определяет энергию, доступную для ядерных превращений в процессах радиоактивного распада. Измерения массы позволяют нам сравнивать ядерные модели и, таким образом, способствуют исследованию природы самого сильного взаимодействия. С целью высокоточного измерения массы тяжелых и сверхтяжелых элементов в ЛЯР, Дубна строится новая экспериментальная установка. Установка состоит из следующих частей: мишенной блок; газонаполненный сепаратор продуктов реакции полного синтеза; криогенная газовая ионная ловушка (КГИЛ); радиочастотная система транспортировки и охлаждения низкоэнергетического пучка; и много отражательный времяпролетный масс-спектрометр (МОВ-МС). КГИЛ отвечает за окончательное замедление и термализацию фрагментов, произведенных и отобранных в газонаполненном сепараторе. Термализация достигается в объеме, заполненном сверхчистым газообразным гелием при криогенных температурах. После термализации фрагменты извлекаются и транспортируются с помощью радиочастотного квадрупольа в МОВ-МС. Остановка и термализация поступающих продуктов реакции является ключевым этапом в измерении массы тяжелых элементов. Из-за низких сечений произведенных частиц КГИЛ должна быть максимально эффективной. Только те ионы, которые остановлены в объеме активного газа КГИЛ, могут быть извлечены. Эффективность торможения для продуктов реакции не может быть проверена в режиме онлайн и должна основываться на моделировании. Для использования КГИЛ на ионном пучке необходимо оценить оптимальную толщину фольги входного окна для каждой реакции. Проведено моделирование для определения эффективности и времени извлечения из КГИЛ продуктов, образующихся в следующих реакциях полного синтеза: $^{40}\text{Ar}+^{144}\text{Sm}\rightarrow^{184}\text{Hg}^*$, $^{40}\text{Ar}+^{166}\text{Er}\rightarrow^{206}\text{Rn}^*$, $^{48}\text{Ca}+^{197}\text{Au}\rightarrow^{245}\text{Es}^*$, $^{48}\text{Ca}+^{208}\text{Pb}\rightarrow^{256}\text{No}^*$, $^{48}\text{Ca}+^{209}\text{Bi}\rightarrow^{257}\text{Lr}^*$ and $^{48}\text{Ca}+^{242}\text{Pu}\rightarrow^{290}\text{Fl}^*$. На основе пакетов программ SRIM2013, GEANT4, ROOT, SIMION и COMSOL созданы две программы. Первая программа рассчитывала эффективность захвата продуктов реакции в зависимости от толщины входного окна и давления гелия в криогенной газовой ионной ловушке. Вторая программа определяла эффективность и время извлечения захваченных продуктов. Для испытаний газовой ловушки без пучка с использованием альфа-источника были рассчитаны эффективность и время извлечения из ловушки дочерних продуктов альфа-источника. Расчеты проводились для различных давлений гелия и в зависимости от положения альфа-источника в газовой ионной ловушке.

SIMULATION OF A CRYOGENIC GAS STOPPING CELL DESIGNED TO STUDY THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SUPERHEAVY ELEMENTS

**A. Kohoutova^{a,d}, L. Krupa^{a,c,d}, A. M. Rodin^a, E. V. Chernysheva^a, A. V. Gulyaev^a,
A. V. Gulyaeva^a, J. Kliman^b, P. Kohouta^d, A. B. Komarov^a, N. Yu. Kurkova^a, A. Maheer^c,
A. S. Novoselov^a, A. Opichal^{a,d}, J. Pechousek^d, V. S. Salamatina^a, S. V. Stepantsov^a,
A. V. Podshibiyakin^a, V. Yu. Vedenev^a, S. A. Yukhimchuk^a**

^aJoint Institute for Nuclear Research, Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Joliot Curie 6,
Dubna, Moscow region, 141980 Russia;

^bInstitute of Physics, Slovak Academy of Sciences, Dubravská cesta, 9, Bratislava, 84228 Slovakia;

^cInstitute of Experimental and Applied Physics, Czech Technical University in Prague, Husova 240/5,
Prague 1, Czech Republic;

^dFaculty of Science of Palacký University Olomouc, 17. listopadu 1192/12, 779 00 Olomouc,
Czech Republic;

^eAin Shams University, El-Khalyfa El-Mamoun Street Abbasya, Cairo , Egypt
E-mail: kohoutova@jinr.ru

The mass is a fundamental property of an atom comprising all information on its constituents and their interactions. Thus, it carries information on the internal structure of the nucleus, reveal the quantum mechanical shell structure within complex nuclei and determine the energy available for nuclear transformations in radioactive decay processes. Mass measurements allow us to benchmark nuclear models and thus contribute to investigations of the nature of the strong interaction itself. With the aim of high-precision mass measurement (HPMM) of heavy and super heavy elements, a new experimental setup is being built in FLNR, Dubna. The setup consists of the following parts: target unit; gas-filled separator of complete fusion reaction products; cryogenic gas stopping cell (CGSC); a radio-frequency system for transporting and cooling a low-energy beam; and a multi-reflection time of flight mass spectrometer (MR-TOF MS). CGSC is responsible for the final slowing down and thermalizing the energy-bunched fragments produced and selected in the Gas Filled Separator. The thermalization is achieved in a volume filled with ultra-pure helium gas at cryogenic temperatures. After the thermalization, the fragments are extracted and transported with a radio frequency quadrupole (RFQ) to the MR-TOF MS. The stopping and thermalization of the incoming fusion-evaporation residuals (EVRs) is a key step in HPMM of the heaviest elements. Due to the typically low incoming ion rates and low particle integrals CGSC has to be as efficient as possible. Only the ions that are stopped within the active gas volume of the CGSC can be extracted. The stopping efficiencies for EVRs cannot be verified online and must be relied upon by simulations. To use the CGSC on ion beam the optimal entrance window foil thickness for every reaction is necessary to evaluate. Simulations were performed to determine the efficiency and extraction time from a cryogenic gas ion cell for products arising in the following complete fusion reactions: $^{40}\text{Ar}+^{144}\text{Sm}\rightarrow^{184}\text{Hg}^*$, $^{40}\text{Ar}+^{166}\text{Er}\rightarrow^{206}\text{Rn}^*$, $^{48}\text{Ca}+^{197}\text{Au}\rightarrow^{245}\text{Es}^*$, $^{48}\text{Ca}+^{208}\text{Pb}\rightarrow^{256}\text{No}^*$, $^{48}\text{Ca}+^{209}\text{Bi}\rightarrow^{257}\text{Lr}^*$ and $^{48}\text{Ca}+^{242}\text{Pu}\rightarrow^{290}\text{Fl}^*$. Based on the software packages SRIM2013, GEANT4, ROOT, SIMION and COMSOL, two programs were created. The first program calculated the efficiency of capture of reaction products as a function of the thickness of the entrance window and the helium pressure in the cryogenic gas ion trap. The second program determined the efficiency and extraction time of the captured products. To test a gas trap without a beam using an alpha source, the efficiency and extraction time from the trap of the progeny of the alpha source were calculated. The calculations were carried out for different helium pressures and depending on the position of the alpha source in the gas ion trap.

О ВОЗМОЖНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СРАВНЕНИЯ ИЗОМЕРНОГО ОТНОШЕНИЯ ДЛЯ ЯДЕР ^{186}Re ПРИ РАДИАЦИОННОМ ЗАХВАТЕ РЕАКТОРНЫХ ТЕПЛОВЫХ И НАДТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ ПРИРОДНЫМ РЕНИЕМ

Ю. В. Волчихина¹, Д. М. Гордеева¹, А. А. Зырянова¹, В. В. Кольцов²,
И. М. Русских¹, В. А. Яковлев²

¹АО «Институт реакторных материалов», г. Заречный, Свердловская обл., РФ

²АО «Радиовый институт им. В. Г. Хлопина», г. Санкт-Петербург, РФ
тел. +7(911)9121226, e-mail: vladimir-koltsov@yandex.ru

Перспектива создания аккумулятора энергии на основе ядерного изомера ^{186m}Re (период полураспада $2 \cdot 10^5$ лет) делает актуальным вопрос о эффективности его наработки в зависимости от спектра нейтронов на образце природного рения в реакторе [1]. Нарботка изомера ^{186m}Re в реакторе при облучении нейтронами природного рения (^{185}Re – 37 %, ^{187}Re – 50 %) экспериментально исследовалась только в работах [1, 2]. В работе [1] было показано, что сечение образования изомера ^{186m}Re отличается не более чем на 20 % при облучении рения термализованными нейтронами и нейтронами в активной зоне реактора. Этот результат соответствует расчетам зависимости от энергии нейтронов отношения сечений образования в (n, γ) реакции изомера ^{186m}Re и ядра ^{186}Re в основном состоянии [3], для нейтронов с энергией до ~ 10 кэВ это расчетное изомерное отношение меняется менее чем на 10 %.

Мы рассмотрели возможность измерить различие сечений образования изомера при радиационном захвате тепловых и надтепловых нейтронов, облучая в реакторе образец из шести сложенных стопкой металлических фольг природного рения толщиной по 0,1 мм; образец из Re-фольги толщиной 0,1 мм в плоском Cd-пенале с толщиной стенки 1 мм; и мониторы нейтронного потока. По распределению в Re-образцах отношения измеренной удельной активности изомерных ядер ^{186m}Re к расчетной величине наработки ядер ^{186}Re в основном состоянии можно определить различие интегрального изомерного отношения δI_m для тепловых и надтепловых нейтронов с точностью около 0.5 %. Расчет с использованием изомерных отношений [3] показал для Re-образцов максимальную величину $\delta I_m \approx 1.3\%$.

Список литературы

- [1]. V. V. Koltsov // Physics of Atomic Nuclei. – 2021. – V. 84. –No 11. – P. 1817.
- [2]. D. W. Seegmiller, M. Linder, R. A. Meyer // Nucl. Phys. – 1972. – V. A185. – P. 94.
- [3]. M. B. Chadwick, P. G. Young // INDC(NDS)-263GSP, IAEA, Ref. Num.: 24043574. – 1992.

ON THE POSSIBILITY OF EXPERIMENTAL COMPARISON OF THE ISOMER RATIO FOR ^{186}Re NUCLEI IN THE RADIATIVE CAPTURE OF REACTOR THERMAL AND EPITHERMAL NEUTRONS BY NATURAL RHENIUM

Yu. V. Volchikhina¹, D. M. Gordeeva¹, A. A. Zyryanova¹, V. V. Koltsov²,
I. M. Russkikh¹, V. A. Yakovlev²

¹JSC «Institute of Reactor Materials», Zarechny, Sverdlovsk Region, RF

²JSC “Khlopin Radium Institute”, Sankt-Petersburg, RF
tel.: +7(911)9121226, e-mail: vladimir-koltsov@yandex.ru

The prospect of creating an energy accumulator based on the nuclear isomer ^{186m}Re (half-life $2 \cdot 10^5$ years) makes the question of the efficiency of its production depending on the neutron spectrum on a sample of natural rhenium in a reactor [1]. The production of the ^{186m}Re isomer in a reactor during neutron irradiation of natural rhenium (^{185}Re – 37 %, ^{187}Re – 50 %) was experimentally studied only in Ref. [1, 2]. It was shown in Ref. [1] that cross sections for the formation of the ^{186m}Re isomer differs by no more than 20 % when rhenium is irradiated with thermalized neutrons and neutrons in the reactor core. This

result corresponds to calculations of the neutron energy dependence of the ratio of the formation cross sections in the (n, γ) reaction of the ^{186m}Re isomer and the ^{186}Re nucleus in the ground state [3]. For neutrons with energies up to ~ 10 keV, this calculated isomeric ratio changes by less than 10 %.

We have considered the possibility of measuring the difference between the cross sections for isomer formation upon radiative capture of thermal and epithermal neutrons by irradiating in a reactor a sample of six stacked natural rhenium metal foils 0.1 mm thick; a sample of Re-foil 0.1 mm thick in a flat Cd-case with a wall thickness of 1 mm; and neutron flux monitors. From the distribution in Re samples of the ratio of the measured specific activity of ^{186m}Re isomeric nuclei to the calculated value of the production of ^{186}Re nuclei in the ground state, one can determine the difference in the integral isomeric ratio δI_m for thermal and epithermal neutrons with an accuracy of about 0.5 %. The calculation using isomeric ratios [3] showed for Re samples the maximum value $\delta I_m \approx 1.3\%$.

References

- [1]. V. V. Koltsov // Physics of Atomic Nuclei. – 2021. – V. 84. – No 11. – P. 1817.
- [2]. D. W. Seegmiller, M. Linder, R. A. Meyer // Nucl. Phys. – 1972. – V. A185. – P. 94.
- [3]. M. B. Chadwick, P. G. Young // INDC(NDS)-263GSP, IAEA, Ref. Num.: 24043574. – 1992.

О РЕЗОНАНСЕ ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЯДЕР ЗА СЧЕТ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЕРЕХОДОВ ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ АТОМОВ В ПЛАЗМЕ

В. В. Кольцов

АО «Радиовый институт им. В. Г. Хлопина», г. Санкт-Петербург, РФ
тел. +7(911)9121226, e-mail: vladimir-koltsov@yandex.ru

Недавно была обнаружена стимуляция девозбуждения ядерных изомеров (СДЯИ) ^{110m}Ag и ^{186m}Re в плазме и ионов изомера ^{93m}Mo в пучке ускорителя (см. ссылки в [1]). Процесс СДЯИ наиболее эффективен при возбуждении изомера на близкий вышележащий триггерный уровень, откуда ядро быстро переходит в основное состояние. Триггерный переход энергии ΔE_N может возбуждаться в плазме при захвате электрона плазмы ионом с изомерным ядром, но расчетная вероятность в такой модели СДЯИ меньше наблюдаемой для изомеров ^{110m}Ag [1] или ^{93m}Mo [2]. Другие известные модели дают еще меньшую вероятность СДЯИ. Облучение неплазменных мишеней изомера ^{186m}Re рентгеном и электронами не привели к эффекту СДЯИ [1]. Для возбуждения перехода ядра при электронном переходе энергии ΔE_e в атоме (НЕЕТ процесс) вероятность считается малой, поскольку для изолированных атомов $\Delta E_{e,0} \neq \Delta E_N$. Таким образом, становится актуальным поиск новых моделей СДЯИ в плазме.

В плазме вероятность НЕЕТ может сильно увеличиться за счет деформации электронных оболочек иона (заряд eZ) с изомерным ядром при его столкновениях с другими ионами. Энергии переходов в электронных оболочках сталкивающихся ионов зависят от расстояния R между их ядрами $\Delta E_e(R) = \Delta E_{e,0} + \Delta E_{e,1}$, где $\Delta E_{e,1}$ порядка “молекулярного” расщепления электронных уровней $(eZ)^2/R$. При некотором расстоянии R_{res} на время T_{res} может возникнуть резонанс $\Delta E_e(R_{\text{res}}) = \Delta E_N$ с точностью до ширины электронного перехода Γ_e . Согласно [3], вероятность НЕЕТ пропорциональна времени процесса и по сравнению с недеформированным атомом коэффициент усиления НЕЕТ за счет достижения резонанса $\eta \sim T_{\text{res}} \Delta E_{e,1}^2 / \hbar \Gamma_e$. Время T_{res} максимально, если R_{res} совпадает с точкой поворота при лобовом столкновении ионов, это условие дает оптимальную ионную температуру плазмы $\theta_i \sim (eZ)^2/R_{\text{res}}$.

Список литературы

- [1]. V. Koltsov // Plasma Phys. and Technology. – 2021. – V. 8. – No 1. – P. 5.
- [2]. Y. Wu, C. H. Keitel, A. Palffy // Phys. Rev. Lett. 2019. – V. 122. – P. 212501.
- [3]. Y. K. Ho, B. H. Zhang, Z. S. Yuan // Phys. Rev. C. – 1991. – V. 44. – No 5. – P. 1910.

ON RESONANCE FOR NUCLEAR EXCITATION BY ATOMIC ELECTRON TRANSITIONS DURING COLLISIONS OF ATOMS IN A PLASMA

V. V. Koltsov

¹ JSC “Khlopin Radium Institute”, Sankt-Petersburg, Russia
tel.: +7(911)9121226, e-mail: vladimir-koltsov@yandex.ru

Stimulation of the deexcitation of nuclear isomers (SDNI) of ^{110m}Ag and ^{186m}Re in plasma and of ions of the ^{93m}Mo isomer in the accelerator beam was recently discovered (see references in [1]). The SDNI process is most efficient when the isomer is excited to a close overlying trigger level, from where the nucleus quickly transits to the ground state. The trigger transition of energy ΔE_N can be excited in plasma when a plasma electron is captured by an ion with an isomeric nucleus, but the calculated SDNI probability in this model is less than that observed for the ^{110m}Ag [1] or ^{93m}Mo [2] isomers. Other known models give an even lower SDNI probability. Irradiation of non-plasma targets of the ^{186m}Re isomer with X-rays and electrons did not lead to the effect of SDNI [1]. For the nuclear excitation by electron transition of energy ΔE_e in the atom (NEET process), the probability is considered small, since for isolated atoms $\Delta E_{e,0} \neq \Delta E_N$. Thus, the search for new models of SDNI in plasma becomes topical.

In plasma, the probability of NEET can greatly increase due to the deformation of the electron shells of the ion (charge eZ) with the isomeric nucleus during its collisions with other ions. The transition energies in the electron shells of colliding ions depend on the distance R between their nuclei $\Delta E_e(R) = \Delta E_{e,0} + \Delta E_{e,1}$, where $\Delta E_{e,1}$ is of the order of the “molecular” splitting of electronic levels $(eZ)^2/R$. At a certain distance R_{res} , during a time interval T_{res} a resonance $\Delta E_e(R_{\text{res}}) = \Delta E_N$ can occur with accuracy up to the electronic transition width Γ_e . According to [3], the NEET probability is proportional to the process time and, compared with an undeformed atom, the NEET amplification factor due to reaching the resonance is $\eta \sim T_{\text{res}} \Delta E_{e,1}^2 / \hbar \Gamma_e$. The time T_{res} is maximum if R_{res} coincides with the turning point in the head-on collision of ions, this condition gives the optimum ion plasma temperature $\theta_i \sim (eZ)^2/R_{\text{res}}$.

References

- [1]. V. Koltsov // Plasma Phys. and Technology. – 2021. – V. 8. – No 1. – P. 5.
- [2]. Y. Wu, C. H. Keitel, A. Palffy // Phys. Rev. Lett. 2019. – V. 122. – P. 212501.
- [3]. Y. K. Ho, B. H. Zhang, Z. S. Yuan // Phys. Rev. C. – 1991. – V. 44. – No 5. – P. 1910.

ОПИСАНИЕ ДИНАМИКИ ДЕЛЕНИЯ ЧЕТНО-НЕЧЕТНЫХ ЯДЕР АКТИНИДОВ

П. В. Кострюков

Институт физики, Университет Марии Кюри-Склодовской,
20-031, Польша, Люблин, Радзишевского 10
kostr@kft.umcs.lublin.pl

Процесс деления атомных ядер не потерял своей актуальности, несмотря на долгую историю более чем восьмидесятилетнего открытия. В данной работе, используя обобщенный подход, где макроскопическая часть описывается энергией жидкой капли в рамках модели LSD [1], а микроскопические поправки определяются методом Струтинского. Одночастичные деформированные энергетические состояния рассчитываются с помощью [2] гамильтониана, имеющего эффективный потенциал типа Юкавы. Деформация составного делящегося ядра описывается в рамках Фурье параметризации [3], которая хорошо зарекомендовала себя при описании характеристик деления ядер [3–5] в различных областях таблицы нуклидов. Эволюция поверхности подчиняется многомерной системе уравнения Ланжевена, связанной с управляющим уравнением, отвечающим за испарение третьих частиц.

При учёте температурных зависимостей тензора диффузии и оболочечных эффектов получены первичные массовые и зарядовые распределения осколков деления ядер-актинидов с чётным и нечётным нуклонным составом. В случае низкоэнергетического деления также получены множественности нейтронов, вылетающих при термализации осколков, и вторичные массовые распределения для индуцированного и спонтанного деления ядер. Помимо этого, были изучены полные кинетические энергии, часть из которых также была сравнена с имеющимися экспериментальными данными. Сравнительный анализ распределений, полученных в рамках разработанной модели, показал хорошее согласие с имеющимися данными.

Список литературы

1. Pomorski K., Dudek J. Nuclear liquid-drop model and surface-curvature effects // *Phys. Rev. C*. 2003. Vol. 67, № 4. P. 044316.
2. Dobrowolski A., Pomorski K., Bartel J. Solving the eigenvalue problem of the nuclear Yukawa-folded mean-field Hamiltonian // *Computer Physics Communications*. 2016. Vol. 199. P. 118–132.
3. Schmitt C. et al. Performance of the Fourier shape parametrization for the fission process // *Phys. Rev. C*. 2017. Vol. 95, № 3. P. 034612.
4. Pomorski K. et al. Fission fragment mass yields of Th to Rf even-even nuclei * // *Chinese Phys. C*. 2021. Vol. 45, № 5. P. 054109.
5. Kostryukov P.V. et al. Potential energy surfaces and fission fragment mass yields of even-even superheavy nuclei * // *Chinese Phys. C*. 2021. Vol. 45, № 12. P. 124108.

THE DESCRIPTION OF FISSION DYNAMICS OF THE EVEN-ODD ACTINIDE-NUCLEI

P. V. Kostryukov

Institut Fizyki UMCS, Radziszewskiego 10, 20-031, Lublin, Poland
kostr@kft.umcs.lublin.pl

Process of atomic nuclear fission have not lost their relevance despite the long history of more than eighty years of discovery. In this work, using the macroscopic-microscopic approach, where the macroscopic part is described by the liquid droplet energy within the LSD model [1], and the microscopic corrections are determined by the Strutinsky method. The single-particle deformed energy states are calculated using [2] Hamiltonian with effective Yukawa-folded potential type. The deformation of the compound fissile nucleus is described in the framework of the Fourier parametrization [3], which has proved to be good in describing the fission characteristics of nuclei [3–5] in various regions of the nuclide table. The evolution of the surface obeys a multidimensional system of the Langevin equation coupled to the Master equation responsible for third light particle evaporation.

Taking into account temperature dependences of the diffusion tensor and shell effects, the primary mass and charge distributions of fission fragments of actinide nuclei with even and odd nucleon composition were obtained. In the case of low-energy fission, multiplicities of neutrons escaping during thermalization of fragments and secondary mass distributions for both induced and spontaneous nuclear fission also were obtained. In addition, the total kinetic energies have been studied as well, some of which have also been compared with available experimental data. The comparative analysis of the distributions obtained within the developed model showed good agreement with the available data.

References

1. Pomorski K., Dudek J. Nuclear liquid-drop model and surface-curvature effects // *Phys. Rev. C*. 2003. Vol. 67, № 4. P. 044316.
2. Dobrowolski A., Pomorski K., Bartel J. Solving the eigenvalue problem of the nuclear Yukawa-folded mean-field Hamiltonian // *Computer Physics Communications*. 2016. Vol. 199. P. 18–132.
3. Schmitt C. et al. Performance of the Fourier shape parametrization for the fission process // *Phys. Rev. C*. 2017. Vol. 95, № 3. P. 034612.

4. Pomorski K. et al. Fission fragment mass yields of Th to Rf even-even nuclei * // Chinese Phys. C. 2021. Vol. 45, № 5. P. 054109.

5. Kostryukov P.V. et al. Potential energy surfaces and fission fragment mass yields of even-even superheavy nuclei * // Chinese Phys. C. 2021. Vol. 45, № 12. P. 124108.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РАСПАДА НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ($A < 232$) ИЗОТОПОВ ПЛУТОНИЯ, ПОЛУЧАЕМЫХ В РЕАКЦИИ ПОЛНОГО СЛИЯНИЯ $^{26}\text{Mg}+^{208}\text{Pb}$

А. А. Кузнецова^{1,*}, А. И. Свирихин^{1,2}, А. В. Ерёмин^{1,2}, А. Г. Попеко^{1,2}, А. В. Исаев¹,
О. Н. Малышев^{1,2}, Ю. А. Попов^{1,2}, В. И. Чепигин¹, М. Л. Челноков¹, И. Н. Изосимов,
Е. А. Сокол¹, М. С. Тезекбаева^{1,3}, Б. Сайлаубеков^{1,3,4} и Р. С. Мухин^{1,2}

^{1,*}Объединенный институт ядерных исследований, 141980 г. Дубна, Россия.

²Государственный Университет “Дубна”, 141982 г. Дубна

³Институт Ядерной Физики, 050032 Алматы, Казахстан

⁴Евразийский Национальный Университет им. Л. Н. Гумилева, 010000 Астана, Казахстан

*E-mail: aakuznetsova@jinr.ru

На сепараторе продуктов реакций полного слияния SHELS в Лаборатории Ядерных Реакций им. Г. Н. Флерова, создана комбинированная детектирующая система GABRIELA, позволяющая проводить детальный анализ спектров α -, β -, γ -распадов тяжелых ядер. Недавно, детектирующая система была существенно модернизирована, монокристалльные Ge-детекторы были заменены на детекторы «клеверного» типа (всего 5 clover-детекторов). Была запущена в строй новая система сбора и накопления данных, на базе цифровой высокочастотной электроники National Instruments.

С модернизированной детектирующей системой уже был проведен ряд экспериментов с пучками ^{26}Mg , ^{40}Ar , ^{48}Ca и ^{54}Cr , изучались закономерности образования и свойства нуклидов от ^{230}Pu до ^{260}Sg . Для идентификации получаемых ядер применялись методы корреляционного анализа.

В докладе описывается эксперимент по изучению нейтронодефицитных ядер плутония, получаемых в реакции $^{26}\text{Mg}+^{208}\text{Pb}$. Проводилось сравнение выходов αn каналов с $1n$, $2n$ -каналами реакций полного слияния; уточнены свойства радиоактивного распада изотопа ^{230}Pu ($E_\alpha = 7066 \pm 9.8$ кэВ и 6990 ± 9.3 кэВ) и найдены X-лучи с энергией 88.5 ± 1.4 кэВ, вероятно, являющиеся следствием захвата электронов с атомной оболочки. Для ^{226}U , продукта альфа-распада ^{230}Pu , были найдены фотоны с энергией 181 кэВ, что может быть подтверждением перехода $2^+ \rightarrow 0^+$.

THE STUDY OF DECAY PROPERTIES OF NEUTRON-DEFICIENT ($A < 232$) ISOTOPES OF PLUTONIUM PRODUCED IN A COMPLETE FUSION REACTION OF $^{26}\text{Mg}+^{208}\text{Pb}$

A. A. Kuznetsova^{1,*}, A. I. Svirikhin^{1,2}, A. V. Yeremin^{1,2}, A. G. Popeko^{1,2}, A. V. Isaev¹,
O. N. Malyshev^{1,2}, Yu. A. Popov^{1,2}, V. I. Chepigin¹, M. L. Chelnokov¹, I. N. Izosimov¹,
E.A. Sokol¹, M. S. Tezekbayeva^{1,3}, B. S. Sailaubekov^{1,3,4} and R. S. Mukhin^{1,2}

¹Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow region, 141980 Russia

²Dubna State University, Dubna, 141982 Russia

³Institute of Nuclear Physics, Almaty, 050032 Kazakhstan

⁴L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010000 Astana, Kazakhstan.

*E-mail: aakuznetsova@jinr.ru

GABRIELA combined detecting system for detailed analysis of heavy nuclei α -, β -, γ -decay spectra was created at FLNR SHELS separator for products of complete fusion reactions. Recently, the detection system has been significantly upgraded, single-crystal Ge-detectors have been replaced by

detectors of the "clover" type (5 clover-detectors in total). A new data collection and accumulation system based on National Instruments digital high-frequency electronics was put into operation.

A series of experiments with ^{26}Mg , ^{40}Ar , ^{48}Ca and ^{54}Cr beams have already been carried out with the modernized detection system, and the regularities of formation and properties of nuclides from ^{230}Pu to ^{260}Sg have been studied. Methods of correlation analysis were used to identify the resulting nuclei.

The report describes an experiment on the study of neutron-deficient plutonium nuclei produced in the $^{26}\text{Mg}+^{208}\text{Pb}$ reaction. The yields of αn channels were compared with 1n , 2n channels of complete fusion reactions; the properties of the radioactive decay of the ^{230}Pu isotope ($E_\alpha = 7066 \pm 9.8$ keV and 6990 ± 9.3 keV) were refined and X-rays with an energy of 88.5 ± 1.4 keV were found, probably resulting from the capture of electrons from the atomic shell. For ^{226}U , the alpha decay product of ^{230}Pu , photons with an energy of 181 keV were found, which may be a confirmation of the $2^+ \rightarrow 0^+$ transition.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ МЕДЛЕННЫХ НЕЙТРОНОВ НА АТОМНЫХ ЯДРАХ

Л. С. Кузнецова¹, М. А. Науменко², В. В. Самарин^{1,2}, А. С. Бажин^{1,2}

¹ Государственный университет «Дубна», г. Дубна, Россия

² Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия

E-mail: lyuba.kuznetzova1833@yandex.ru

Экспериментальные сечения упругого рассеяния медленных нейтронов на атомных ядрах [1–3] имеют ярко выраженные максимумы для некоторых ядер, например, для ^{58}Ni . Для объяснения этого эффекта были рассчитаны сечения упругого рассеяния медленных нейтронов на широком наборе ядер путем численного решения уравнения Шредингера. Экспериментальные данные объясняются на основе концепции виртуальных уровней [4]. Показано, что для ядер, у которых сечения упругого рассеяния резко возрастают, энергии s -уровней нейтронов в среднем поле ядра стремятся к нулю.

Рассчитанные радиальные плотности вероятностей s -состояний медленных нейтронов при упругом рассеянии на ядрах ^{28}Si и ^{58}Ni представлены на рис. Два максимума для кремния соответствуют низколежащему $2s$ -состоянию, три максимума для никеля соответствуют виртуальному $3s$ -состоянию. Резкое изменение волновой функции при переходе от ^{28}Si к ^{58}Ni объясняет резонансный характер упругого рассеяния медленных нейтронов на ядрах ^{58}Ni с сечением 25 барн, которое на порядок превышает сечение для ^{28}Si (2 барна). Таким образом, показано, что резонанс на виртуальном s -уровне с энергией, близкой к нулю, приводит к резкому увеличению сечения упругого рассеяния.

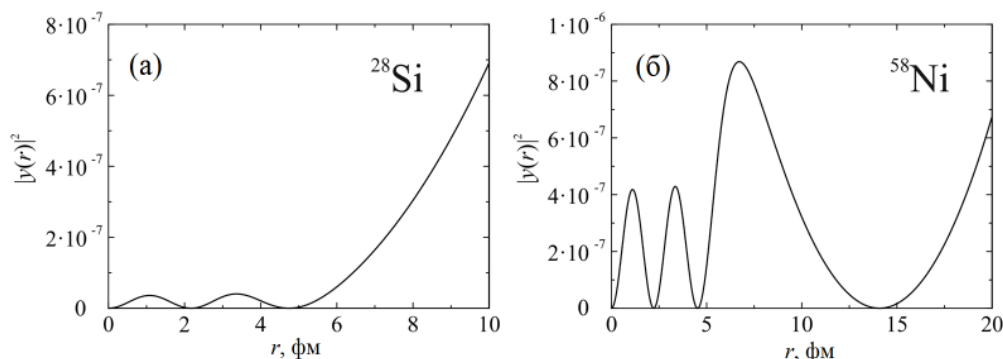


Рис. Радиальные плотности вероятностей s -состояний медленных нейтронов при упругом рассеянии на ядрах ^{28}Si (а) и ^{58}Ni (б).

Список литературы

1. V. I. Zagrebaev, A. S. Denikin, A. V. Karpov, A. P. Alekseev, M. A. Naumenko, V. A. Rachkov, V. V. Samarin, V. V. Saiko, NRV Web Knowledge Base on Low-Energy Nuclear Physics, <http://nrv.jinr.ru/>.
2. A. V. Karpov, A. S. Denikin, M. A. Naumenko, A. P. Alekseev, V. A. Rachkov, V. V. Samarin, V. V. Saiko, V. I. Zagrebaev, NRV Web Knowledge Base on Low-Energy Nuclear Physics, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* **859**, 112 (2017).
3. National Nuclear Data Center, <https://www.nndc.bnl.gov/>.
4. L. D. Landau, E. M. Lifshitz, Course of Theoretical Physics. Quantum Mechanics: Non-Relativistic Theory, Vol. 3 (Pergamon Press, 1977).

THEORETICAL STUDY OF RESONANCE ELASTIC SCATTERING OF SLOW NEUTRONS ON ATOMIC NUCLEI

L. S. Kuznetsova¹, M. A. Naumenko², V. V. Samarin^{1,2}, A. S. Bazhin^{1,2}

¹ Dubna State University, Dubna, Russia

² Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

E-mail: lyuba.kuznetzova1833@yandex.ru

Experimental cross sections for elastic scattering of slow neutrons on atomic nuclei [1-3] have clearly pronounced maxima for some nuclei, for example, for ^{58}Ni . To explain this effect, the cross sections for elastic scattering of slow neutrons on a wide set of nuclei have been calculated by numerical solution the Schrödinger equation. The experimental data are explained based on the concept of virtual levels [4]. It is shown that for the nuclei, for which the elastic scattering cross sections increase sharply, the energies of the s-levels of neutrons in the nuclear mean field go to zero.

The calculated radial probability densities for the s-states of slow neutrons upon elastic scattering on the ^{28}Si and ^{58}Ni nuclei are shown in Fig. The two maxima for silicon correspond to the low-lying 2s-state, three maxima for nickel correspond to the virtual 3s-state. The sharp change in the wave function when going from ^{28}Si to ^{58}Ni explains the resonance nature of elastic scattering of slow neutrons on the ^{58}Ni nuclei with a cross section of 25 barns, which is an order of magnitude higher than the cross section for ^{28}Si (2 barns). Thus, it is shown that the resonance at the virtual s-level with an energy close to zero leads to a sharp increase in the elastic scattering cross section.

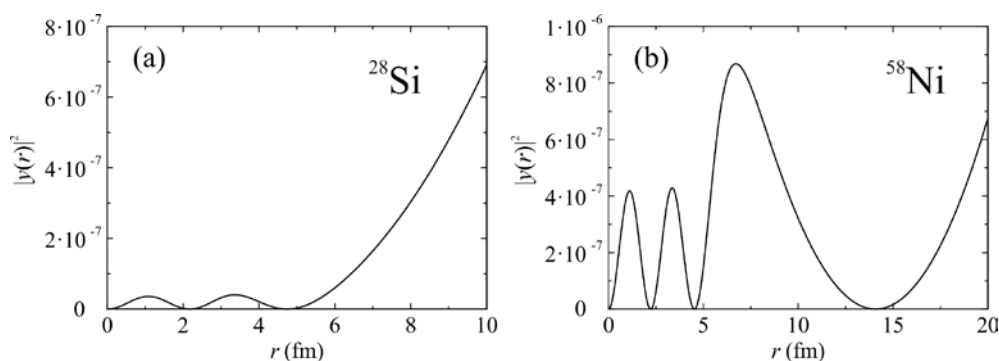


Fig. Radial probability densities for the s-states of slow neutrons upon elastic scattering on the ^{28}Si (a) and ^{58}Ni (b) nuclei

References

1. V. I. Zagrebaev, A. S. Denikin, A. V. Karpov, A. P. Alekseev, M. A. Naumenko, V. A. Rachkov, V. V. Samarin, V. V. Saiko, NRV Web Knowledge Base on Low-Energy Nuclear Physics, <http://nrv.jinr.ru/>.
2. A. V. Karpov, A. S. Denikin, M. A. Naumenko, A. P. Alekseev, V. A. Rachkov, V. V. Samarin, V. V. Saiko, V. I. Zagrebaev, NRV Web Knowledge Base on Low-Energy Nuclear Physics, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* **859**, 112 (2017).
3. National Nuclear Data Center, <https://www.nndc.bnl.gov/>.

A – ЗАВИСИМОСТЬ ВЫХОДА ^{12}B В ЗАРЯДОВО-ОБМЕННОЙ РЕАКЦИИ (^{12}C , ^{12}B)

М. А. Мартемьянов*, Б. М. Абрамов, Ю. А. Бородин, С. А. Булычев, И. А. Духовской, А. П. Крутенкова, В. В. Куликов, А. А. Куликовская, М. А. Мацюк, Е. Н. Турдакина

НИИ «Курчатовский институт», 123182 Россия, Москва

Тел.: +7 (499) 1969539, Факс: +7 (499) 1961704

*E-mail: mmartemi@gmail.com

Зарядово-обменные ядерные реакции служат инструментом для изучения довольно широкого спектра задач. Соответствующие экспериментальные данные важны для оценки роли мезонных обменов, нуклон-нуклонных корреляций, модификации барионных резонансов в ядерной среде, а также спин-изоспиновых ядерных возбуждений. Несмотря на то, что первые работы по данной тематике появились еще в 80-х годах прошлого века, процессы фрагментации реакций, идущих с перезарядкой нуклонов, довольно слабо изучены экспериментально [1].

В работе представлены результаты по фрагментации ядер углерода, сопровождающихся рождением ^{12}B , на 4-х различных мишенях. Экспериментальные данные были получены на фрагмент-сепараторе ФРАГМ и ускорительном комплексе ИТЭФ-ТВН при энергии 300 МэВ/нуклон. Регистрация фрагментов реакции проводилась под углом в $3,5^\circ$ по отношению к падающему пучку. Приводится методика отбора различных фрагментов, в том числе с использованием координатной информации в промежуточном фокусе, что улучшает точность измерения импульса до 0,4 % [2, 3]. В случае бериллиевой мишени было измерено дифференциальное сечение рождения ^{12}B как функция импульса фрагмента в широком диапазоне [4]. Также представлена зависимость выхода ^{12}B от атомной массы мишени А. Измерения процессов перезарядки в этом диапазоне энергий выполнены впервые. Приводится сравнение экспериментальных данных с предсказаниями моделей ядро-ядерных взаимодействий. Представленные результаты расширяют существующую базу данных о процессах ядерной фрагментации и дают новый материал для проверки теоретических моделей.

Список литературы

- [1] M.Roy-Stephan *et al.*, *Nucl. Phys. A* 482 (1988) 373.
- [2] Б. М. Абрамов *и др.*, *ЯФ*, Т. 78, №5, 403 (2015).
- [3] В. М. Abramov *et al.*, *Phys. At. Nucl.* 85, № 9, 1541 (2022).
- [4] А. А. Куликовская *и др.*, *ЯФ*, Т. 85, №5, 339 (2022).

A – DEPENDENCE OF THE ^{12}B YIELD IN CHARGE-EXCHANGE REACTION (^{12}C , ^{12}B)

M. A. Martemianov*, B. M. Abramov, Yu. A. Borodin, S. A. Bulychjov, I. A. Dukhovskoy, A. P. Krutenkova, V. V. Kulikov, A. A. Kulikovskaya, M. A. Matsyuk, E. N. Turdakina

NRC «Kurchatov Institute», 123182 Russia, Moscow

Tel.: +7 (499) 1969539, Fax: +7 (499) 1961704

*E-mail: mmartemi@gmail.com

Charge-exchange nuclear reactions represent a tool for studying a fairly wide range of problems. The corresponding experimental data are important for evaluating the role of meson exchanges, nucleon-nucleon correlations, modification of baryon resonances in a nuclear medium, and spin-isospin nuclear excitations. Despite the fact that the first works on this topic appeared in the 80s of the last century, the

processes of fragmentation of reactions proceeding with nucleon charge exchange are rather poorly studied experimentally [1].

The paper presents the results on the fragmentation of carbon nuclei, accompanied by the ^{12}B production, on four different targets. Experimental data were obtained at the FRAGM fragment-separator and the ITEP-TWAC accelerator complex at energy of 300 MeV/nucleon. The reaction fragments were detected at angle $3,5^\circ$ with respect to the incident beam. A technique for selecting various fragments, including the use of coordinate information in an intermediate focus, is presented, which improves the accuracy of momentum measurement to 0,4% [2, 3]. In the case of a beryllium target, the differential cross section for ^{12}B production was measured as a function of the fragment momentum in a wide range [4]. The dependence of the ^{12}B yield on the atomic mass of the target A is also presented. Measurements of charge exchange processes in this energy range were performed for the first time. The experimental data are compared with the predictions of models of nucleus-nucleus interactions. The presented results expand the existing database of nuclear fragmentation processes and provide new material for testing theoretical models.

References

- [1] M. Roy-Stephan *et al.*, *Nucl. Phys. A* 482 (1988) 373.
- [2] B. M. Abramov *et al.*, *Yad. Fiz.*, V. 78, № 5, 403 (2015).
- [3] B. M. Abramov *et al.*, *Phys. At. Nucl.* 85, № 9, 1541 (2022).
- [4] A. A. Kulikovskaya *et al.*, *Yad. Fiz.*, V. 85, № 5, 339 (2022).

АНИЗОТРОПИЯ СПЕКТРОВ МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ $^{232}\text{Th}(n,F)$ и $^{238}\text{U}(n,F)$

В. М. Маслов¹

¹Слободской проезд 4, 220025, г. Минск, Белоруссия
E-mail: mvm2386@yandex.ru

Угловая анизотропия вторичных нейтронов проявляется в эмиссионных нейтронных спектрах (ЭНС) $^{232}\text{Th}+n$ и $^{238}\text{U}+n$ [1, 2], проявление эффектов такой же природы может быть детально предсказано в наблюдаемых спектрах мгновенных нейтронов деления (СМНД). В случае ЭНС анизотропия обусловлена угловой зависимостью упругого рассеяния, прямого возбуждения коллективных уровней и пред-равновесной эмиссией 1-го нейтрона реакции $(n,nX)^1$, а в случае СМНД – эксклюзивными спектрами пред-делительных нейтронов реакций $(n,xnf)^1$. Для взаимодействий нейтронов с ^{232}Th и ^{238}U учитывалась связь уровней полосы основного состояния с $J^\pi = 0^+, 2^+, 4^+, 6^+, 8^+$ (в модели жесткого ротатора), связь уровней γ -полос с $K^\pi = 0^+, 2^+$, а также уровней октупольных полос с $K^\pi = 0^-$ учитывалась в модели мягкого ротатора [3–5] (уровни с энергиями возбуждения с $U = 0\sim 1.2$ МэВ). Детально описаны ЭНС для $^{232}\text{Th}+n$ и $^{238}\text{U}+n$ при $E_n \sim 6, \sim 12, \sim 14, \sim 18$ МэВ. В результате достигнуто адекватное описание дважды дифференциальных эмиссионных спектров и угловых распределений $(n,nX)^1$ нейтронов в области непрерывного спектра, соответствующего энергиям возбуждения остаточных $U = 1\sim 6$ МэВ для $E_n \sim 0.01\sim 20$ МэВ [6].

В случае СМНД анизотропия обусловлена тем, что часть $(n,nX)^1$ нейтронов будет проявляться в эксклюзивных спектрах пред-делительных нейтронов, аналогично реакции $^{235}\text{U}(n,xnf)$ [7]. Для реакций $^{232}\text{Th}(n,xnf)^{1\dots x}$ и $^{238}\text{U}(n,xnf)^{1\dots x}$ расчетные СМНД демонстрируют иную чувствительность к эмиссии $(n,xnf)^1$ нейтронов в переднюю и заднюю полусферы относительно налетающего пучка нейтронов. Средняя энергия $(n,xnf)^1$ нейтронов зависит от угла эмиссии нейтронов θ (см. Рис. 1), сечение деления, среднее число мгновенных нейтронов деления и полная кинетическая энергия осколков(продуктов) деления ТКЕ также зависят от угла эмиссии θ . Эксклюзивные спектры $(n,xnf)^{1\dots x}$ нейтронов для $\theta \sim 90^\circ$ соответствуют согласованному описанию наблюдаемых сечений реакций деления(эмиссии нейтронов) $^{232}\text{Th}(n,F)$ ($^{238}\text{U}(n,F)$) и

$^{232}\text{Th}(n, xn)(^{238}\text{U}(n, xn))$ для $E_n \sim 0.01\text{--}20$ МэВ. Эксклюзивные спектры пред-делительных нейтронов реакций $(n, xn)^{1\dots x}$, а также эксклюзивные спектры нейтронов $(n, n\gamma)$ и $(n, xn)^{1\dots x}$, вычислены в рамках формализма Хаузера–Фешбаха одновременно с сечениями (n, F) и (n, xn) реакций с включением угловой зависимости эмиссии первого нейтрона $(n, nX)^1$ [6]. Аппроксимация распределения $\omega(\theta)$ [6] согласуется с измеренными дважды дифференциальными ЭНС при $E_n \sim 6\text{--}18$ МэВ. Корреляция угловой анизотропии $(n, xn)^1$ вторичных нейтронов с вкладом эмиссионного деления (n, nf) в наблюдаемое сечение деления и угловой анизотропией эмиссионных нейтронных спектров представлена на рис. 2 для $^{232}\text{Th}+n$ и $^{238}\text{U}+n$ с помощью отношения средних энергий СМНД и эксклюзивных $(n, xn)^{1\dots x}$ спектров пред-делительных нейтронов.

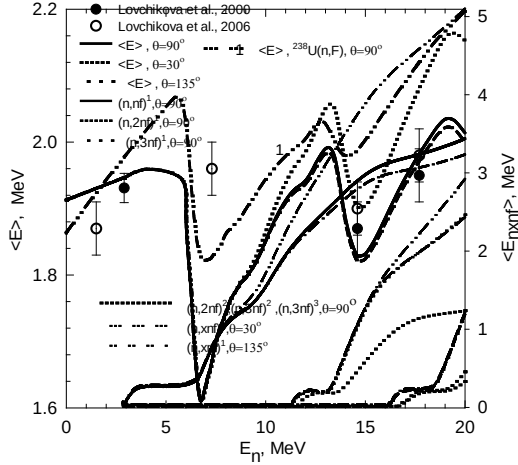


Рис. 1. $\langle E \rangle$ и $\langle E_{n,xf} \rangle$ для $^{232}\text{Th}(n, F)$ и $^{238}\text{U}(n, F)$

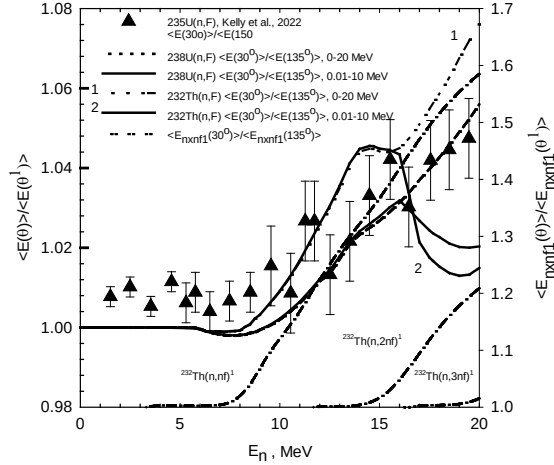


Рис. 2. $^{232}\text{Th}(n, F)$ и $^{238}\text{U}(n, F)$, отношения $\langle E \rangle$, $\langle E_{n,xf} \rangle$ для $30^\circ/135^\circ$

Список литературы

1. M. Baba, H. Wakabayashi, N. Ito et al., Journ. Nucl. Sci. Techn., **27**, 601 (1990).
2. M. Baba, H. Wakabayashi, N. Ito et al., JAERI-M-89-143, 1989.
3. V. M. Maslov, Yu. V. Porodzinskij, N. A. Tetereva et al., Nucl. Phys. A, **764**, 212, (2006).
4. V. M. Maslov, M. Baba, A. Hasegawa, A. B. Kagalenko, N. V. Kornilov, N. A. Tetereva, INDC(BLR)-14, IAEA, Vienna (2003), <https://www-nds.iaea.org/publications/indc/indc-blr-0014/>
5. V. M. Maslov, M. Baba, A. Hasegawa, A. B. Kagalenko, N. V. Kornilov, N. A. Tetereva, INDC(BLR)-16, IAEA, Vienna (2003), <https://www-nds.iaea.org/publications/indc/indc-blr-0016/>
6. V.M., Maslov, LXXII International Conference “NUCLEUS-2022, Fundamental problems and applications”, Moscow, July, 11–16, 2022, Book of Abstracts, p.168, <https://events.sinp.msu.ru/event/8/attachments/181/875/nucleus-2022-book-of-abstracts-www.pdf>.
7. K. J. Kelly, J. A. Gomez, M. Devlin et al, Phys. Rev. C **105**, 044615 (2022)

ANGULAR ANISOTROPY OF PRE-FISSION NEUTRONS IN $^{232}\text{Th}(n, F)$ AND $^{238}\text{U}(n, F)$

V. M. Maslov¹

¹Slobodskoy proezd 4, 220025, Minsk, Byelorussia
E-mail: mvm2386@yandex.ru

Neutron emission spectra (NES) of $^{232}\text{Th}+n$ and $^{238}\text{U}+n$ interactions [1, 2] provide strong evidence of angular anisotropy of secondary neutron emission, another evidence might be predicted in prompt fission neutron spectra (PFNS). In case of NES observed angular anisotropy is mostly due to angular dependence of elastic scattering, direct excitation cross sections of collective levels and pre-equilibrium emission of $(n, nX)^1$ neutrons. In current analysis of ^{232}Th and ^{238}U neutron data ground state

band levels $J^\pi = 0^+, 2^+, 4^+, 6^+, 8^+$ are coupled within rigid rotator model, while those of γ -bands with $K^\pi = 0^+, 2^+$, octupole band $K^\pi = 0^-$ are coupled within soft deformable rotator model [3–5] (level excitation energies $U=0\sim 1.2$ MeV). Data on $^{232}\text{Th}+n$ and $^{238}\text{U}+n$ NES are exhaustively described at $E_n\sim 6, \sim 12, \sim 14, \sim 18$ MeV. The net effect of these procedures is the adequate approximation of angular distributions of $(n,nX)^1$ first neutron inelastic scattering in continuum, which corresponds to $U=1\sim 6$ MeV excitations for $E_n\sim 0.01\text{--}20$ MeV [6].

In case of PFNS anisotropy would occur because some portion of $(n,nX)^1$ neutrons might be involved in exclusive pre-fission neutron spectra like in $^{235}\text{U}(n,xnf)$ reactions [7]. In $^{232}\text{Th}(n,xnf)^{1,\dots,x}$ and $^{238}\text{U}(n,xnf)^{1,\dots,x}$ reactions calculated PFNS demonstrates different responses to neutron emission in forward and backward $(n,xnf)^1$ semi-spheres relative to the incident neutron momentum. Average energy of $(n,xnf)^1$ neutrons depends on the emission angle θ (see Fig.), i.e. fission cross sections, prompt neutron number and total kinetic energy depend on angle θ as well. Exclusive neutron spectra $(n,xnf)^{1,\dots,x}$ at $\theta\sim 90^\circ$ are consistent with observed $^{232}\text{Th}(n,F)$ ($^{238}\text{U}(n,F)$) and $^{232}\text{Th}(n,xn)$ ($^{238}\text{U}(n,xn)$) reaction cross sections within $E_n\sim 0.01\text{--}20$ MeV energy range. Exclusive neutron spectra of $(n,xnf)^{1,\dots,x}$, $(n,n\gamma)$ and $(n,xn)^{1,\dots,x}$ are calculated within Hauser-Feshbach formalism alongside with (n,F) and (n,xn) reaction cross sections, angular dependence of first neutron $(n,nX)^1$ emission distribution $\omega(\theta)$ being included [6]. Approximation obtained for $\omega(\theta)$ [6] is consistent the measured double differential NES at $E_n\sim 6\text{--}18$ MeV. The correlations of angular dependence of $(n,xnf)^1$ neutron emission with emissive fission (n,xnf) contribution to the observed fission cross section and angular anisotropy of NES of $^{232}\text{Th}+n$ and $^{238}\text{U}+n$ are shown on Fig. 2 as ratios of average energies of PFNS and those of $(n,xnf)^{1,\dots,x}$ exclusive pre-fission neutron spectra.

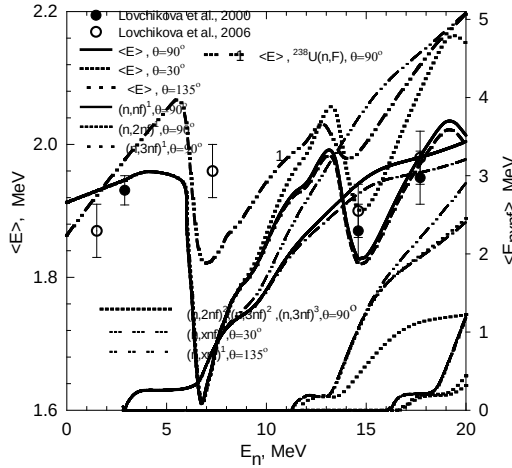


Fig. 1. $\langle E \rangle$ and $\langle E_{n,xnf} \rangle$ of $^{232}\text{Th}(n,F)$ and $^{238}\text{U}(n,F)$

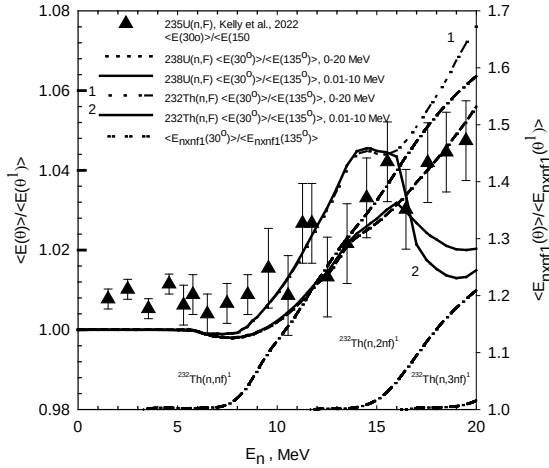


Fig. 2. $^{232}\text{Th}(n,F)$ and $^{238}\text{U}(n,F)$ ratios of $\langle E \rangle, \langle E_{n,xnf} \rangle$ at $30^\circ/135^\circ$

References

1. M. Baba, H. Wakabayashi, N. Ito et al., Journ. Nucl. Sci. Techn., **27**, 601 (1990).
2. M. Baba, H. Wakabayashi, N. Ito et al., JAERI-M-89-143, 1989.
3. V.M. Maslov, Yu. V. Porodzinskij, N. A. Tetereva et al., Nucl. Phys. A, **764**, 212, (2006).
4. V. M. Maslov, M. Baba, A. Hasegawa, A. B. Kagalenko, N. V. Kornilov, N. A. Tetereva, INDC(BLR)-14, IAEA, Vienna (2003), <https://www-nds.iaea.org/publications/indc/indc-blr-0014/>
5. V. M. Maslov, M. Baba, A. Hasegawa, A. B. Kagalenko, N. V. Kornilov, N. A. Tetereva, INDC(BLR)-16, IAEA, Vienna (2003), <https://www-nds.iaea.org/publications/indc/indc-blr-0016/>
6. V. M. Maslov, LXXII International Conference “NUCLEUS-2022, Fundamental problems and applications”, Moscow, July, 11–16, 2022, Book of Abstracts, p.168, <https://events.sinp.msu.ru/event/8/attachments/181/875/nucleus-2022-book-of-abstracts-www.pdf>.
7. K. J. Kelly, J. A. Gomez, M. Devlin et al, Phys. Rev. C **105**, 044615 (2022)

В. М. Маслов¹

¹Слободской проезд 4, 220025, г. Минск, Белоруссия
E-mail: mvm2386@yandex.ru

Спектры пред-делительных нейтронов являются индикатором распределения энергии реакции деления между кинетической энергией осколков ТКЕ, их энергией возбуждения и мгновенными нейтронам деления. На примере реакций $^{239}\text{Pu}(n,F)$ и $^{235}\text{U}(n,F)$ показано, как форма наблюдаемых спектров мгновенных нейтронов деления (СМНД) зависит от делимости (вероятности деления) составных и остаточных ядер [1]. Корреляция этого эффекта с вкладами эмиссионного деления (n,xnf) в наблюдаемое сечение деления и конкуренцией реакций ($n,n\gamma$), (n,xn)^{1...x} позволяет предсказать наблюдаемые СМНД, ТКЕ и $\nu_p(E_n)$ для $^{238,239,240,241,242}\text{Pu}(n,F)$. Эксклюзивные спектры пред-делительных нейтронов (n,xnf)^{1...x} соответствуют описанию сечений деления $^{242}\text{Pu}(n,F)$, $^{241}\text{Pu}(n,F)$, $^{240}\text{Pu}(n,F)$, $^{239}\text{Pu}(n,F)$, $^{238}\text{Pu}(n,F)$, $^{237}\text{Pu}(n,F)$ и $^{236}\text{Pu}(n,F)$, а также спектров эмиссии нейтронов $^{239}\text{Pu}(n,xn)$ для $E_n \sim 14$ МэВ. Исходные параметры модели фиксированы при описании СМНД $^{239}\text{Pu}(n_{th},F)$, $^{240}\text{Pu}(sf)$, $^{242}\text{Pu}(sf)$. Влияние спектров $^{239}\text{Pu}(n,xnf)$ ^{1...x} и $^{240}\text{Pu}(n,xnf)$ ^{1...x} на СМНД [2] показано на рис. 1, а на средние энергии $\langle E \rangle$ [3] на рис. 2. Влияние (n,xnf)^{1...x} нейтронов на отношения СМНД для $^{239}\text{Pu}(n,F)$ и $^{235}\text{U}(n,F)$ [4] приводит к скрытым структурам.

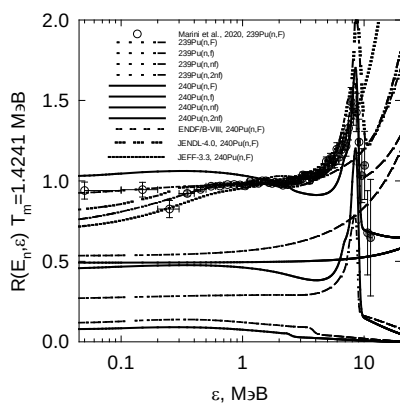


Рис. 1 СМНД $^{239,240}\text{Pu}(n,F)$

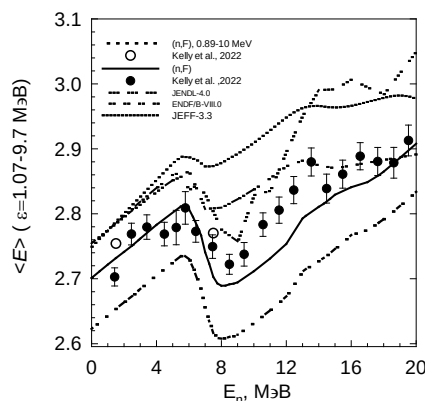


Рис. 2. $\langle E \rangle$ $^{240}\text{Pu}(n,F)$

Список литературы

1. Maslov V. M., LXXII Международная конференция “ Ядро-2022, Фундаментальные вопросы и приложения”, Москва, июль, 11–16, 2022, [https://events.sinp.msu.ru/event/8/contributions/586/attachments/568/881/mvmNucl 2022%2 B.pdf](https://events.sinp.msu.ru/event/8/contributions/586/attachments/568/881/mvmNucl%2022%20B.pdf)
2. Marini P., Taieb J., Laurent B. et al., Phys. Rev. C 101, 044614 (2020).
3. Kelly K. et al., Nuclear Data Week(s) 2022 (CSEWG-USNDP-NDAG) (31 October 2022 - 11 November 2022), <https://indico.bnl.gov/event/15497/contributions/69818/>
4. Devlin M., Bennett E.A., Buckner M.Q. et al., Proc. Intern. Conf. Nuclear Data for Science and Technology (ND2022), Sacramento, USA, July 24–29, 2022, <https://indico.frib.msu.edu/event/52/contributions/616/attachments/491/2023/Devlin-ND2022.pdf>

PROMPT FISSION NEUTRON SPECTRA AND TKE OF $^{238-}, ^{239-}, ^{240-}, ^{241-}, ^{242-}\text{Pu}(n,F)$

V. M. Maslov¹

¹Slobodskoy proezd 4, 220025, Minsk, Byelorussia
E-mail: mvm2386@yandex.ru

Pre-fission neutrons are the marker of fission energy sharing between TKE, fission fragments excitation energy and pre-fission neutrons, they influence the observed prompt fission neutron spectra (PFNS), TKE and pre-fission neutrons. As shown for $^{239}\text{Pu}(n,F)$ and $^{235}\text{U}(n,F)$ the PFNS shapes depend on the fissilities of composite and residual nuclei [1]. These peculiarities when correlated with partial contributions of the emissive fission to the observed fission cross sections, competition of $(n,n\gamma)$, $(n,xn)^{1,\dots,x}$ allows to predict observed PFNS, TKE, $\nu_p(E_n)$ of $^{238,239,240,241,242}\text{Pu}(n,F)$. Exclusive pre-fission $(n,xnf)^{1,\dots,x}$ are consistent with observed fission cross sections of $^{242}\text{Pu}(n,F)$, $^{241}\text{Pu}(n,F)$, $^{240}\text{Pu}(n,F)$, $^{239}\text{Pu}(n,F)$, $^{238}\text{Pu}(n,F)$, $^{237}\text{Pu}(n,F)$ и $^{236}\text{Pu}(n,F)$ and emissive neutrons spectra $^{239}\text{Pu}(n,xn)$ at $E_n \sim 14$ MeV. The initial model parameter values are fixed by fits of PFNS for $^{239}\text{Pu}(n,F)$, $^{240}\text{Pu}(sf)$ and $^{242}\text{Pu}(sf)$. The influence of $^{239}\text{Pu}(n,xnf)^{1,\dots,x}$ and $^{240}\text{Pu}(n,xnf)^{1,\dots,x}$ pre-fission neutrons on PFNS [2] is shown on Fig. 1, while that on $\langle E \rangle$ [3] is shown on Fig. 2. The influence of $(n,xnf)^{1,\dots,x}$ neutrons on the ratios of PFNS of $^{239}\text{Pu}(n,F)$ and $^{235}\text{U}(n,F)$ [4] is shown to produce hidden structures.

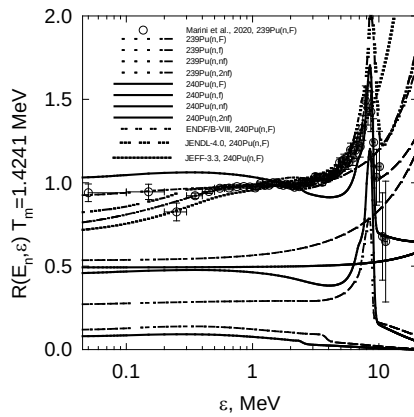


Fig. 1. PFNS of $^{239,240}\text{Pu}(n,F)$

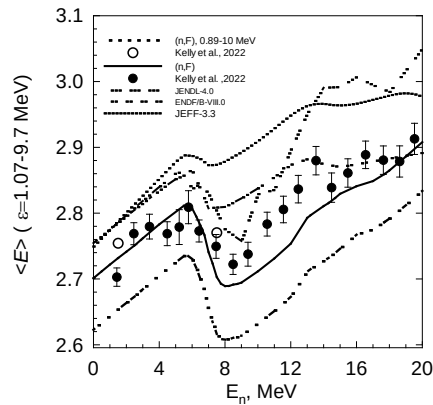


Fig. 2. $\langle E \rangle$ of $^{240}\text{Pu}(n,F)$

References

1. Maslov V. M., LXXII International Conference “NUCLEUS-2022, Fundamental problems and applications”, Moscow, July, 11–16, 2022, https://events.sinp.msu.ru/event/8/contributions/586/attachments/568/881/mvmNucl_2022%20B.pdf
2. Marini P., Taieb J., Laurent B. et al., Phys. Rev. C 101, 044614 (2020).
3. Kelly K. et al., Nuclear Data Week(s) 2022 (CSEWG-USNDP-NDAG) (31 October 2022 - 11 November 2022), <https://indico.bnl.gov/event/15497/contributions/69818/>
4. Devlin M., Bennett E. A., Buckner M. Q. et al., Proc. Intern. Conf. Nuclear Data for Science and Technology (ND2022), Sacramento, USA, July 24–29, 2022, <https://indico.frib.msu.edu/event/52/contributions/616/attachments/491/2023/Devlin-ND2022.pdf>

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ИЗОТОПНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ВПЕРЕД ЛЕТАЮЩИХ ФРАГМЕНТОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ ЯДЕР ВБЛИЗИ ЭНЕРГИИ ФЕРМИ

Т. И. Михайлова¹, Б. Эрдэмчимэг^{1,2}

¹141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

²Национальный Университет Монголии, Центр Ядерной Физики, Улан-Батор, Монголия
E-mail: tmikh@jinr.ru

Реакции тяжелых ионов при энергиях в окрестности энергии Ферми могут быть использованы для получения ядер, удаленных от линии бета стабильности, не встречающихся в природе. Изучение механизма образования этих фрагментов может помочь в изучении ядерных потенциалов и определении зависимости внутренней энергии ядерной материи от плотности ядер. Поэтому очень важно предсказывать выходы различных изотопов, их энергии и угловые распределения с большой точностью. В применяемом нами транспортно-статистическом подходе процесс описания реакции делится на три этапа: инициализация основного состояния, динамическая эволюция системы двух сталкивающихся ионов во времени и последующий статистический распад первичных возбужденных фрагментов. Для описания временной эволюции мы используем метод переноса, основанный на транспортном уравнении Больцмана–Власова, а для описания де-возбуждения – описание в рамках модели статистической фрагментации. В данной работе мы обсуждаем, как влияет метод инициализации начального состояния на последующие расчеты. Приводится сравнение с имеющимися экспериментальными данными.

CALCULATION CHARACTERISTICS OF ISOTOPE DISTRIBUTIONS OF FRAGMENTS MOVING IN BEAM DIRECTION OBTAINED IN NUCLEAR COLLISIONS AT FERMI ENERGIES

T. I. Mikhailova¹, B. Erdemchimeg^{1,2}

¹ Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

² Nuclear Research Center, National University of Mongolia
E-mail: tmikh@jinr.ru

Heavy-ion reactions at energies close to Fermi energy can be used to obtain nuclides far from stability line not occurred in nature. Studying the mechanism of these fragments formation could be useful in investigations of nuclear potentials and determination of the intrinsic energy dependence on nuclear matter density. This is why it is of great importance to predict isotope cross-sections, their velocities and angle distributions with high precision. In this report we use transport-statistical approach which consists of three: ground state initialization, dynamical evolution of the system of two colliding ions and following statistical decay of primary excited fragments. For the time evolution we use a Boltzmann-Vlasov type transport approach, and for the de-excitation a statistical multi-fragmentation description. In this report we discuss the influence of different models of ground state initialization on the quality of final isotope and velocity dependence predictions. Comparison with experimental data is presented.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ
ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОТОН-ПРОТОННЫХ
КОРРЕЛЯЦИЙ В РЕАКЦИИ $d + {}^1\text{H} \rightarrow p + p + n$**

В. В. Мицук^{*1}, А. А. Каспаров¹, М. В. Мордовской¹, В. М. Лебедев², А. В. Спасский²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН).
117312, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а
Телефон: +7 (499)135-77-60 (Москва), +7 (495)850-42-01 (Троицк).
Факс: +7(499)135-22-68 (Москва), +7(495)850-42-28 (Троицк).
E-mail: vyacheslav.mitsuk@phystech.edu

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»,
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
(НИИЯФ МГУ), 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
Телефон: +7(495)939-18-18. Факс: +7(495)939-08-96.
E-mail: info@sinp.msu.ru

В работе [1] выдвинута гипотеза, что расхождение в экспериментальных значениях длины нейтрон-нейтронного рассеяния a_{nn} , полученных в реакциях с тремя частицами в конечном состоянии, может быть связано с влиянием $3N$ -сил. Можно предположить, что подобный эффект будет наблюдаться в случае измерения низкоэнергетических параметров pp -взаимодействия (a_{pp} и E_{pp}) в реакциях с двумя протонами в конечном состоянии. Для проверки данного предположения в ИЯИ РАН проводятся исследования реакции $d + {}^1\text{H} \rightarrow p + p + n$ [2].

В настоящей работе представлено кинематическое моделирование реакции $d + {}^1\text{H} \rightarrow p + p + n$ и описание созданной по результатам моделирования экспериментальной установки. Приводятся результаты анализа предварительных данных измерений по исследованию этой реакции с регистрацией протонов от развала pp -системы и нейтрона отдачи. Проведено сравнение полученного экспериментального спектра с смоделированными спектрами, соответствующими различным значениям энергии виртуального ${}^1S_0$ состояния E_{pp} . Результаты сравнения позволили сделать оценку величины энергии виртуального протон-протонного состояния.

Список литературы

1. Конобеевский Е. С., Зуев С. В., Каспаров А. А., Кукулин В. И., Лебедев В. М., Мордовской М. В., Померанцев В. Н., Спасский А. В. Низкоэнергетические параметры нейтрон-нейтронного взаимодействия: анализ данных, извлеченных из реакций nd - и dd -развалов // Ядерная физика. 2018. Т. 81. № 5. С. 555–563.
2. Конобеевский Е. С., Афонин А. А., Зуев С. В., Каспаров А. А., Лебедев В. М., Мицук В. В., Мордовской М. В., Спасский А. В. Изучение pp -корреляций в реакции $d + {}^1\text{H} \rightarrow p + p + n$ // Известия РАН. Серия физическая. 2020. Т. 84. № 4. С. 492–496.

SIMULATION AND ANALYSIS OF PRELIMINARY DATA OF THE EXPERIMENT TO STUDY PROTON-PROTON CORRELATIONS IN THE $d + {}^1\text{H} \rightarrow p + p + n$ REACTION

V. V. Mitsuk^{*1}, A. A. Kasparov¹, M. V. Mordovskoy¹, V. M. Lebedev², A. V. Spassky²

¹Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a, Moscow 117312

Phone: +7 (499) 135 77 60 (Moscow) +7 (495)850 42 01 (Troitsk),

Fax: +7 (499) 135 22 68 (Moscow) +7 (495)850 42 28 (Troitsk).

E-mail: vyacheslav.mitsuk@phystech.edu

²Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M.V. Lomonosov Moscow State
University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics (SINP MSU),

1(2), Leninskie gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation

Phone: +7(495) 939 1818. Fax: +7(495) 939 0896.

E-mail: info@sinp.msu.ru

It was hypothesized in [1] that the discrepancy of experimental values of the neutron-neutron scattering length a_{nn} obtained in reactions with three particles in the final state may be due to the influence of $3N$ -forces. It can be assumed that a similar effect will be observed in a case of measuring low-energy parameters of the pp -interaction (a_{pp} and E_{pp}) in reactions with two protons in the final state. To verify this assumption, investigation of the $d+{}^1\text{H}\rightarrow p+p+n$ reaction is carried out in the INR RAS [2].

In this work a kinematic simulation of the $d+{}^1\text{H}\rightarrow p+p+n$ reaction and a description of the experimental setup based on the simulation results are presented. The analysis results of the preliminary measurement data on a study of the reaction with the registration of protons from the pp -system breakup and the recoil neutron are shown. The obtained experimental spectrum was compared with simulated ones corresponding to different values of the virtual ${}^1\text{S}_0$ state E_{pp} energy. The comparison results made it possible to estimate the value of the virtual proton-proton state energy.

References

1. Konobeevski E. S., Zuyev S. V., Kasparov A. A., Mordovskoy M. V., Kukulin V. I., Lebedev V. M., Pomerantsev V. N., Spassky A. V. Low-energy parameters of neutron–neutron interaction: analysis of data obtained in nd and dd breakup reactions // Physics of Atomic Nuclei. 2018. – V. 81. – № 5. – P. 595-603.

2. Konobeevski E. S., Afonin A. A., Zuyev S. V., Kasparov A. A., Mitsuk V. V., Mordovskoy M. V., Lebedev V. M., Spassky A. V. Studying pp -correlations in the $d + {}^1\text{H} \rightarrow p + p + n$ reaction // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2020. V. 84. № 4. P. 378-381.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ВЫСОКОВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ЛЕГКИХ ЯДЕР

**М. В. Мордовской*, А. А. Каспаров, А. А. Афонин, Ю. М. Бурмистров,
В. П. Заварзина, В. В. Мицук, С. И. Поташев, И. В. Суркова**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН).

117312, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а

Телефон: 8(499)135-77-60 (Москва), 8(495)850-42-01 (Троицк),

Факс: 8(499)135-22-68 (Москва), 8(495)850-42-28 (Троицк)

E-mail: mvmordovsk@mail.ru

В работе описана созданная в ИЯИ РАН установка для исследования свойств высоковозбужденных состояний легких ядер и результаты первых тестовых измерений, полученных на ней. Установка представляет собой модернизированную версию прототипа,

описанного в работе [1], и включает в себя большую вакуумную камеру рассеяния с установленными внутри механизмом смены мишеней и телескопом кремниевых ΔE - E детекторов для регистрации вторичных заряженных частиц, а также годоскопом нейтронных сцинтилляционных детекторов вне камеры рассеяния для регистрации вторичных нейтронов.

Установка испытана на нейтронном канале РАДЭКС ИЯИ РАН в реакции $n+{}^6\text{Li}$ при энергии нейтронов 40–60 МэВ с регистрацией в совпадении заряженных частиц и нейтронов. Приведены энергетические спектры заряженных частиц и нейтронов, а также оценки вкладов фоновых реакций.

Список литературы

1. А. А. Каспаров, М. В. Мордовской, А. А. Афонин, В. В. Мицук. Тестовая установка для регистрации совпадающих сигналов из реакций с вылетом заряженных частиц и нейтронов на нейтронном канале РАДЭКС // Известия РАН. Серия физическая. 2022. Т. 86. № 8. С. 1077–1080.

SETUP FOR STUDYING THE PROPERTIES OF HIGHLY EXCITED STATES OF LIGHT NUCLEI

**M. V. Mordovskoy*, A. A. Kasparov, A. A. Afonin, Yu. M. Burmistrov,
V. P. Zavarzina, S. I. Potashev, V. V. Mitcuk, I. V. Surkova**

Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a, Moscow 117312

Phone: +7 (499) 135 77 60 (Moscow) +7 (495)850 42 01 (Troitsk),

Fax: +7 (499) 135 22 68 (Moscow) +7 (495)850 42 28 (Troitsk), E-mail: mvmordovsk@mail.ru

In the work a setup designed at INR RAS for studying the properties of highly excited states of light nuclei and the results of first obtained test measurements are described. The setup is a modernized version of the prototype described in [1]. The setup includes a large vacuum scattering chamber with a target changing mechanism and a telescope of silicon ΔE - E detectors installed inside the scattering chamber to detect secondary charged particles. Also, a neutron scintillation detector hodoscope outside the scattering chamber for detecting secondary neutrons is installed.

The setup was tested on the RADEX neutron channel of the INR RAS in the $n+{}^6\text{Li}$ reaction at a neutron energy of 40-60 MeV with the detection of coincident neutrons and charged particles. The energy spectra of charged particles and neutrons, as well as estimates of the contributions of background reactions are presented.

References

1. A. A. Kasparov, M. V. Mordovskoy, A. A. Afonin, V. V. Mitcuk. Test setup for detecting coincident signals from reactions with emissions of charged particles and neutrons in the RADEX channel // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics. 2022. V. 86. № 8. P. 889–892.

ОПТИКО-МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ДЕЙТРОНА НА ЯДРЕ ${}^{16}\text{O}$ С УЧЕТОМ РЕЗОНАНСНОГО ВКЛАДА

Л. Н. Генералов, В. А. Жеребцов, А. В. Морозова, С. М. Селянкина, С. М. Таова

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, 37
otd4@expd.vniief.ru

С использованием резонансного оптико-модельного кода OptModel [1, 2] выполнено описание всех доступных экспериментальных данных по упругому рассеянию дейтрона на ядре ${}^{16}\text{O}$: дифференциальных сечений – при энергиях дейтрона от 0.98 до 200 МэВ и полных сечений

реакции $^{16}\text{O}+d$ от 38 до 97 МэВ. Нарушение унитарности матрицы рассеяния (оптико-модельная + резонансная) в отдельных энергетических точках не превышало 14 %, что находится на уровне средних погрешностей анализируемых данных. В качестве примера на рисунке приводится описание функции возбуждения под углами 153.6 – 169.2 градусов.

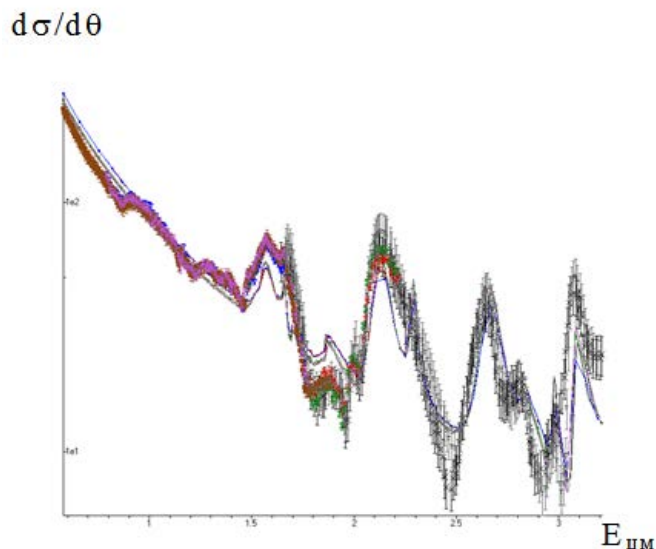


Рисунок. Функция возбуждения реакции $^{16}\text{O}(d,d_0)$ под углами 153.6 – 169.2 градусов в с.ц.м (точки – экспериментальные значения, сплошные кривые – описание).

Список литературы

- [1] Генералов Л. Н., Жеребцов В. А., Таова С. М. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2016. Т. 80. № 3. С. 328.
- [2] Генералов Л. Н., Жеребцов В. А., Селянкина С. М. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2021. Т. 85. С. 1461

OPTICAL MODEL ANALYSIS OF DEUTERON ELASTIC SCATTERING ON ^{16}O NUCLEI WITH REGARD TO RESONANCE CONTRIBUTION

L. N. Generalov, V. A. Zherebtsov, A. V. Morozova, S. M. Selyankina, S. M. Taova

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics» Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave 37
otd4@expd.vniief.ru

With the use of resonance optical-model code OptModel [1,2] there were fitted all available experimental data of deuteron elastic scattering on ^{16}O nuclei: differential cross section data at deuteron energies E_d from 0.98 to 200 MeV and $^{16}\text{O}+d$ total reaction cross section from 38 to 97 MeV. Violation of scattering matrix unitarity (optical-model + resonance) at several energies did not exceed 14% what corresponds to mean errors of the data analyzed. The description of excitation function at the angles of 153.6–169.2 degrees is given as an example in a Figure.

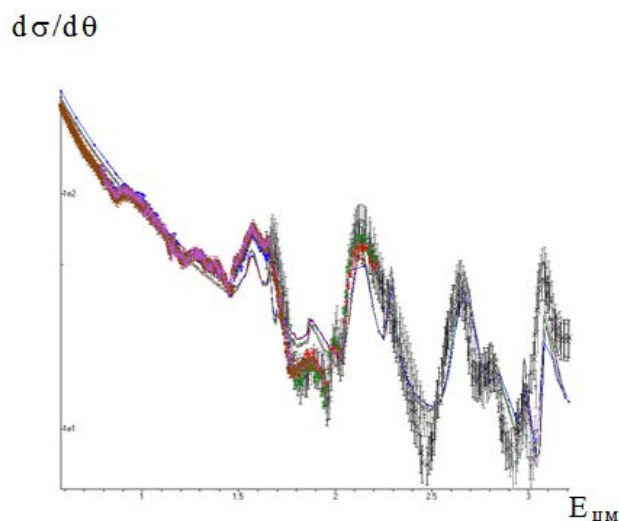


Figure. Excitation function of the $^{16}\text{O}(d,d_0)$ reaction at the angles of 153.6 – 169.2 degrees in the center-of-mass system (points – experimental data, solid curves – fitting results)

References

1. L. N. Generalov, V. A. Zherebtsov and S. M. Taova, Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.80, 295 (2016).
2. L. N. Generalov, V. A. Zherebtsov and S. M. Selyankina, Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.85, 1461 (2021).

ФОТОНЕЙТРОННЫЕ РЕАКЦИИ НА ЯДРАХ ^{51}V И ^{59}Co В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ТОРМОЗНЫМ γ -ИЗЛУЧЕНИЕМ

В. В. Варламов, А. И. Давыдов, И. А. Мостаков, В. Н. Орлин

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобелевца
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991 Москва, Ленинские горы, НИИЯФ МГУ, (495)9393483, (495)9390896,
mostakov.ia18@physics.msu.ru

С помощью экспериментально-теоретического метода оценки сечений парциальных реакций, основанного на объективных физических критериях, исследована достоверность данных по сечениям реакций $(\gamma, 1n)$ и $(\gamma, 2n)$ на ядрах ^{51}V и ^{59}Co из нескольких экспериментов [1, 2], выполненных на пучках тормозного γ -излучения. Установлено, что сечения парциальных реакций, полученные с помощью внесения поправок, рассчитанных по статистической теории, в сечение выхода нейтронов $\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 1n) + \sigma(\gamma, 2n)$ критериям достоверности не удовлетворяют. В рассмотренных экспериментах сечения реакции $(\gamma, 1n)$ недостоверно существенно занижены, а реакции $(\gamma, 2n)$ – напротив завышены. Это очевидно обусловлено недостатками использованного метода получения информации о сечениях парциальных реакций с помощью поправок, рассчитанных по статистической теории.

Список литературы

1. Структура сечений фотонейтронных реакций на ядрах ^{51}V , ^{52}Cr и ^{59}Co в области энергий гигантского дипольного резонанса / Б. И. Горячев, Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 1969. Том 33; С. 1736–1741.
2. Photoneutron cross sections for Co, Ni, Cu and Ga / G. Baci, G. C. Bonazzola, B. Minetti, et al. // Nucl. Phys. 1965. V. 67. P. 178–186.

PHOTONEUTRON REACTIONS ON ^{51}V and ^{59}Co IN EXPERIMENTS WITH BREMSSTRAHLUNG

V. V. Varlamov, A. I. Davydov, I. A. Mostakov, V. N. Orlin

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University
119991 Moscow, Leninskie gory, MSU SINP, (495)9393483, (495)9390896,
mostakov.ia18@physics.msu.ru

The reliability of data on $(\gamma, 1n)$ and $(\gamma, 2n)$ reactions on ^{51}V and ^{59}Co from several experiments [1, 2] carried out using beams of bremsstrahlung was investigated using the experimental–theoretical method of evaluation of photoneutron partial reaction cross sections based on objective physical criteria. It was found out that partial reaction cross sections obtained using the corrections calculated via statistical theory to the neutron yield cross section $\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 1n) + 2\sigma(\gamma, 2n)$ do not satisfy physical criteria of reliability. In experiments under discussion the $(\gamma, 1n)$ reaction cross sections were unreliably significantly underestimated, but the $(\gamma, 2n)$ reaction cross sections – vice versa overestimated. Evidently this is because of some shortcomings of the method used for obtaining the information on partial reaction cross sections with the aid of corrections calculated via statistical theory.

References

1. Structure of the photoneutron cross sections of ^{51}V , ^{52}Cr и ^{59}Co in the region of the giant dipole resonance // B. I. Goryachev, B. S. Ishkhanov, I. M. Kapitonov, et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 1968. Vol. 33. P. 1588–1593.
2. Photoneutron cross sections for Co, Ni, Cu and Ga / G. Baciú, G. C. Bonazzola, B. Minetti, et al. // Nucl. Phys. 1965. V. 67. P. 178–186.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ НУКЛОННЫХ ПЕРЕДАЧ В РЕАКЦИЯХ $^{40,48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au}$ И $^{18}\text{O} + ^{181}\text{Ta}$, ^{197}Au

В. В. Самарин, М. А. Наumenko, С. М. Лукьянов, В. А. Маслов, Ю. Э. Пенионжкевич

Лаборатория ядерных реакций им. Флерова, 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
E-mail: anaumenko@jinr.ru

Изучение реакций передачи нуклонов является важной областью физики тяжелых ионов, так как такие реакции дают возможность получения новых экзотических ядер. Теоретические исследования механизмов передачи нуклонов имеют большое значение для планирования и проведения экспериментов по получению нейтронно-избыточных ядер, находящихся на границе нейтронной стабильности [1].

В данной работе изучаются процессы передачи нуклонов в реакциях $^{40,48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au}$ и $^{18}\text{O} + ^{181}\text{Ta}$, ^{197}Au при энергиях выше кулоновского барьера на основе численного решения нестационарного уравнения Шредингера для нуклонов [2, 3]. Вероятности передачи нуклонов зависят от структуры одночастичных состояний сталкивающихся ядер; нуклоны в основном передаются с верхних оболочек и на верхние оболочки. На рис. показан пример временной эволюции плотности вероятности для протона подболочки $1h_{11/2}$ ядра ^{197}Au в столкновении $^{48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au}$ при энергии в системе центра масс 400 МэВ и прицельном параметре 9 фм.

Влияние структуры внешних нуклонных оболочек обсуждается на основе сравнения результатов расчетов с экспериментальными данными по зарядовым и массовым распределениям продуктов реакций $^{48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au}$ и $^{18}\text{O} + ^{181}\text{Ta}$ [4].

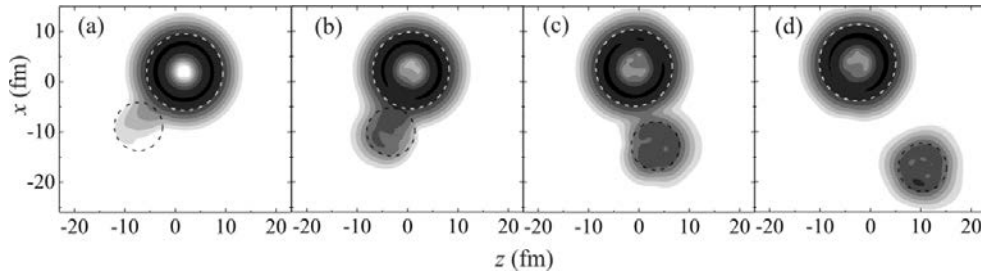


Рис. Пример временной эволюции плотности вероятности (оттенки серого, логарифмическая шкала) для протона подболочки $1h_{1/2}$ ядра ^{197}Au в столкновении $^{48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au}$ при энергии в системе центра масс 400 МэВ и прицельном параметре 9 фм. Расположение панелей (a)–(d) соответствует времени

Список литературы

1. Yu. E. Penionzhkevich, R. G. Kalpakchieva, Light exotic nuclei near the boundary of neutron stability (World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2022).
2. V. V. Samarin *et al.* // Phys. At. Nucl. 2015. V. 78. P. 128.
3. V. V. Samarin *et al.* // Phys. At. Nucl. 2018. V. 81. P. 486.
4. A. K. Azhibekov *et al.* // Phys. At. Nucl. 2020. V. 83. P. 93.

STUDY OF NUCLEON TRANSFER PROCESSES IN THE REACTIONS $^{40,48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au}$ AND $^{18}\text{O} + ^{181}\text{Ta}$, ^{197}Au

V. V. Samarin, M. A. Naumenko, S. M. Lukyanov, V. A. Maslov,
Yu. E. Penionzhkevich

Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6,
141980 Dubna, Moscow Region, Russia
E-mail: anaumenko@jinr.ru

The study of nucleon transfer reactions is an important field of heavy-ion physics, because such reactions provide the possibility of producing new exotic nuclei. Theoretical studies of the mechanisms of nucleon transfer are of great importance for planning and conducting experiments aimed at the production of neutron-rich nuclei located at the boundary of neutron stability [1].

In this work, we study nucleon transfer processes in the reactions $^{40,48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au}$ and $^{18}\text{O} + ^{181}\text{Ta}$, ^{197}Au at energies above the Coulomb barrier based on numerical solution of the time-dependent Schrödinger equation for nucleons [2, 3]. The nucleon transfer probabilities depend on the structure of single-particle states of the colliding nuclei; nucleons are mainly transferred from/to upper shells. An example of time evolution of the probability density for the proton of the $1h_{1/2}$ subshell of the ^{197}Au nucleus in the collision $^{48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au}$ at an energy of 400 MeV in the center-of-mass and impact parameter 9 fm is shown in Fig.

The influence of the structure of the outer nucleon shells is discussed based on the comparison of the results of calculations with the experimental data on charge and mass distributions for the products of the reactions $^{48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au}$ and $^{18}\text{O} + ^{181}\text{Ta}$ [4].

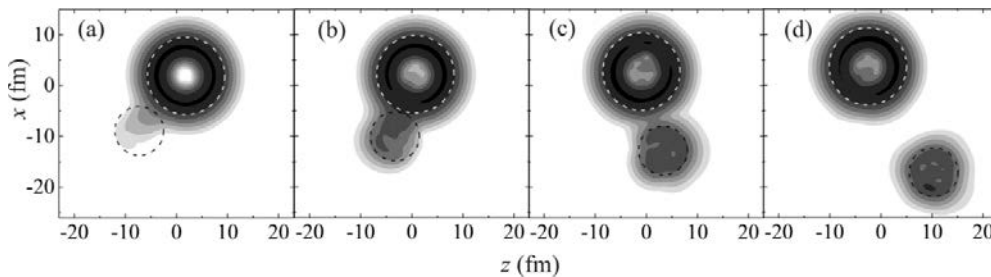


Fig. Example of time evolution of the probability density (shades of grey, logarithmic scale) for the proton of the $1h_{1/2}$ subshell of the ^{197}Au nucleus in the collision $^{48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au}$ at an energy of 400 MeV in the center-of-mass frame and impact parameter 9 fm. The location of panels (a)–(d) corresponds to time

References

1. Yu. E. Penionzhkevich, R. G. Kalpakchieva, Light exotic nuclei near the boundary of neutron stability (World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2022).
2. V. V. Samarin *et al.* // Phys. At. Nucl. 2015. V. 78. P. 128.
3. V. V. Samarin *et al.* // Phys. At. Nucl. 2018. V. 81. P. 486.
4. A. K. Azhibekov *et al.* // Phys. At. Nucl. 2020. V. 83. P. 93.

ПРОЯВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ ГАЛО И СКИНА В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ С ИЗОТОПАМИ Li И Be

**В. В. Самарин, М. А. Науменко, Ю. Э. Пенионжкевич,
Ю. Г. Соболев, С. С. Стукалов**

Лаборатория ядерных реакций им. Флерова, 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
E-mail: anaumenko@jinr.ru

Сравнение реакций с изотопами Li и Be представляет значительный интерес, поскольку они имеют существенно различную структуру, что дает уникальную возможность проверки разных микроскопических моделей.

Внешние нейтроны ядра ${}^9\text{Li}$ с энергией отделения 4 МэВ имеют компактное пространственное распределение, которое можно назвать скином. Результаты экспериментов по измерению полных сечений реакции ${}^9\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$ в зависимости от энергии пучка в диапазоне $E = 5\text{--}50$ А МэВ [1] показали, что в диапазоне энергий $E = 10\text{--}20$ А МэВ значения полного сечения реакции ${}^9\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$ значительно больше, чем для реакции ${}^7\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$ [2]. Такое усиление не могло быть объяснено существующими в то время теоретическими моделями. В работе [1] предполагалось, что причина усиления связана со свойствами оболочки слабосвязанных внешних нейтронов и ее эволюцией в процессе столкновения с ядром-мишенью.

В ядре ${}^{11}\text{Li}$ внешние нейтроны связаны еще слабее, их энергия отделения составляет 0.4 МэВ, что приводит к расширенному пространственному распределению, называемому гало. Экспериментально наблюдалось усиление сечения реакции ${}^{11}\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$ по сравнению с реакциями ${}^9\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$ во всем диапазоне энергий, вплоть до 50 А МэВ; это усиление было теоретически объяснено передачей нейтрона из расширенной гало-оболочки в состояния непрерывного спектра [3].

Кластеризация в легких ядрах особенно выражена у изотопов бериллия; их момент инерции оказался очень большим, что согласуется с их 2α -кластерной структурой, характеризующейся большой деформацией (например, [4]). Расчеты также дали гантелеобразную структуру из-за ярко выраженной 2α -кластеризации (например, [5]). В настоящей работе обсуждается проявление структуры изотопов ${}^{10,11,12}\text{Be}$ в реакциях с мишенью ${}^{28}\text{Si}$ в сравнении с экспериментальными данными по полным сечениям реакций для них и для изотопов ${}^{7,9,11}\text{Li}$ [1–3].

Список литературы

1. Yu. E. Penionzhkevich *et al.* // Phys. At. Nucl. 2017. V. 80. P. 928.
2. Yu. G. Sobolev *et al.* // Phys. Part. Nucl. 2017. V. 48. P. 922.
3. Yu. E. Penionzhkevich *et al.* // Phys. Rev. C. 2019. V. 99. P. 014609.
4. Yu. E. Penionzhkevich, R. G. Kalpakchieva, Light exotic nuclei near the boundary of neutron stability (World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2022).
5. Q. Zhao *et al.* // Eur. Phys. J. A. 2021. V. 57. P. 157.

MANIFESTATION OF HALO AND SKIN STRUCTURES IN NUCLEAR REACTIONS WITH Li AND Be ISOTOPES

V. V. Samarin, M. A. Naumenko, Yu. E. Penionzhkevich, Yu. G. Sobolev, S. S. Stukalov

Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6,
141980 Dubna, Moscow Region, Russia. E-mail: anaumenko@jinr.ru

The comparison of the reactions with Li and Be isotopes is of considerable interest, because they have significantly different structures, which provides a unique opportunity for testing various microscopic models.

The outer neutrons of the ${}^9\text{Li}$ nucleus with an energy of separation of 4 MeV have a compact space distribution that may be called skin. The results of experiments on measuring total cross sections for the ${}^9\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$ reaction as a function of the beam energy in the range $E = 5\text{--}50$ A MeV [1] showed that, in the energy range $E = 10\text{--}20$ A MeV, the values of the total cross section for the ${}^9\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$ reaction are much larger than those for the ${}^7\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$ reaction [2]. Such an enhancement could not be explained by the theoretical models existing at the time. In [1], it was assumed that the reason for the enhancement was related to the properties of the shell of the weakly bound outer neutrons and its evolution in the process of collision with the target nucleus.

In the ${}^{11}\text{Li}$ nucleus, the outer neutrons are even more weakly bound - their energy of separation is 0.4 MeV, which leads to an extended space distribution called halo. The enhancement of the cross section for the ${}^{11}\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$ reaction compared to those for the ${}^9\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$ and ${}^7\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$ reactions was experimentally observed in the entire energy range, up to 50 A MeV; this enhancement was theoretically explained by neutron transfer from the extended halo shell to the states of the continuous spectrum [3].

Clustering in light nuclei is especially pronounced in the isotopes of beryllium; their moment of inertia turned out to be very large, which is consistent with their 2α -cluster structure characterized by a large deformation (e.g., [4]). Calculations also yielded a dumbbell-shaped structure due to the pronounced 2α -clustering (e.g., [5]). In this work, we discuss the manifestation of the structures of the ${}^{10,11,12}\text{Be}$ isotopes in the reactions with the ${}^{28}\text{Si}$ target in comparison with the experimental data on the total reaction cross sections for them and for the ${}^{7,9,11}\text{Li}$ isotopes [1–3].

References

1. Yu. E. Penionzhkevich *et al.* // Phys. At. Nucl. 2017. V. 80. P. 928.
2. Yu. G. Sobolev *et al.* // Phys. Part. Nucl. 2017. V. 48. P. 922.
3. Yu. E. Penionzhkevich *et al.* // Phys. Rev. C. 2019. V. 99. P. 014609.
4. Yu. E. Penionzhkevich, R. G. Kalpakchieva, Light exotic nuclei near the boundary of neutron stability (World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2022).
5. Q. Zhao *et al.* // Eur. Phys. J. A. 2021. V. 57. P. 157.

АНАЛИЗ ВОЗБУЖДЕНИЯ НИЗКОЛЕЖАЩИХ УРОВНЕЙ В ЯДРАХ ${}^{54,56}\text{Fe}$ ПРИ НЕУПРУГОМ РАССЕЯНИИ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 16 МэВ

В. И. Кудряшов¹, М. С. Онегин²

¹Санкт-Петербургский Государственный Университет, НИИФ им. В. А. Фока
198504 г. Санкт-Петербург, г. Петродворец, ул. Ульяновская, 1;

²Петербургский Институт Ядерной Физики им. Б. П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский Институт»
188300 Гатчина, Орлова Роща, 1. E-mail: Onegin_MS@pnpi.nrcki.ru

Структура уровней ядер ${}^{54,56}\text{Fe}$ анализируется в рамках оболочечной модели. Ядро ${}^{54}\text{Fe}$ имеет замкнутую нейтронную оболочку $1f^{7/2}$, тогда как ядро ${}^{56}\text{Fe}$ имеет два дополнительных нейтрона на оболочках $2p_{1/2}, 2p_{3/2}$ и $1f_{5/2}$. Протонная же оболочка в обоих ядрах не замкнута и

имеет две дырки в оболочке $1f_{7/2}$. Расчеты выполнялись в модельном пространстве fp оболочек для $gx1a$ гамильтониана в рамках кода NuShellX[1]. Следствием такой структуры, является сильное взаимодействие между нейтронными и протонными оболочками в ядре ^{56}Fe [2]. Так первый уровень 2_1^+ в ядре ^{56}Fe расположен существенно ниже по энергии, чем в ядре ^{54}Fe .

Как показано в работе [2], расчетный спектр возбуждения в ядре ^{56}Fe имеет ротационно-подобную структуру. Такая структура для ядра ^{54}Fe не ожидается. Используя экспериментальные данные по неупругому рассеянию поляризованных протонов при энергии протона 16 МэВ [3], проводится сравнение качества описания дифференциального сечения и анализирующей способности для уровней $2_1^+, 2_2^+, 4_1^+$ и 4_2^+ в указанных ядрах. Расчеты выполнялись с помощью кода ECIS-95. Использовалась коллективная модель возбуждений. Формфакторы переходов рассчитывались в рамках асимметричной ротационной модели или модели гармонических колебаний со смещенным числом фононных возбуждений.

Список литературы

1. B. A. Brown and W.D.M. Rae. *The Shell-Model Code NuShellX*. Nuclear data Sheets, **120**, 115 (2014).
2. H. Horie and K. Ogawa. Nucl. Phys. A **216**, 407 (1973)
3. A. Plavko, V. Kudriashov, M. Onegin, T. Clegg, H. Karwowski, R. Varner, *Spin-94 Contribution to the VIII Symposium on Polarization Phenomenon in Nuclear Physics*, Bloomington, Indiana, USA, 1994, p. 200–201.

ANALYSIS OF LOW ENERGY EXCITATIONS IN $^{54,56}\text{Fe}$ NUCLEI BY INELASTIC SCATTERING OF 16 MEV POLARISED PROTONS

V. I. Kudriashov¹, M. S. Onegin²

¹St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia; ²Petersburg Nuclear Physics Institute of NRC “Kurchatov Institute”, Gatchina, Russia
E-mail: Onegin_MS@pnpi.nrcki.ru

We analyzed the level structure in $^{54,56}\text{Fe}$ nuclei using shell model. The ^{54}Fe nuclear has closed neutron shell $1f_{7/2}$ as well as ^{54}Fe nuclear has two additional neutrons on $2p_{1/2}, 2p_{3/2}$ and $1f_{5/2}$ shells. The protons shell in both nuclei is not closed and has two holes in $1f_{7/2}$ shell. The calculations were carried out in the fp model space with the $gx1a$ Hamiltonian using the code NuShellX [1]. The strong interaction between a neutron and proton shells have place as a result [2]. For this reason the first level 2_1^+ in ^{56}Fe nuclear situated considerably lower than in ^{54}Fe nuclear.

As was shown in [2], the calculated spectrum of nuclear levels in ^{56}Fe has a rotation-like structure. At the same time this level structure doesn't expected for the ^{54}Fe nucleus. We used experimental data on inelastic scattering of 16 MeV polarized protons [3] to compare the quality of the description of cross-section and analyzing power for $2_1^+, 2_2^+, 4_1^+$ and 4_2^+ levels in these nuclei. The ECIS-95 code was used for our calculations. The calculations were performed in the frame of collective model of nuclear excitations. We used asymmetric rotor model or harmonic vibrational model with mixed number of phonons to describe the formfactor of nuclear excitation.

References

1. B. A. Brown and W.D.M. Rae. *The Shell-Model Code NuShellX*. Nuclear data Sheets, **120**, 115 (2014).
2. H. Horie and K. Ogawa. Nucl. Phys. A **216**, 407 (1973)
3. A. Plavko, V. Kudriashov, M. Onegin, T. Clegg, H. Karwowski, R. Varner, *Spin-94 Contribution to the VIII Symposium on Polarization Phenomenon in Nuclear Physics*, Bloomington, Indiana, USA, 1994, p. 200–201.

АНАЛИЗ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПРОТОНОВ НА ЯДРЕ ^{56}Fe

М. С. Онегин

Петербургский Институт Ядерной Физики им. Б. П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский Институт»
188300 Гатчина, Орлова Роща
E-mail: Onegin_MS@pnpi.nrcki.ru

Ядро ^{56}Fe имеет уровни возбуждения 2_1^+ (0,846 МэВ), 4_1^+ (2,085 МэВ), 2_2^+ (2,657 МэВ), 4_2^+ (3,122 МэВ) и др. Дифференциальное сечение неупругого возбуждения этих уровней, а также анализирующая способность рассеяния протонов были получены из анализа рассеяния поляризованных протонов с энергией 16 МэВ на ядре ^{56}Fe . Эксперименты были выполнены в 90-х годах на ускорителе в TUNL (США) и отработаны В. И. Кудряшовым (СПбГУ) [1]. В работе [2] дифференциальное сечение возбуждения этих уровней протонами с энергией 26 МэВ анализировалось в рамках метода связанных каналов. Было показано, что дифференциальные сечения неупругого рассеяния можно удовлетворительно описать или, используя для волновых функций возбужденных состояний ядра многофононные возбуждения с примесью ангармоничности, или модель асимметричного ротатора [3]. Дополнительная информация для этих уровней в виде анализирующей способности рассеянных протонов позволяет сравнить качество описания угловых распределений в рамках двух рассматриваемых моделей волновой функции. Расчеты выполнялись по программе ECIS-95 в рамках метода связанных каналов для уравнения Шредингера. Использовалась коллективная модель для возбужденных состояний с деформированным оптическим потенциалом. Оптический потенциал был получен, исходя из имеющейся систематики и наилучшего описания дифференциального сечения и поляризации в канале упругого рассеяния.

Список литературы

1. A. Playko, V. Kudriashov, M. Onegin, T. Clegg, H. Karwowski, R. Varner, Spin-94 Contribution to the VIII Symposium on Polarization Phenomena in Nuclear Physics, Bloomington, Indiana, USA, 1994, p. 200–201.
2. Kumar, D.K. Avasthi, A. Tripathi, *et al.*, Phys. Rev. C **65**, 014305 (2001).
3. A. S. Davydov & G. F. Filippov, Nucl. Phys. **8**, 237 (1958).

ANALYSIS OF INELASTIC POLARIZED PROTON SCATTERING ON ^{56}Fe

M. S. Onegin

Petersburg Nuclear Physics Institute National Research Center «Kurchatov Institute»
Gatchina, Leningrad oblast, 188300 Russia
E-mail: Onegin_MS@pnpi.nrcki.ru

Nucleus ^{56}Fe has the following excitation states: 2_1^+ (0,846 MeV), 4_1^+ (2,085 MeV), 2_2^+ (2,657 MeV), 4_2^+ (3,122 MeV). Differential cross sections and analyzing powers of these states were determined in the inelastic proton scattering at $E_p = 16$ MeV. The inelastic scattering experiments were performed in the 90-th at the Triangle Universities Nuclear Laboratory (USA) and analyzed by V. I. Kudriashov (SPbGU) [1]. In [2], the differential cross section of these states in inelastic scattering of protons with $E_p = 26$ MeV were analyzed in the scope of coupled channel (CC) calculations. It was shown that the differential cross sections can be described using wave functions of the excited states in terms of two collective models, i.e. the harmonic vibrational model and the asymmetric rotor model [3]. Additional information of inelastic scattering for these states – the analyzing power – can give the opportunity to

compare the description quality of angle distributions of inelastic scattering for these two models. The CC calculations were performed using the ECIS-95 code in the Schrödinger formalism. The optical potential was obtained by fitting the differential cross section and analyzing power in elastic channel using available systematics.

References

1. A. Plavko, V. Kudriashov, M. Onegin, T. Clegg, H. Karwowski, R. Varner, Spin-94 Contribution to the VIII Symposium on Polarization Phenomena in Nuclear Physics, Bloomington, Indiana, USA, 1994, p. 200–201.
2. Kumar, D.K. Avasthi, A. Tripathi, *et al.*, Phys. Rev. C **65**, 014305 (2001).
3. A. S. Davydov & G. F. Filippov, Nucl. Phys. **8**, 237 (1958).

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОМЕРНЫХ ОТНОШЕНИЙ В РЕАКЦИЯХ (γ, n) , $(n, 2n)$ И (n, γ) НА ЯДРАХ $^{85,87}\text{Rb}$

С. Р. Палванов¹, А. Х. Иноят², С. Ашуров¹, Д. И. Тоймуродов¹,
А. А. Тоймуродов¹, Б. И. Курбонов³, О. Тожибоев³, Г. С. Палванова¹

¹ Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан

² Объединенный Институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия

³ Институт ядерной физики, Ташкент, Узбекистан

e-mail: satimbay@yandex.ru, palvanov1960@gmail.com

100174, Узбекистан, Город: Ташкент, Район: Алмазарский, ул. Университетская, 4

В данной работе представлены результаты работ по исследованию изомерных отношений выходов и сечений реакций $^{85}\text{Rb}(\gamma, n)^{84\text{m,g}}\text{Rb}$, $^{85}\text{Rb}(n, 2n)^{84\text{m,g}}\text{Rb}$, $^{87}\text{Rb}(\gamma, n)^{86\text{m,g}}\text{Rb}$, $^{87}\text{Rb}(n, 2n)^{86\text{m,g}}\text{Rb}$ и $^{85}\text{Rb}(n, \gamma)^{86\text{m,g}}\text{Rb}$. Эксперименты проводились методом наведенной активности. В качестве мишеней использовались образцы сульфата рубидия (Rb_2SO_4). Образцы были облучены пучком тормозного излучения в диапазоне энергий 10–35 МэВ с шагом по энергии 1 МэВ. Для облучения нейтронами с энергией 14 МэВ использовался генератор нейтронов НГ-150. Для реакции (n, γ) эксперименты были проведены на исследовательском реакторе ВВЗ-СМ Института ядерной физики АН РУз [1].

Наведенная γ -активность мишеней измерялась на гамма-спектрометре фирмы Canberra, состоящем из германиевого детектора HPGe (с относительной эффективностью – 15 %, разрешением для линии ^{60}Co 1332 кэВ – 1,8 кэВ), цифрового анализатора DSA 1000 и персонального компьютера с программным пакетом Genie 2000 для набора и обработки гамма-спектров. Идентификация заселения изомерного и основного уровней проводилась по γ -линиям 216,2 кэВ ($^{84\text{m}}\text{Rb}$: $T_{1/2} = 20,5$ мин, $J^\pi = 6^+$), 881 кэВ ($^{84\text{g}}\text{Rb}$: $T_{1/2} = 32,9$ сут, $J^\pi = 2^-$), 555,6 кэВ ($^{86\text{m}}\text{Rb}$: $T_{1/2} = 1,02$ мин, $J^\pi = 6^-$), и 1078,8 кэВ ($^{86\text{g}}\text{Rb}$: $T_{1/2} = 18,6$ сут, $J^\pi = 2^-$). Для реакции (γ, n) функции возбуждений получены по экспериментальным изомерным отношениям и полным сечениям фотонейтронной реакции σ_{tot} [2]. Экспериментальные изомерные отношения сравниваются с результатами других работ и рассчитанными результатами по статистической модели ядра. Расчет изомерных отношений проводился с использованием программного пакета TALYS [3].

Список литературы

1. <http://www.inp.uz>
2. A. V. Varlamov et al. Atlas of GDR. INDS(NDS)-394.// Vienna: IAEA, 1999.
3. <http://www.talys.ed/>.

INVESTIGATION OF ISOMER RATIOS IN THE REACTIONS (γ , n), (n, 2n) AND (n, γ) ON $^{85,87}\text{Rb}$ NUCLEI

S. R. Palvanov¹, A. H. Inoyatov², S. Ashurov¹, D. I. To'ymurodov¹,
A. A. To'ymuradov¹, B. I. Kurbonov³, O. Tojiboev³, G. S. Palvanova¹

¹Department of Physics, National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

²Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

³Institute of Nuclear Physics, Tashkent, Uzbekistan

e-mail: satimbay@yandex.ru, palvanov1960@gmail.com

This paper presents the results of studies of isomeric ratios of yields and cross sections for the reactions $^{85}\text{Rb}(\gamma, n)^{84\text{m}}\text{gRb}$, $^{85}\text{Rb}(n, 2n)^{84\text{m}}\text{gRb}$, $^{87}\text{Rb}(\gamma, n)^{86\text{m}}\text{gRb}$, $^{87}\text{Rb}(n, 2n)^{86\text{m}}\text{gRb}$ and $^{85}\text{Rb}(n, \gamma)^{86\text{m}}\text{gRb}$. The experiments were carried out by the induced activity method. Samples of rubidium sulfate (Rb_2SO_4) were used as targets. The samples were irradiated with a bremsstrahlung beam in the energy range 10–35 MeV with an energy step of 1 MeV. For irradiation with neutrons with an energy of 14 MeV, an NG-150 neutron generator was used. For the (n, γ) reaction, experiments were carried out at the BB3-CM research reactor of the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan [1].

The induced γ -activity of the targets was measured on a Canberra gamma spectrometer, consisting of a HPGe germanium detector (with a relative efficiency of 15 %, a resolution for the ^{60}Co 1332 keV line – 1.8 keV), a DSA 1000 digital analyzer, and a personal computer with the Genie software package. 2000 for acquisition and processing of gamma spectra. Identification of the population of the isomeric and ground levels was carried out using γ -lines 216.2 keV ($^{84\text{m}}\text{Rb}$: $T_{1/2} = 20.5$ min, $J^\pi = 6^+$), 881 keV ($^{84\text{g}}\text{Rb}$: $T_{1/2} = 32.9$ days, $J^\pi = 2^-$), 555.6 keV ($^{86\text{m}}\text{Rb}$: $T_{1/2} = 1.02$ min, $J^\pi = 6^-$), and 1078.8 keV ($^{86\text{g}}\text{Rb}$: $T_{1/2} = 18.6$ days, $J^\pi = 2^-$). For the reaction (γ, n), the excitation functions were obtained from the experimental isomeric ratios and total photoneutron reaction cross sections σ_{tot} [2]. The experimental isomeric ratios are compared with the results of other works and the calculated results using the statistical model of the nucleus. The calculation of isomeric ratios was carried out using the TALYS software package [3].

References

1. <http://www.inp.uz>
2. A.V. Varlamov et al. Atlas of GDR. INDS(NDS)-394.// Vienna: IAEA, 1999.
3. <http://www.talys.ed/>.

ПРИМЕНЕНИЕ БИБЛИОТЕКИ TalysLib ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ РЕАКЦИЙ РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ НА ЯДРАХ ^{28}Si И ^{32}S

Г. В. Пампушик¹, Н. А. Фёдоров^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, Москва, Россия

²Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия
pampushik.g@gmail.com

В лаборатории нейтронной физики им. Франка базируется международный проект TANGRA по изучению рассеяния меченых нейтронов с энергией 14.1 МэВ на атомных ядрах. Для теоретических расчетов свойств нейтрон-ядерных реакций в проекте используется программа TALYS[1], которая обладает широким функционалом и содержит подробную базу данных о структуре атомных ядер, основанную на библиотеке RIPL-3[2]. Основным способом описания нейтрон-ядерных реакций в этой программе является оптическая модель, которая применяется для расчетов упругого и неупругого рассеяния. Для подбора параметров

оптического потенциала и упрощённого доступа к результатам расчета TALYS, а также к базе данных EXFOR [3], была разработана объектно-ориентированная C++ библиотека TalysLib. С помощью функционала библиотеки была проведена оптимизация параметров оптического потенциала для реакций рассеяния нейтронов на ядрах ^{28}Si и ^{32}S .

Список литературы

- 1) Koning A. J., Hilaire S., Duijvestijn M. C. «TALYS-1.0» // Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology. EDP Sciences, 2007. С. 211–214.
- 2) IAEA-Tecdoc, RIPL3, Reference Input Parameter Library, <http://www-nds.iaea.org/RIPL-3>.
- 3) Experimental Nuclear Reaction Data (EXFOR), <https://www-nds.iaea.org/exfor>.

APPLYING TalysLib LIBRARY FOR OPTIMIZATION OF OPTICAL POTENTIAL PARAMETERS FOR NEUTRON SCATTERING ON ^{28}Si AND ^{32}S

G. V. Pampushik¹, N. A. Fedorov^{1,2}

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Frank Laboratory of Neutron Physics, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

¹E-mail: pampushik.g@gmail.com

In the Frank Laboratory of Neutron Physics, the international project TANGRA is being implemented to study the scattering of tagged 14.1 MeV neutrons on atomic nuclei. For the purposes of the theoretical part of the project, the TALYS program is used. It has wide functionality, and also contains nuclear structure database and set of the nuclear reaction models parameters, based on the RIPL-3 library [2]. The main way to describe neutron-nuclear reactions in this program is the optical model, which is used to calculate the elastic and inelastic scattering cross sections. To simplify access to the calculation results and the TALYS database, as well as EXFOR[3] databases, object oriented C++ library, TalysLib is being developed. Using its functional we obtained new sets of optical model parameters for fast neutron scattering on ^{28}Si and ^{32}S which will be presented.

References

- 1) Koning A. J., Hilaire S., Duijvestijn M. C. «TALYS-1.0» // Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology. EDP Sciences, 2007. С. 211–214.
- 2) IAEA-Tecdoc, RIPL3, Reference Input Parameter Library, <http://www-nds.iaea.org/RIPL-3>.
- 3) Experimental Nuclear Reaction Data (EXFOR), <https://www-nds.iaea.org/exfor>.

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ $^{13}\text{C}(\alpha, \alpha_0)^{13}\text{C}$ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ 2.0-7.0 МэВ

П. С. Прусаченко, Т. Л. Бобровский, М. В. Боховко, А. Ф. Гурбич

Физико-энергетический институт им. Лейпунского (ФЭИ), пл. Бондаренко 1, г. Обнинск, 249033, Россия;

E-mail: pprusachenko@ippe.ru

Дифференциальные сечения реакции $^{13}\text{C}(\alpha, \alpha_0)^{13}\text{C}$ были измерены под тремя углами (130° , 150° и 170°) в диапазоне энергий 2.0-7.0 МэВ. В качестве мишени был использован тонкий слой углерода, нанесенный на толстую подложку из бериллия. Толщина и обогащение мишени ^{13}C были определены методами ядерного микроанализа. При анализе полученных результатов учитывалось влияние нагара углерода, образующегося в процессе измерений на поверхности мишени. Результаты измерений могут быть использованы для пересмотра оценки сечения реакции $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ с помощью многоканальных R-матричных расчетов.

THE MEASUREMENTS OF THE $^{13}\text{C}(\alpha, \alpha_0)^{13}\text{C}$ REACTION CROSS-SECTION IN THE ENERGY RANGE OF 2.0 – 7.0 MeV

P. S. Prusachenko, T. L. Bobrovskiy, M. V. Bokhovko, A. F. Gurbich

I.I. Leypunsky Institute for Physics and Power Engineering (IPPE), Bondarenko sq. 1, Obninsk,
249033, Russia

E-mail: pprusachenko@ippe.ru

The differential cross-sections of the $^{13}\text{C}(\alpha, \alpha_0)^{13}\text{C}$ reaction were measured at three angles (130°, 150° and 170°) in the energy interval of 2.0–7.0 MeV. The thin layer of ^{13}C deposited to the beryllium backing was used as a target. The thickness and enrichment of the target were determined by the ion beam analysis methods. The effect of the carbon build-up was taken into account during the data analysis. The measurement results can be used for re-examination of evaluation of the $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ reaction cross-section using multi-channel R-matrix calculations.

МНОГОЧАСТИЧНЫЕ РЕАКЦИИ $^{76}\text{Se}(\gamma, \text{xnyp})$, ИНДУЦИРОВАННЫЕ С КОНЕЧНЫМИ ЭНЕРГИЯМИ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 20-80 МэВ

**F. A. Rasulova^{a,b}, R. A. Aliev^{c,d}, S. S. Belyshev^{e,f}, D. L. Demin^b, S. A. Evseev^b, N. J. Fursova^e,
V. V. Khankin^e, J. H. Khushvaktov^{a,b}, V. V. Kobets^b, A. A. Kuznetsov^{e,f}, S. V. Rozov^b,
E. T. Ruziev^a, T. N. Tran^b, E. A. Yakushev^b, B. S. Yuldashev^{a,b}**

^a Institute of Nuclear Physics, Tashkent, Uzbekistan

^b Joint Institute for Nuclear Research, Joliot-Curie 6, Dubna, Russia

^c Faculty of Chemistry, Lomonosov Moscow State University, Russia

^d National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia

^e Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Russia

^f Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Russia

E-mail: rasulova@jinr.ru

Сечения на эквивалентный квант σ_q первые измерены для многонуклонных реакций $^{76}\text{Se}(\gamma, \text{xnyp})$ в тормозном излучении гамма-квантов в интервале энергий 20-80 МэВ. Эксперименты проведены на пучке электронных ускорителей РМ-55 (НИИЯФ МГУ) и LINAC-200 (ЛЯП ОИЯИ) с помощью γ -активационной методики. Тормозные спектры вычислены с помощью программы Geant4.

Теоретические значения сечения на эквивалентный квант σ_q рассчитаны на основе парциальных сечений $\sigma(E)$, полученных с помощью программы TALYS и комбинированной модели фотоядерных реакций. Учет изоспинового расщепления в расчетах позволил описать экспериментальные данные по реакциям с вылетом протона. В тяжелых изотопах Se существенную роль играет изоспиновое расщепление ГДР, учет которого позволяет корректно описать фотопротонный канал распада ГДР.

Результаты настоящей работы можно рассматривать как полезное дополнение к имеющимся в литературе данным для диапазона энергий от 20 до 80 МэВ.

MULTIPARTICLE $^{nat}\text{Se}(\gamma, xnyp)$ REACTIONS INDUCED WITH BREMSSTRAHLUNG END-POINT ENERGIES OF 20-80 MeV

F. A. Rasulova^{a,b}, R. A. Aliev^{c,d}, S. S. Belyshev^{e,f}, D. L. Demin^b, S. A. Evseev^b, N. J. Fursova^e,
V. V. Khankin^e, J. H. Khushvaktov^{a,b}, V. V. Kobets^b, A. A. Kuznetsov^{e,f}, S. V. Rozov^b,
E. T. Ruziev^a, T. N. Tran^b, E. A. Yakushev^b, B. S. Yuldashev^{a,b}

^a Institute of Nuclear Physics, Tashkent, Uzbekistan

^b Joint Institute for Nuclear Research, Joliot-Curie 6, Dubna, Russia

^c Faculty of Chemistry, Lomonosov Moscow State University, Russia

^d National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia

^e Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Russia

^f Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Russia

E-mail: rasulova@jinr.ru

The cross sections per equivalent photon σ_q were first measured for the photonuclear multiparticle reactions $^{nat}\text{Se}(\gamma, xnyp)$ at end-point bremsstrahlung gamma energies ranging from 20 to 80 MeV. The experiments were performed with the beam from the electron accelerators RM-55 (SINP MSU) and LINAC-200 (DLNP JINR) with the use of the γ -activation technique. The bremsstrahlung quantum flux was calculated with the program Geant4.

The theoretical values of the cross sections per equivalent photon σ_q were calculated using the partial cross section $\sigma(E)$ computed with the TALYS package code and the combined model of photonuclear reactions. Including isospin splitting in the calculations allowed us to describe experimental data on reactions with proton escape. In heavy Se isotopes, isospin splitting plays a significant role GDR, the accounting of which makes it possible to correctly describe photoproton decay channel of the GDR.

The results of the present work may be considered as a useful addition to the data available in the literature for the energy range 20 to 80 MeV.

МНОГОЧАСТИЧНЫЕ РЕАКЦИИ $^{nat}\text{Sr}(\gamma, xnyp)$, ИНДУЦИРОВАННЫЕ С КОНЕЧНОЙ ЭНЕРГИЕЙ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 55 МэВ

F. A. Rasulova^{a,b}, R. A. Aliev^{c,d}, S. S. Belyshev^{e,f}, N. J. Fursova^e, V. V. Khankin^e,
A. A. Kuznetsov^{e,f}

^a Institute of Nuclear Physics, Tashkent, Uzbekistan

^b Joint Institute for Nuclear Research, Joliot-Curie 6, Dubna, Russia

^c Faculty of Chemistry, Lomonosov Moscow State University, Russia

^d National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia

^e Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Russia

^f Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Russia

E-mail: rasulova@jinr.ru

Методом наведенной активности исследованы фотоядерные реакции на природной смеси изотопов стронция. В этом исследовании измерялись выходы радионуклидов ^{83}Sr , ^{85}Sr , $^{85\text{m}}\text{Sr}$, $^{87\text{m}}\text{Sr}$, ^{81}Rb , $^{82\text{m}}\text{Rb}$, ^{83}Rb , ^{84}Rb и $^{86\text{m}+g}\text{Rb}$, образующихся в многочастичных реакциях $^{nat}\text{Sr}(\gamma, xnyp)$ с конечной энергией тормозного излучения 55 МэВ. Эксперимент выполнен на пучке ускорителя электронов РМ-55 НИИЯФ МГУ с использованием метода γ -активации.

Экспериментальные значения сечений на эквивалентный квант σ_q рассчитывались с использованием экспериментальных выходов и потока квантов тормозного излучения, рассчитанного с помощью программы Geant4. Теоретические значения сечений на эквивалентный квант σ_q были рассчитаны с использованием парциального сечения $\sigma(E)$, рассчитанного с помощью программного кода пакета TALYS.

MULTIPARTICLE $^{nat}\text{Sr}(\gamma, xnyp)$ REACTIONS INDUCED WITH BREMSSTRAHLUNG END-POINT ENERGY OF 55 MeV

F. A. Rasulova^{a,b}, R. A. Aliev^{c,d}, S. S. Belyshev^{e,f}, N. J. Fursova^e, V. V. Khankin^e,
A. A. Kuznetsov^{e,f}

^a Institute of Nuclear Physics, Tashkent, Uzbekistan

^b Joint Institute for Nuclear Research, Joliot-Curie 6, Dubna, Russia

^c Faculty of Chemistry, Lomonosov Moscow State University, Russia

^d National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

^e Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Russia

^f Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Russia

E-mail: rasulova@jinr.ru

The method of induced activity was used to study photonuclear reactions on a natural mixture of strontium isotopes. This study measured the yields of the radionuclides ^{83}Sr , ^{85}Sr , $^{85\text{m}}\text{Sr}$, $^{87\text{m}}\text{Sr}$, ^{81}Rb , $^{82\text{m}}\text{Rb}$, ^{83}Rb , ^{84}Rb and $^{86\text{m}+g}\text{Rb}$ produced in $^{nat}\text{Sr}(\gamma, xnyp)$ multiparticle reactions with bremsstrahlung end-point energy of 55 MeV. The experiment was performed with the beam from the electron accelerator RM-55 SINP MSU with the use of the γ -activation technique.

The experimental values of the cross sections per equivalent photon σ_q were calculated using the experimental yields and the bremsstrahlung quantum flux which was calculated with the program Geant4. The theoretical values of the cross sections per equivalent photon σ_q were calculated using the partial cross section $\sigma(E)$ computed with the TALYS package code.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ $^{11}\text{B}(^{10}\text{B}, ^9\text{Be})^{12}\text{C}$ ПРИ ЭНЕРГИИ 41.3 МэВ

С. Б. Сакута^{3*}, Маулен Нассурлла^{1,2}, Н. Буртебаев^{1,2}, С. В. Артемов⁴, К. Русек⁵,
Маржан Нассурлла¹, Ф. Эргашов⁴, А. Сабидолла^{1,2}, Р. Ходжаев^{1,2}, И. Б. Муханов^{1,2},
Е. Пясецки⁵, Ш. Хамада⁶

¹Институт Ядерной Физики, Алматы, Казахстан

² Казахский Национальный Университет Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

³Национальный Исследовательский Центр "Курчатовский институт", Москва, Россия

⁴Институт Ядерной Физики, Академия Наук Узбекистан

⁵Лаборатория Тяжелых Ионов, Варшавский Университет, Польша

⁶Факультет Науки, Танта Университет, Танта, Египет

Цель настоящей работы состояла в получении астрофизического S – фактора реакции радиационного захвата $^{11}\text{B}(p, \gamma)^{12}\text{C}$, а также скорости этой реакции при звездных температурах с использованием значений асимптотических нормировочных коэффициентов (АНК) для связанных протонных конфигураций ядра ^{12}C ($^{12}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{B} + p$). Точные значения АНК получались из анализа прецизионно измеренных дифференциальных сечений реакции передачи протона $^{11}\text{B}(^{10}\text{B}, ^9\text{Be})^{12}\text{C}$ при энергиях несколько выше кулоновского барьера, где процесс передачи ожидается периферийным.

Дифференциальные сечения реакции $^{11}\text{B}(^{10}\text{B}, ^9\text{Be})^{12}\text{C}$ были измерены при энергии $E_{^{10}\text{B}} = 41.3$ МэВ на пучке тяжелых ионов, выведенных из ускорителя U-200Р Варшавского университета. Мишенями служили тонкие самоподдерживающиеся пленки бора толщиной до 100 мкг/см^2 (с обогащением по ^{10}B до 90 %). Для идентификации типа частиц была использована двухмерная система анализа ΔE - E . Угловые распределения для переходов в основное и первое возбужденное состояния ядра ^{12}C получены в диапазоне углов 8 – 75° в системе центра масс. Систематическая погрешность экспериментальных дифференциальных сечений не превышала 15 %. Анализ дифференциальных поперечных сечений реакции $^{11}\text{B}(^{10}\text{B}, ^9\text{Be})^{12}\text{C}$ был выполнен в рамках метода связанных каналов реакций. Извлеченные из анализа величины спектроскопических амплитуд для системы $^{12}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{B} + p$ находятся в согласии с литературными данными. Получены

соответствующие асимптотические нормировочные коэффициенты, что позволит извлечь значения астрофизического S – фактора реакции радиационного захвата $^{11}\text{B}(p, \gamma)^{12}\text{C}$.

Данная работа поддержана Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP14870964 “Исследования взаимодействия протонов и ионов ^{10}B с ядрами ^{11}B для термоядерных и астрофизических применений”).

INVESTIGATION OF THE $^{11}\text{B}(^{10}\text{B}, ^9\text{Be})^{12}\text{C}$ REACTION AT AN ENERGY OF 41.3 MeV

**Maulen Nassurlla^{1,2}, N. Burtebayev^{1,2}, S. B. Sakuta^{3*}, S. V. Artemov⁴, K. Rusek⁵,
Marzhan Nassurlla¹, F. Ergashev⁴, A. Sabidolda^{1,2}, R. Khodjaev^{1,2}, Y. B. Mukanov^{1,2},
E. Piasecki⁵, Sh. Hamada⁶**

¹Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan

²Al-Faraby Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

³National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

⁴Institute of Nuclear Physics, Academy of Sciences of Uzbekistan

⁵Heavy Ion Laboratory, University of Warsaw, Poland

⁶Faculty of Science, Tanta University, Tanta, Egypt

The purpose of this work was to obtain the astrophysical S – factor of the $^{11}\text{B}(p, \gamma)^{12}\text{C}$ radiative capture reaction, as well as the rate of this reaction at stellar temperatures using the values of asymptotic normalization coefficients (ANC) for coupled proton configurations ^{12}C nuclei ($^{12}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{B} + p$). Precise ANC values were obtained from the analysis of precision measured differential cross sections for the $^{11}\text{B}(^{10}\text{B}, ^9\text{Be})^{12}\text{C}$ proton transfer reaction at energies slightly above the Coulomb barrier, where the transfer process is expected to be peripheral.

The differential cross sections of the $^{11}\text{B}(^{10}\text{B}, ^9\text{Be})^{12}\text{C}$ reaction were measured at an energy of $E_{^{10}\text{B}} = 41.3$ MeV on the beam of the U-200P heavy ion accelerator at the University of Warsaw. The targets were thin self-supported boron films with a thickness of up to $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (with a ^{10}B enrichment of up to 90 %). A two-dimensional ΔE - E analysis system was used to identify the type of particles. The angular distributions of the proton transfer reaction for the ground and first excited state of the ^{12}C nucleus were obtained in the range of angles of 8–75 degrees in the center of mass system. The systematic error of experimental differential cross sections did not exceed 15 %.

The analysis of differential cross-sections of reaction $^{11}\text{B}(^{10}\text{B}, ^9\text{Be})^{12}\text{C}$ was carried out within the framework of the method of coupled channels of reactions. The values of spectroscopic amplitudes extracted from the analysis for the system $^{12}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{B} + p$ is in agreement with the literature data. The corresponding asymptotic normalization coefficients are obtained, which will make it possible to extract the value of the astrophysical S -factor of the $^{11}\text{B}(p, \gamma)^{12}\text{C}$ radiative capture reaction.

This work is funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant no. AP14870964 “Studies of the interaction of protons and ions ^{10}B with nuclei ^{11}B for thermonuclear and astrophysical applications”).

ОПТИКО-МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНА И ПРОТОНА НА ЯДРЕ ^6Li С УЧЁТОМ РЕЗОНАНСНОГО ВКЛАДА

Л. Н. Генералов, В. А. Жеребцов, С. М. Селянкина

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»

607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, 37

otd4@expd.vniief.ru

С использованием резонансного оптико-модельного кода OptModel [1, 2] (разработанного Л. Н. Генераловым и В. А. Жеребцовым для рассеиваемых $n, p, d, t, ^3\text{He}, ^6\text{Li}$) выполнено описание всех доступных экспериментальных данных по упругому рассеянию на ядре ^6Li нейтронов с энергией E_n от 1 кэВ до 24 МэВ и протонов с энергией E_p от 50 кэВ до 185 МэВ.

Одновременно анализировались дифференциальные сечения рассеяния, поляризация и полные сечения реакции, а в случае нейтронов – еще и полные сечения упругого рассеяния. Нарушение унитарности матрицы рассеяния (оптико-модельная+резонансная) в отдельных энергетических точках не превышало 15 %, что находится на уровне средних погрешностей анализируемых данных. В этом анализе, являющимся продолжением наших исследований по рассеянию протонов [3, 4] на ${}^6\text{Li}$, мы впервые использовали энергетическую зависимость радиусов и диффузностей в потенциалах поверхностного и объемного поглощений. Ранее такая зависимость использовалась для радиусов и диффузностей других частей оптического потенциала.

В работе обсуждаются оптические потенциалы зеркальных реакций упругого рассеяния нейтрона и протона. Ожидаемо потенциалы имеют близкие центральные реальные составляющие. Особое внимание уделено резонансной структуре анализируемых данных.

Список литературы

- [1] Генералов Л. Н., Жеребцов В. А., Таова С. М. // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2014. Вып. 19. С. 164.
- [2] Генералов Л. Н., Жеребцов В. А., Таова С. М. // Изв. РАН. Сер. физ. 2016. Т. 80. С. 328.
- [3] Генералов Л. Н., Жеребцов В. А., Селянкина С. М. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2021. Т. 85. С. 1461.
- [4] Generalov L. N., Zherebtsov V. A., Selyankina S. M. // Book of abstracts Intern. Conf. Nucl. Phys. “Nucleus-2022”. 2022. P. 112–113.

OPTICAL MODEL ANALYSIS OF NEUTRON AND PROTON ELASTIC SCATTERING ON ${}^6\text{Li}$ NUCLEI WITH RESONANCE CONTRIBUTION

L. N. Generalov, V. A. Zherebtsov, S. M. Selyankina

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center –
All-Russian Research Institute of Experimental Physics»
Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave 37
otd4@expd.vniief.ru

With the use of resonance optical-model code OptModel [1,2] (developed by L.N. Generalov and V.A. Zherebtsov for scattered n, p, d, t, ${}^{3,4,6}\text{He}$, ${}^6\text{Li}$) there were described all available experimental data on elastic scattering of neutrons with energies E_n from 1 keV to 24 MeV and protons with energies E_p from 50 keV to 185 MeV on ${}^6\text{Li}$ nuclei. Differential scattering cross sections, polarization and total cross sections were analyzed simultaneously; for the case of neutrons total elastic scattering cross sections were analyzed together with those mentioned above.

Violation of scattering matrix unitarity (optical-model + resonance) at several energies did not exceed 15% what corresponds to the mean errors of the data analyzed. In this analysis (continuation of our research of proton scattering [3, 4] on ${}^6\text{Li}$) we used for the first time the energy dependence of radius and diffuseness in the volume and surface absorption potentials. Previously such dependence was used for radius and diffuseness of other parts of optical potential.

In this paper optical potentials of mirror reactions of neutron and proton elastic scattering are discussed. As it was expected the potentials have close central real components. Particular attention is paid to the resonance structure of the data analyzed.

References

- [1] Generalov L. N., Zherebtsov V. A., Taova S. M. // Trudy RFNC-VNIIEF. 2014. Issue 19. P. 164.
- [2] Generalov L. N., Zherebtsov V. A., Taova S. M. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2016. V. 80. P. 295.
- [3] Generalov L. N., Zherebtsov V. A., Selyankina S. M. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2021. V. 85. P. 1136.
- [4] Generalov L. N., Zherebtsov V. A., Selyankina S. M. // Book of abstracts Intern. Conf. Nucl. Phys. “Nucleus-2022”. 2022. P. 112–113.

СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ $^{19}\text{F}(d,t)^{18}\text{F}$

Л. Н. Генералов, В. А. Жеребцов, С. М. Селянкина

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, 37
otd4@expd.vniief.ru

В интервале энергии дейтронов 5–16 МэВ получена оценка (рис.) интегральных сечений реакции $^{19}\text{F}(d,t)^{18}\text{F}$. Оценка выполнена в электронной библиотеке SaBa (SarovBase) математическими средствами (сплайн аппроксимацией) этой библиотеки [1]. Мотивацией исследований служат новые данные по дифференциальным сечениям этой реакции при энергиях дейтронов 7 и 8 МэВ, полученные в результате обработки спектров тритонов [2]. По этим дифференциальным сечениям определены интегральные сечения, равные соответственно (4.22 ± 0.30) и (10.3 ± 0.6) мб, которые были использованы в качестве опорных: наши экспериментальные активационные данные [3] были уменьшены в 1.3 раза. Данные [5] оставлены без изменения. Для согласования с остальными данными, результаты [4], полученные в циклотронном эксперименте, смещены по энергии дейтронов на -1.4626 МэВ.

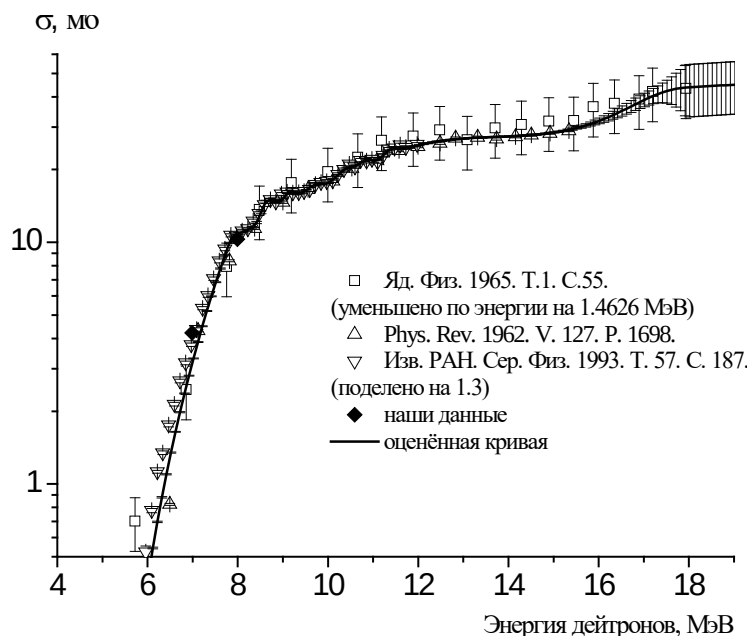


Рисунок. Оценённые и экспериментальные значения интегральных сечений реакции $^{19}\text{F}(d,t)^{18}\text{F}$

Список литературы

- [1]. Генералов Л. Н., Жеребцов В. А., Селянкина С. М. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2022. Т. 86. С. 1134.
- [2]. Генералов Л. Н., Вихлянцев О. П., Карпов И. А. и др. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2020. Т. 84. С. 1774.
- [3]. Абрамович С. Н., Гужовский Б. Я., Генералов Л. Н. и др. // Изв. АН. Сер. физ. 1993. Т. 57. С. 187.
- [4]. Брилли О. Д. // Яд. Физ. 1965. Т. 1. С. 55.
- [5]. Boven L. H. and Irvine J.W. Jr // Phys. Rev. 1962. V.127. p.1698.

$^{19}\text{F}(d,t)^{18}\text{F}$ REACTION CROSS SECTIONS

L. N. Generalov, V. A. Zherebtsov, S. M. Selyankina

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center –
All-Russian Research Institute of Experimental Physics»
Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave 37
otd4@expd.vniief.ru

Evaluation of $^{19}\text{F}(d,t)^{18}\text{F}$ reaction integral cross sections was obtained in the deuteron energy range 5–16 MeV (Fig.). Evaluation was obtained in our electronic SaBa (Sarov Base) library using mathematic tools (spline-approximation) of this library [1]. Our new experimental data on differential cross-sections of this reaction for deuteron energies 7 and 8 MeV obtained as a result of processing spectra of tritons [2] have become the reason of researches. Basing on these differential cross-sections there were found integral cross-sections, correspondingly equal to (4.22 ± 0.30) and (10.3 ± 0.6) mb, that were used as reference ones: our experimental activation data [3] were lowered by a factor of 1.3. The data [5] were left unchanged. The results [4] obtained during a cyclotron experiment were shifted in deuteron energy by (-1.4626 MeV) so that they agree with the other data.

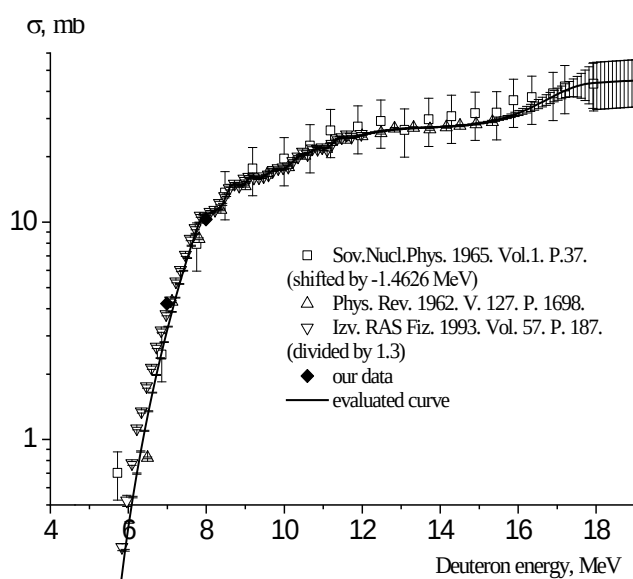


Figure. Evaluated and experimental $^{19}\text{F}(d,t)^{18}\text{F}$ reaction integral cross section

References

- [1] Generalov L. N., Zherebtsov V. A., Selyankina S. M. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2022. V. 86. P. 937.
- [2] Generalov L. N., Vikhlyantsev O. P., Karpov I. A. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2020. V. 84. P. 1511.
- [3] Abramovich S. N., Guzhovskii B. Ya., Generalov L. N. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 1993. V. 57. P. 1832.
- [4] Brill O. D. // Sov. Nucl. Phys. 1965. V. 1. P. 37.
- [5] Boven L. H., Irvine J. W. Jr // Phys. Rev. 1962. V. 127. P. 1698.

ОЦЕНКА ДОЛИ КРОСС-ТОЛКОВ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОНОВ В ДЕТЕКТОРЕ МНОЖЕСТВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ (МНД)

О. В. Сидорова^{1,2}, Ш. Зейналов¹

¹141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области,
ул. Жолио-Кюри, д. 6

²Государственный университет “Дубна”, Дубна, Московская область, Россия
E-mail: sidorova@jinr.ru

В ОИЯИ проводится эксперимент по детектированию мгновенных нейтронов деления (МНД) в резонансном нейтронном делении U-235. В качестве источника нейтронов предполагается использовать двойную ионизационную камеру (ДИК) с сетками Фриша вместе с детектором PFN, разработанным для спектроскопии осколков деления. Детектор PFN состоит из 32 заполненных сцинтилляционной жидкостью BC501 модулей фирмы Scionix (Нидерланды). Модули располагаются на поверхности сферы радиусом 50 см. Двойная ионизационная камера Фриша используется в качестве спектрометра осколков деления и служит источником запускающего сигнала для устройства регистрации МНД. Наличие большого числа модулей увеличивает интенсивность регистрации МНД детектором, однако многократное рассеяние нейтронов на модулях (кросс-толки) вносит дополнительную погрешность. В данной работе представлены результаты моделирования работы детектора с целью оценки вклада кросс-толков.

CROSS-TALK RATE ESTIMATION USING COMPUTER SIMULATION OF PFN DETECTOR

O. V. Sidorova^{1,2}, Sh. Zeynalov¹

¹ Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

²Dubna State University, Dubna, Moscow region, Russia
E-mail: sidorova@jinr.ru

PFN emission of $^{235}\text{U}(n,f)$ reaction are under investigation in JINR for last 20 year. The recent achievements in experimental apparatus simulation are the subject of this presentation. The object of simulation is prompt fission neutron (PFN) detector used for resonance neutron induced fission of U-235. The neutron source was IREN facility and double ionization chamber (DIC) with Frisch grids was used for fission fragment spectroscopy. The PFN detector was multi detector system consisted of 32 BC501 scintillation liquid filled modules from the Sionix (Netherlands) company. Detectors were located on the sphere surface with 50 cm radius. Double Frisch gridded ionization chamber, used as fission spectrometer at the same time generated trigger signal for PFN registration apparatus. For each fission event the following simulated information was recorded: correlated fission fragments time mark, emission angle in respect to the selected coordinate frames along with the pulse heights and shapes of neutron detector signals. Multiple neutron scattering and the cross-talks were taken into account in order to evaluate contribution of those effects in the final results.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ ЯДЕР ДЕЙТЕРИЯ

А. С. Соловьев

Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики имени Н. Л. Духова
Россия, 127055, Москва, ул. Суцеская, д. 22

Телефон: +7 (499) 978-78-03; Факс: +7 (499) 978-09-03; E-mail: alexander.solovyev@mail.ru

В данной работе исследуется процесс радиационного захвата, протекающий в четырех-нуклонной ядерной системе при столкновении ядер дейтерия. Этот процесс представляет значительный интерес для ядерной астрофизики применительно к предсказаниям распространенности химических элементов, сформированных в ходе первичного нуклеосинтеза [1].

Теоретическую основу исследования составляет микроскопический многоканальный кластерный подход в осцилляторном представлении [2]. Вычисляются полное и парциальные сечения соответствующей реакции в терминах астрофизического S -фактора. Достигнуто хорошее согласие с экспериментальными данными. Показано, что тензорная сила ядерного взаимодействия играет ключевую роль для описания низкоэнергетической зависимости полного сечения (астрофизического S -фактора).

Список литературы

[1] Cyburt R. H., Fields B. D., Olive K. A., and Yeh T. -H. Big bang nucleosynthesis: present status // Reviews of Modern Physics. 2016. Vol. 88. P. 015004.

[2] Solovyev A. S. Microscopic description of the ${}^2\text{H}(\alpha, \gamma){}^6\text{Li}$ radiative capture reaction // Physical Review C. 2022. Vol. 106. P. 014610.

THEORETICAL STUDY OF THE DEUTEON + DEUTERON RADIATIVE CAPTURE

A. S. Solovyev

Dukhov Automatics Research Institute (VNIIA)

22 Sushchevskaya str., Moscow 127055, Russia

Phone: +7 (499) 978-78-03; Fax: +7 (499) 978-09-03; E-mail: alexander.solovyev@mail.ru

In this work, the radiative capture process in the four-nucleon $d + d$ system is studied. The considered process is of significant interest for astrophysical applications related to predictions for the abundances of the primordial elements synthesized during the big-bang nucleosynthesis [1]. The theoretical framework of the study is based on the microscopic multichannel cluster approach in the oscillator representation [2]. The total and partial cross sections for the reaction in terms of the astrophysical S factor are calculated. A good agreement with experimental data is achieved. The tensor force of the nuclear interaction is shown to play a key role in describing the low-energy dependence of the total cross section (astrophysical S factor).

References

[1] Cyburt R. H., Fields B. D., Olive K. A., and Yeh T.-H. Big bang nucleosynthesis: present status // Reviews of Modern Physics. 2016. Vol. 88. P. 015004.

[2] Solovyev A. S. Microscopic description of the ${}^2\text{H}(\alpha, \gamma){}^6\text{Li}$ radiative capture reaction // Physical Review C. 2022. Vol. 106. P. 014610.

ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ РЕАКЦИЙ С ЯДРАМИ У ГРАНИЦЫ НУКЛОННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ С ПОМОЩЬЮ 4П-СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА

С. С. Стукалов, Ю. Г. Соболев, Ю. Э. Пенионжкевич, В. В. Самарин

ОИЯИ, Объединенный институт ядерных исследований, ул. Жолио-Кюри, 6,
г. Дубна, Московская обл., Россия, 141980, +7 (49621)6-50-59/6-51-46, post@jinr.ru;
E-mail: stukalov@jinr.ru

Представлена методика измерения полных сечений реакций σ_R с использованием спектрометра на основе CsI – сцинтилляторов с телесным углом, близким к $\Omega = 4\pi$. Описана установка на основе многодетекторного спектрометра, использовавшаяся в экспериментах по измерению σ_R с радиоактивными ядрами в ЛЯР ОИЯИ [1–2]. Характеристики спектрометра,

полученные с помощью источника ^{60}Co , сравниваются с результатами расчетов по программе симуляции GEANT4. Показано преимущество представленной методики, использующей измеренные распределения вероятностей срабатывания определенного числа детекторов спектрометра в зависимости от множественности γ -квантов перед методикой, использующей среднюю эффективность установки. Будет продемонстрировано сравнение двух методик получения σ_R с помощью многодетекторного спектрометра на примере реакций $^6\text{He}+^{28}\text{Si}$, ^{59}Co , ^{181}Ta .

Список литературы

1. Yu. E. Penionzhkevich, Yu. G. Sobolev, V. V. Samarin, M. A. Naumenko, N. A. Lashmanov, V. A. Maslov, I. Siváček and S. S. Stukalov, Energy dependence of the total cross section for the $^{11}\text{Li}+^{28}\text{Si}$ reaction// PHYSICAL REVIEW C 99, 014609, (2019);
2. Yu. G. Sobolev, Yu. E. Penionzhkevich, V. V. Samarin, M. A. Naumenko, S. S. Stukalov, I. Siváček, S. A. Krupko, A. Kugler, J. Louko, Total Reaction Cross Sections for ^6He and ^9Li Nuclei on ^{28}Si , ^{59}Co , and ^{181}Ta Targets// Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, V. 84, No. 8, pp. 948–956, (2020).

MEASUREMENTS OF THE TOTAL CROSS SECTIONS FOR REACTIONS WITH NUCLEI NEAR THE NUCLEON STABILITY BOUNDARY USING A 4PI SCINTILLATION SPECTROMETER

S. S. Stukalov, Yu. G. Sobolev, Yu. E. Penionzhkevich, V. V. Samarin

JINR Joint Institute for Nuclear Research, 141980, 6 Joliot-Curie St.,
Dubna, Moscow Region, Russia,
141980, +7 (49621)6-50-59/6-51-46, post@jinr.ru;
E-mail: stukalov@jinr.ru

A technique will be presented for measuring the total reaction cross sections σ_R using a spectrometer based on CsI scintillators with a solid angle close to $\Omega = 4\pi$. A setup based on a multi-detector spectrometer, which was used in experiments to measure σ_R with radioactive poisons, is described [1–2]. The characteristics of the spectrometer obtained using the ^{60}Co source are compared with the results of calculations using the GEANT4 simulation program. The advantage of the presented technique, which uses the measured probability distributions of operation of a certain number of spectrometer detectors depending on the multiplicity of γ -quanta, over the technique that uses the average efficiency of the setup, is shown. A comparison of two methods for obtaining σ_R using a multi-detector spectrometer will be demonstrated using the reactions $^6\text{He}+^{28}\text{Si}$, ^{59}Co , ^{181}Ta as an example.

References

1. Yu. E. Penionzhkevich, Yu. G. Sobolev, V. V. Samarin, M. A. Naumenko, N. A. Lashmanov, V. A. Maslov, I. Siváček and S. S. Stukalov, Energy dependence of the total cross section for the $^{11}\text{Li}+^{28}\text{Si}$ reaction// PHYSICAL REVIEW C 99, 014609, (2019);
2. Yu. G. Sobolev, Yu. E. Penionzhkevich, V. V. Samarin, M. A. Naumenko, S. S. Stukalov, I. Siváček, S. A. Krupko, A. Kugler, J. Louko, Total Reaction Cross Sections for ^6He and ^9Li Nuclei on ^{28}Si , ^{59}Co , and ^{181}Ta Targets// Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, V. 84, No. 8, pp. 948–956, (2020).

ЭКСПЕРИМЕНТ MONUMENT: ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАХВАТА МЮОНОВ АТОМНЫМИ ЯДРАМИ

D. Bajpai¹, L. Baudis², B. В. Белов³, E. Bossio⁴, T.E. Cocolios⁵, H. Ejiri⁶, М. В. Фомина³, I. H. Hashim⁷, M. Heines⁵, К. Н. Гусев^{3,4}, С. В. Казарцев³, A. Knecht⁸, E. Mondragon⁴, Ng Zheng Wei⁷, I. Ostrovskiy¹, F. Othman⁷, G. Rodrigues Araujo², Н. С. Румянцева³, S. Schönert⁴, M. Schwarz⁴, E. А. Шевчик³, М. В. Ширченко³, Ю. А. Шитов^{3,9}, J. Suhonen¹⁰, E. О. Сушенок³, S. M. Vogiatzi^{8,11}, C. Wiesinger³, И. В. Житников³, Д. Р. Зинатулина³

¹ The University of Alabama, Tuscaloosa, Alabama 35487, USA

² University of Zurich, Rämistrasse 71, 8006 Zürich, Switzerland

³ 141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

⁴ Technical University of Munich, Boltzmannstrasse 15, 85748 Garching, Germany

⁵ Katholieke Universiteit Leuven, Oude Markt 13, 3000 Leuven, Belgium

⁶ Osaka University, 1-1 Yamadaoka, Suita, 565-0871 Osaka, Japan

⁷ Universiti Teknologi Malaysia, Jalan Iman, 81310 Johor Bahru, Johor, Malaysia

⁸ Paul Scherrer Institute, Forschungsstrasse 111, 5232 Villigen, Switzerland

⁹ Institute of Experimental and Applied Physics, Czech Technical University in Prague, Husova 240/5,
110 00 Prague, Czech Republic

¹⁰ University of Jyväskylä, Seminaarinkatu 15, 40014 Jyväskylä, Finland

¹¹ Swiss Federal Institute of Technology in Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Switzerland
e-mail: sushenok@jinr.ru, тел.: +7 (49621) 6-36-05

Процесс мюонного захвата атомными ядрами представляет интерес для широкого круга задач, связанных с различными проблемами мезоатомной физики и структуры ядра; его изучение отвечает на вопросы об универсальности описания слабого взаимодействия, а также имеет ряд астрофизических приложений. Одной из актуальных задач является поиск кандидатов на безнейтринный двойной бета-распад. Для данного процесса характерны передачи больших импульсов, как и в случае мюонного захвата, который с этой точки зрения можно считать удобной площадкой как для проверки различных ядерных моделей, так и для определения констант слабого взаимодействия. Последнее возможно благодаря хорошей экспериментальной точности определения скоростей захвата, что объясняет интерес к данному процессу.

Целью проекта MONUMENT является проведение экспериментальных измерений мюонного захвата в ядрах. Идея экспериментов по мюонному захвату основана на точном измерении время-энергетического распределения гамма-лучей после захвата мюона. Анализ временных распределений и интенсивностей задержанных гамма-квантов позволяет определить полные и парциальные скорости мюонного захвата. Сами измерения проводятся на базе экспериментальной инфраструктуры мезонной фабрики Института Пауля Шеррера (PSI, Швейцария), которая обеспечивает требуемую точность измерений за счёт высокой монохроматичности выдаваемого мюонного пучка. На базе Объединённого института ядерных исследований (ОИЯИ), в свою очередь, производится закупка всей необходимой для эксперимента электроники и обеспечивается производство выбранных мишеней и детектирующей системы, в основе которой используется несколько германиевых детекторов различных типов. Мишенная система сконструирована таким образом, что позволяет проводить измерения как с твёрдыми, так и с газообразными мишенями. Измерения проводятся научной группой из ОИЯИ, которая имеет богатый опыт в прецизионной ядерной спектроскопии.

Данный проект продолжает и расширяет программу измерений, предложенную и реализуемую ОИЯИ в период с 1996 по 2006 гг. На фоне возросшего интереса к экспериментальным данным со стороны теоретических программ исследований безнейтринного двойного бета-распада в 2017 г. было решено возобновить измерения мюонного захвата. В период с 2020 по 2022 гг. были измерены ядра в широкой области таблицы изотопов, в том числе ⁷⁶Se, ⁹⁶Mo, ¹⁰⁰Mo, ¹³⁶Ba. Данные по мюонному захвату в ¹³⁶Ba и ⁷⁶Se имеют особое значение для ведущих международных экспериментов по поиску безнейтринного двойного бета-распада, таких как nEXO, KamLAND2-Zen, NEXT, DARWIN, PandaX-III и LEGEND. В 2023 г. планируются измерения с ядром ⁴⁸Ti, по результатам которых ожидается получить значения полных и парциальных скоростей захвата, а также сравнить эти результаты с теоретическими предсказаниями для их интерпретации относительно различных ядерных моделей.

MONUMENT: MUON ORDINARY CAPTURE FOR THE NUCLEAR MATRIX ELEMENTS

D. Bajpai¹, L. Baudis², V. V. Belov³, E. Bossio⁴, T. E. Cocolios⁵, H. Ejiri⁶, M. V. Fomina³, I. H. Hashim⁷, M. Heines⁵, K. N. Gusev^{3,4}, S. V. Kazartsev³, A. Knecht⁸, E. Mondragon⁴, Ng Zheng Wei⁷, I. Ostrovskiy¹, F. Othman⁷, G. Rodrigues Araujo², N. S. Rumyantseva³, S. Schönert⁴, M. Schwarz⁴, E. A. Shevchik³, M. V. Shirchenko³, Yu. A. Shitov^{3,9}, J. Suhonen¹⁰, E. O. Sushenok³, S. M. Vogiatzi^{8,11}, C. Wiesinger³, I. V. Zhitnikov³, D. R. Zinatulina³

¹ The University of Alabama, Tuscaloosa, Alabama 35487, USA

² University of Zurich, Rämistrasse 71, 8006 Zürich, Switzerland

³ Joint Institute for Nuclear Research, 6 Joliot-Curie st., 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

⁴ Technical University of Munich, Boltzmannstrasse 15, 85748 Garching, Germany

⁵ Katholieke Universiteit Leuven, Oude Markt 13, 3000 Leuven, Belgium

⁶ Osaka University, 1-1 Yamadaoka, Suita, 565-0871 Osaka, Japan

⁷ Universiti Teknologi Malaysia, Jalan Iman, 81310 Johor Bahru, Johor, Malaysia

⁸ Paul Scherrer Institute, Forschungsstrasse 111, 5232 Villigen, Switzerland

⁹ Institute of Experimental and Applied Physics, Czech Technical University in Prague, Husova 240/5, 110 00 Prague, Czech Republic

¹⁰ University of Jyväskylä, Seminaarinkatu 15, 40014 Jyväskylä, Finland

¹¹ Swiss Federal Institute of Technology in Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Switzerland

Muon capture in nuclei is of interest of many problems of nuclear and particle physics. In particular, the latter is related to search of Majorana neutrino. If one assumes that neutrino is Majorana particle, the neutrinoless double β -decay becomes possible. In determining of $0\nu\beta\beta$ -decay limit, that can be translated into a limit for the mass of Majorana neutrino, the crucial role plays the calculation of the involved nuclear matrix elements (NMEs). Both processes, μ -capture and $0\nu\beta\beta$ -decay, are governed by huge momentum transfer ~ 100 MeV with no restriction on angular momentum and parity change. This features make the muon capture an attractive testing ground for nuclear model description of the NMEs for neutrinoless $\beta\beta$ -decay as well as for theoretical description of weak processes. At the same time, the interest of studying of μ -capture is supported by a relatively good experimental accuracy of total rate measurements.

The MONUMENT experimental program includes precise measurements of the γ -ray spectrum produced following ordinary (nonradiative) muon capture (OMC). The measurement accuracy is achieved by using the high-purity germanium (HPGe) detectors. By investigating energy and time distributions, the muon lifetime can be deduced. It should be mentioned that OMC is typically followed by the one- or two-neutron emission. Detailed analysis of the intensity of the γ -lines allows the extraction of the relative yields of final nuclei. This makes possible to obtain the partial rates of μ -capture to excited nuclear states of daughter nuclei. These rates are important for theoretical calculation of nuclear matrix elements for $\beta\beta$ -decay and Supernova studies.

The experiment aims to proceed μ -capture measurements in order to provide experimental input to the $\beta\beta$ NMEs calculation. This implies measurements of the total and partial muon capture rates in corresponding isotopes, such as ^{76}Se , $^{96,100}\text{Mo}$ and ^{136}Ba . In the case of ^{76}Se and ^{136}Ba , these isotopes are of particular importance for the leading experimental searches for the neutronless $\beta\beta$ -decay of ^{136}Xe – nEXO, KamLAND2-Zen, NEXT, DARWIN, and PandaX-III – and of ^{76}Ge – LEGEND. The isotopes $^{96,100}\text{Mo}$ look rather attractive from the astrophysical point of view. In 2023, measurements of the ^{48}Ti isotope are planned. It is expected to obtain the total and partial capture rates and compare these results with theoretical predictions for their interpretation with respect to various nuclear models.

НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТРОЙНОЕ ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР-АКТИНИДОВ С ВЫЛЕТОМ НУКЛОНОВ И ЛЕГКИХ ЯДЕР

С. Г. Кадменский, Л. В. Титова, Я. О. Отводенко, Е. С. Петрыкина

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет,
394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1, Россия, titova_lv@phys.vsu.ru

В работе [1] предложен виртуальный механизм спонтанного тройного деления ядра (A, Z) , которое рассматривается как двухступенчатый процесс, когда на первой стадии легкая заряженная частица (ЛЗЧ) (A_3, Z_3) или нуклон с кинетической энергией T испускается из ядра (A, Z) , и формируется виртуальное состояние промежуточного ядра $(A - A_3, Z - Z_3)$, которое на второй стадии испытывает двойное деление. Энергетическое распределение ЛЗЧ $W(T)$, нормированное на выход N ЛЗЧ, при учете близости делительных ширин $\Gamma_f^{A-A_3}(T)$ и $\Gamma_f^{A-A_3}(T)$ ядер (A, Z) и $(A - A_3, Z - Z_3)$ из конфигурации (0) с шейкой радиуса R_{neck} между предфрагментами

деления, определяется как
$$W(T) = \frac{1}{2\pi} \frac{\left(\Gamma_3^A(T)\right)^{(0)} \Gamma_f^{A-A_3}(T)}{(Q-T)^2 \Gamma_f^A(T)}, \quad \text{где} \quad \left(\Gamma_3^A(T)\right)^{(0)} =$$

$$= \omega \frac{\hbar c \sqrt{2T}}{2R_{\text{neck}} \sqrt{\mu c^2}} P(T) - \text{ширина распада ядра } (A, Z) \text{ из конфигурации (0), взятая из теории Гамова,}$$

Q – теплота распада ядра с вылетом (A_3, Z_3) , $P(T)$ – фактор проницаемости кулоновского барьера для ЛЗЧ, ω – вероятность формирования ЛЗЧ в области шейки делящегося ядра, μ – приведенная масса ядер $(A - A_3, Z - Z_3)$ и (A_3, Z_3) . При использовании экспериментальных энергетических распределений ЛЗЧ в спонтанном делении ^{250}Cf (s,f), ^{252}Cf (s,f) и индуцированном тепловыми нейтронами делении ^{249}Cf (n,f), ^{251}Cf (n,f) с вылетом α -частиц, тритонов, ядер ^6He [2]; ^{242}Cm (s,f), ^{244}Cm (s,f), ^{246}Cm (s,f) и ^{241}Cm (n,f), ^{243}Cm (n,f), ^{245}Cm (n,f) с вылетом α -частиц и тритонов [3], а также ^{240}Pu (s,f), ^{242}Pu (s,f) и ^{239}Pu (n,f), ^{241}Pu (n,f) с вылетом α -частиц [4] получены оценки R_{neck} , которые оказываются близкими друг к другу для (s,f) и (n,f) деления соответствующих ядер. Этот результат позволяет сделать вывод, что и спонтанное, и вынужденное тройное деление рассматриваемых ядер-актинидов с испусканием ЛЗЧ происходит из близких конфигураций делящегося ядра, а энергия связи теплового нейтрона B_n , вносимая в составное делящееся ядро в реакциях (n,f), идет в энергию деформации делящегося ядра, а не в кинетическую энергию ЛЗЧ.

Список литературы

1. S. G. Kadmsky et al. PEPAN 63, 620 (2022).
2. S. Vermote et al., Nucl. Phys. A806, 1 (2008).
3. S. Vermote et al., Nucl. Phys. A837, 176 (2010).
4. O. Serot et al., Nucl. Phys. A641, 34 (1998).

LOW-ENERGY TERNARY FISSION OF ACTNIDES WICH NUCLEONS AND LIGHT CHARGED PARTICLES EMISSION

L. V. Titova, S. G. Kadmsky, Ya. O. Otvoidenko, E. S. Petrykina

Voronezh State University, 394018, Voronezh, University square, 1, Russia, titova_lv@phys.vsu.ru

In [1] the virtual mechanism of the spontaneous ternary fission of the nucleus (A, Z) , which is considered as two-step process, when at the first stage light charged particle (LCP) (A_3, Z_3) or nucleon is emitted with kinetic energy T form the nucleus (A, Z) , and the virtual state of the intermediate nucleus

$(A - A_3, Z - Z_3)$ is formed, and on the second stage this nucleus is involved in the binary fission, was suggested. Energy distribution of the LCP $W(T)$, normalized by yield N for LCP, with taking into account the proximity of the fission width $\Gamma_f^{A-A_3}(T)$ and $\Gamma_f^{A-A_3}(T)$ for nuclei (A, Z) and $(A - A_3, Z - Z_3)$ from the configuration (0) with the neck with radius R_{neck} between two fission prefragments are

defined as $W(T) = \frac{1}{2\pi} \frac{(\Gamma_3^A(T))^{(0)} \Gamma_f^{A-A_3}(T)}{(Q-T)^2 \Gamma_f^A(T)}$, where $(\Gamma_3^A(T))^{(0)} = \omega \frac{\hbar c \sqrt{2T}}{2R_{\text{neck}} \sqrt{\mu c^2}} P(T)$ is Gamow's

theory decay width for nucleus (A, Z) from configuration (0), Q is the heat of the decay of the nucleus with (A_3, Z_3) emission, $P(T)$ is Coulomb barrier penetrability factor for LCP, ω is the probability of the LCP formation in the fissile nucleus, μ is the reduced mass of nuclei $(A - A_3, Z - Z_3)$ and (A_3, Z_3) . Using the experimental energy distributions for the spontaneous fission of ^{250}Cf (s,f), ^{252}Cf (s,f) and induced by thermal neutrons fission of ^{249}Cf (n,f), ^{251}Cf (n,f) with α -particle, tritons and ^6He emission [2]; ^{242}Cm (s,f), ^{244}Cm (s,f), ^{246}Cm (s,f) and ^{241}Cm (n,f), ^{243}Cm (n,f), ^{245}Cm (n,f) with α -particles and tritons emission [3], and also of ^{240}Pu (s,f), ^{242}Pu (s,f) and ^{239}Pu (n,f), ^{241}Pu (n,f) with α -particles emission [4] the estimations of the radius R_{neck} were derived, which are close to each other for (s,f) and (n,f) reaction in corresponding nuclei. This result allows to make the conclusion that the spontaneous and induced ternary fission of the mentioned actinides with LCP emission occurs from the similar configurations of the fissile nucleus, and the thermal neutron binding energy B_n , contributed in compound fissile nucleus in (n,f) reactions, goes to the deformation energy of the nucleus, but not in the LCP kinetic energy.

References

1. S. G. Kadmsky et al. PEPAN 63, 620 (2022).
2. S. Vermote et al., Nucl. Phys. A806, 1 (2008).
3. S. Vermote et al., Nucl. Phys. A837, 176 (2010).
4. O. Serot et al., Nucl. Phys. A641, 34 (1998).

РАССЕЯНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЯДЕР ^3He НА ТЕНЗОРНО-ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ДЕЙТРОНАХ И ПРОВЕРКА Т-ИНВАРИАНТНОСТИ

М. Н. Платонова^{1,2}, Н. Т. Турсунбаев¹, Ю. Н. Узиков¹

¹ Объединенный институт ядерных исследований,
ул. Жолио-Кюри, д. 6, г. Дубна, Московская обл., 141980
Тел. 49621 62417, факс: 49621 66666

² Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына
МГУ им. М. В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Москва, 119991
uzikov@jinr.ru

Полное сечение взаимодействия ядер ^3He , поляризованных поперечно по отношению к направлению пучка, с поляризацией P_y и тензорно-поляризованных дейтронов с поляризацией P_{xz} является нуль-тест сигналом эффекта нарушения инвариантности относительно обращения времени (Т) при сохранении пространственной (Р) четности. При этом нуль-тест сигнал не может быть имитирован взаимодействием в начальном и конечном состояниях. В этом отношении процесс ^3He -d-рассеяния аналогичен процессу рассеяния поляризованных протонов на дейтронах [1]. Нами вычислен нуль-тест сигнал для процесса ^3He -d рассеяния (с точностью до неизвестной константы Т-нечетного Р-четного NN-взаимодействия) при энергиях пучка ядер ^3He в интервале 100-1000 МэВ/нуклон на основе теории Глаубера с учетом зависимости амплитуд упругого рN-рассеяния от спинов [2] при включении вклада нарушающих Т-инвариантность, но сохраняющих Р-четность взаимодействий между нуклонами. При этом в расчете амплитуды упругого ^3He -d-рассеяния используется разработанный ранее формализм для упругого рd-рассеяния [1, 2] с учетом S- и D-волн дейтрона, а спиновые рN-амплитуды заменяются на спиновые амплитуды ^3He -N-рассеяния. Необходимые при этом расчете амплитуды N ^3He -рассеяния

построены нами также на основе спин-зависящей теории Глаубера в S-волновом приближении для волновой функции ядра ${}^3\text{He}$. Результаты расчета дифференциального сечения и векторной анализирующей способности A_y процесса $p^3\text{He}$ -рассеяния хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными [3] в передней полусфере углов при энергиях 150–1000 МэВ. Представлена зависимость нуль-тест сигнала от энергии ${}^3\text{He}$ -d-столкновения для разных типов T-нечетного P-четного NN-взаимодействия [4].

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-22-00123, <https://rscf.ru/project/23-22-00123/>.

Список литературы

1. Y. N. Uzikov, J. Haidenbauer, Phys. Rev. C **94**, 035501 (2016).
2. M. N. Platonova, V. I. Kukulin, Phys. Rev. C **81**, 014004 (2010).
3. D. K. Hasell et al., Phys. Rev. C **34**, 236 (1986).
4. M. Simonius, Phys. Rev. Lett. **78**, 4161 (1997).

SCATTERING OF POLARIZED ${}^3\text{He}$ NUCLEI ON TENSOR-POLARIZED DEUTERONS AND TEST OF T-INVARIANCE

M. N. Platonova^{1,2}, N. T. Tursunbayev¹, Yu. N. Uzikov¹

¹ Joint Institute for Nuclear Research, Joliot-Curie str., 6, Dubna, Moscow region, 141980
Tel. 49621 62417, fax: 49621 66666,

² Skobeltsyn Institute for Nuclear Physics, Lomonosov
Moscow State University, Leninskie Gory, 1/2, Moscow, 119991
uzikov@jinr.ru

The total cross section of the interaction of ${}^3\text{He}$ nuclei polarized transversely with respect to the beam direction with the polarization P_y and tensor-polarized deuterons with the polarization P_{xz} is a null-test signal of the effect of violation of invariance with respect to time reversal (T) while conserving spatial (P) parity. In this case, the null-test signal cannot be simulated by the interaction in the initial and final states. In this respect, the ${}^3\text{He}$ -d scattering process is similar to the scattering of polarized protons on deuterons [1]. We have calculated the null-test signal for the ${}^3\text{He}$ -d scattering process (up to an unknown constant of the T-odd P-even NN interaction) at the energies of the ${}^3\text{He}$ nuclear beam in the range of 100-1000 MeV/nucleon based on the Glauber theory, taking into account the spin dependence of the pN elastic scattering amplitudes [2] with the contribution of T-invariance violating, but P-parity conserving interactions between nucleons. At the same time, when calculating the amplitude of elastic ${}^3\text{He}$ -d scattering, the previously developed formalism for elastic pd scattering [1,2] is used, taking into account the S and D waves of the deuteron wave function, and the spin-dependent pN scattering amplitudes are replaced by spin-dependent amplitudes of the ${}^3\text{He}$ -N scattering. The $N^3\text{He}$ scattering amplitudes necessary for this calculation are also constructed by us on the basis of the spin-dependent Glauber theory in the S-wave approximation for the wave function of the ${}^3\text{He}$ nucleus. The results of the calculation of the differential cross section and the vector analyzing power A_y of the $p^3\text{He}$ scattering process are in good agreement with the available experimental data [3] in the forward hemisphere at energies of 150-1000 MeV. The dependence of the null-test signal on the ${}^3\text{He}$ -d collision energy for different types of T-odd P-even NN interaction [4] is presented.

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-22-00123, <https://rscf.ru/project/23-22-00123/>.

References

1. Y. N. Uzikov, J. Haidenbauer, Phys. Rev. C **94**, 035501 (2016).
2. M. N. Platonova, V. I. Kukulin, Phys. Rev. C **81**, 014004 (2010).
3. D. K. Hasell et al. Phys. Rev. C **34**, 236 (1986).
4. M. Simonius, Phys. Rev. Lett. **78**, 4161 (1997).

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В МУЛЬТИМОДАЛЬНОМ ДЕЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР

А. В. Унжакова, Ю. В. Иванский

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
Университетская наб., д. 7-9, 199034 Россия
E-mail: a.unzhakova@spbu.ru

За 85 лет, прошедших со дня открытия деления ядер, теоретическое объяснение природы мультимодальности деления тяжелых ядер остается актуальной задачей.

Экспериментальные исследования спонтанно делящихся ядер ^{252}Cf и ^{248}Cm на сопоставимые по массе осколки, уже много лет ведущиеся на время-пролетном спектрометре тяжелых ионов ФОБОС в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ, показали определяющее влияние кластеризации на образование различных делительных мод [1–3]. В работе [1] впервые было проведено сравнение специально обработанных экспериментальных данных с систематическими теоретическими расчетами многомерных поверхностей потенциальной энергии для ядер калифорния и таким образом подтверждена связь образования новых делительных мод с произошедшей внутри делящейся системы кластеризацией будущих фрагментов деления.

В данной работе рассматривается задача теоретического описания динамики процесса кластеризации нуклонов внутри делящегося ядра. Подход, впервые предложенный в [4], основан на микроскопическом моделировании кластеризации как нового типа коллективного движения частиц [5]. Применение алгоритма динамической кластеризации в области тяжелых ядер потребовало разработки эффективного многочастичного взаимодействия для такого типа микроскопических моделей.

Были произведены расчеты основных кластеров наблюдающихся экспериментально в мультимодальном делении ядер калифорния.

Список литературы

1. Y. V. Pyatkov, V. V. Pashkevich, A. V. Unzhakova *et al*, Nucl. Phys. A. V. 624, p. 140, 1997.
2. Y. V. Pyatkov, V. V. Pashkevich, A. V. Unzhakova *et al*, Phys. Atom. Nucl. V. 67, p. 1754, 2004.
3. Y. V. Pyatkov, D. V. Kamanin, A. N. Solodov *et al*, Phys. Atom. Nucl. V. 85, p. 763, 2022.
4. Y. V. Ivansky, A. V. Unzhakova, Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, V. 86, p. 1108, 2022.
5. A. Jadbabaie, J. Lin, A. S. Morse, IEEE Transactions on Automatic Control, p. 2953, 2003.

DYNAMICAL MODELLING OF CLUSTERING IN MULTIMODAL HEAVY NUCLEI FISSION

A. V. Unzhakova, Y. V. Ivansky

Saint-Petersburg State University, 7-9 Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034 Russia
E-mail: a.unzhakova@spbu.ru

Over the 85 years that have passed since the discovery of nuclear fission, the theoretical explanation of the multimodal nature of heavy nuclei fission remains an actual task.

Experimental studies of ^{252}Cf and ^{248}Cm spontaneous fission into mass comparable fragments, which have been carried out for many years at the time-of-flight heavy ion spectrometer FOBOS in Flerov Laboratory of Nuclear Reactions JINR, have shown the determining influence of clustering on the formation of various fission modes [1,2,3]. In [1], for the first time, specially processed experimental data were compared with systematic theoretical calculations of multidimensional potential energy surfaces for californium nuclei and thus, a relationship between the formation of new fission modes and clustering of future fission fragments occurring within a fissioning system was established.

In this paper, we consider the problem of theoretical description of the dynamics of the nucleon clustering process inside a fissioning nucleus. The approach, first proposed in [4], is based on microscopic modelling of clustering as a new type of particle collective motion [5]. Adaptation of the dynamical algorithm of clustering for the region of heavy nuclei required the development of an effective multiparticle interaction for this type of microscopic models.

The calculations for the main clusters observed experimentally in the multimodal fission of californium nuclei have been performed.

References

1. Y. V. Pyatkov, V. V. Pashkevich, A. V. Unzhakova *et al*, Nucl. Phys. A. V. 624, p. 140, 1997.
2. Y. V. Pyatkov, V. V. Pashkevich, A. V. Unzhakova *et al*, Phys. Atom. Nucl. V. 67, p. 1754, 2004.
3. Y. V. Pyatkov, D. V. Kamanin, A. N. Solodov *et al*, Phys. Atom. Nucl. V. 85, p. 763, 2022.
4. Y. V. Ivansky, A. V. Unzhakova, *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, V. 86, p. 1108, 2022.
5. A. Jadbabaie, J. Lin, A. S. Morse, IEEE Transactions on Automatic Control, p. 2953, 2003.

ВЫХОДЫ γ -КВАНТОВ, ИСПУСКАЕМЫХ КАЛЬЦИЕМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 14.1 МэВ

Н. А. Федоров*, Д. Н. Грозданов, Ю. Н. Копач, В. Р. Ской, Т. Ю. Третьякова,
К. Храмко, И. Н. Русков, Г. Ахмедов, Д. Бериков, А. В. Андреев, П. Г. Филончик
и коллаборация “TANGRA”

141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
тел. +7 (496) 216-50-59, факс. +7 (496) 216-51-46, e-mail: post@jinr.ru
*nfedorov@jinr.ru

Информация о свойствах γ -излучения, испускаемого в ходе нейтрон-ядерных реакций, необходима как для фундаментальных, так и для прикладных целей: с одной стороны, сведения о выходах γ -квантов полезны для тестирования теоретических моделей. С другой же, максимально точная информация о сечениях реакций типа $(n, X\gamma)$ необходима для развития современных методов быстрого элементного анализа на быстрых нейтронах с использованием DT генераторов.

Одной из целей проекта TANGRA [1] является создание максимально подробной и точной базы данных характеристик γ -излучения, испускаемого в реакциях с нейтронами энергии 14.1 МэВ, для последующего использования при разработке методики и установок быстрого элементного анализа.

Кальций является одним из интересных объектов для выполнения измерений, так как входит в число самых распространенных в природе элементов, но при этом нельзя сказать, что он хорошо изучен. Сечение реакции $(n, X\gamma)$ на нем невелико, существующие данные имеют существенные расхождения [2]. В последнее время исследование процесса $\text{Ca}(n, X\gamma)$ приобрело особую актуальность, так как точное определение концентрации CaCO_3 необходимо для целей быстрого элементного анализа почв и разделения органической и неорганической компонент почвенного углерода [3].

В докладе будут представлены новые данные по выходам γ -квантов в реакции $\text{Ca}(n, X\gamma)$, полученные коллективом коллаборации TANGRA.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 23-12-00239).

Список литературы

1. Ruskov I. N., Kopatch Y. N., Bystritsky V. M. et al. TANGRA-Setup for the Investigation of Nuclear Fission induced by 14.1 MeV neutrons //Physics procedia. – 2015. – Т. 64. – С. 163–170.

2. Simakov S. P., Pavlik A., Vonach H. et al. Status of Experimental and Evaluated Discrete Gamma-Ray Production at $E_n = 14.5$ MeV / International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. 1998.

3. McTaggart R. The assay of soil carbon with naturally occurring cosmic ray neutrons // Journal of Environmental Radioactivity. – 2023. – Т. 264. – С. 107202.

YIELDS OF γ -QUANTA EMITTED BY CALCIUM DURING 14.1 MeV NEUTRONS IRRADIATION

N. A. Fedorov^{*}, D. N. Grozdanov, Yu. N. Kopatch, V. R. Skoy, T. Yu. Tretyakova, K. Hramco, I. N. Ruskov, G. Akhmedov, D. Berikov, A. V. Andreev, P. G. Filonchik and “TANGRA” collaboration

Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
tel. +7 (496) 216-50-59, fax. +7 (496) 216-51-46, e-mail: post@jinr.ru * nfedorov@jinr.ru

Information about the properties of γ -radiation emitted in the neutron-nuclear reactions is necessary for both fundamental and applied purposes: on the one hand, data about the yields of γ -quanta is useful for testing theoretical models. On the other hand, the most accurate information on the cross sections for reactions of the $(n, X\gamma)$ type is necessary for the development of modern methods of fast elemental analysis on fast neutrons using DT generators.

One of the goals of the TANGRA project [1] is to create the most detailed and accurate database of the characteristics of γ -radiation emitted in reactions with neutrons of energy 14.1 MeV, for subsequent use in the development of methods and facilities for fast elemental analysis.

Calcium is one of the interesting objects for measurements, as it is one of the most abundant elements in nature, but it is not well studied. The cross section of the reaction $(n, X\gamma)$ on it is low, the existing data have significant discrepancies [2]. The study of the $\text{Ca}(n, X\gamma)$ process is relevant now, since accurate determination of the CaCO_3 concentration is necessary for the purposes of fast elemental analysis of soils and separation of the organic and inorganic components of soil carbon [3].

New data on the yields of γ -quanta in the reaction $\text{Ca}(n, X\gamma)$, obtained by the team of the TANGRA collaboration will be presented.

This work was supported by the RSCF grant 23-12-00239.

References

1. Ruskov I. N., Kopatch Y. N., Bystritsky V. M. et al. TANGRA-Setup for the Investigation of Nuclear Fission induced by 14.1 MeV neutrons // Physics procedia. 2015. Т. 64. S. 163–170.

2. Simakov S. P., Pavlik A., Vonach H. et al. Status of Experimental and Evaluated Discrete Gamma-Ray Production at $E_n = 14.5$ MeV / International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. 1998.

3. McTaggart R. The assay of soil carbon with naturally occurring cosmic ray neutrons // Journal of Environmental Radioactivity. 2023. Т. 264. S. 107202.

ИЗУЧЕНИЕ СЕЧЕНИЯ $^{54,57}\text{Fe}(n, \alpha)^{51,54}\text{Cr}$ РЕАКЦИЙ ПРИ ЭНЕРГИЯХ НЕЙТРОНОВ ОТ 4,3 ДО 7,0 МэВ

Т. А. Хромылева, В. В. Кетлеров, Н. Н. Титаренко, О. Г. Томилов, В. А. Хрячков

Физико-энергетический институт им. Лейпунского (ФЭИ), пл. Бондаренко 1,
г. Обнинск, 249033, Россия

Приводятся результаты измерения сечения (n, α) реакций на железе-54 в диапазоне энергий падающих нейтронов 4,75–7 МэВ, а также на железе-57 при энергиях нейтронов от 4,3 до 6,5 МэВ. Для регистрации α -частиц использовалась ионизационная камера с сеткой Фриша

и цифровой подход для получения информации о свойствах регистрируемых частиц. Разработанная измерительная система позволяет напрямую регистрировать продукты изучаемой реакции. Выполнен анализ полученных распределений, основанный на использовании программы TALYS.

STUDY OF THE CROSS SECTION OF $^{54,57}\text{Fe}(n,\alpha)^{51,54}\text{Cr}$ REACTIONS AT NEUTRON ENERGIES FROM 4.3 TO 7.0 MeV

T. A. Khromyleva, V. V. Ketlerov, N. N. Titarenko, O. G. Tomilov, V. A. Khryachkov

I.I. Leypunsky Institute for Physics and Power Engineering (IPPE), Bondarenko sq. 1,
Obninsk, 249033, Russia

The results of measurements of the cross section (n,α) of reactions on iron-54 in the energy range of incident neutrons 4.75–7.0 MeV, as well as on iron-57 at neutron energies from 4.3 to 6.5 MeV are presented. To register α -particles, an ionization chamber with a Frisch grid was used and a digital approach was used to obtain information about the properties of registered particles. The developed measuring system makes it possible to directly register the products of the studied reaction. An analysis of the obtained distributions based on the use of the TALYS program was performed.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ В СЕЧЕНИИ РЕАКЦИИ $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$

В. А. Хрячков, В. В. Кетлеров, Н. Н. Титаренко, О. Г. Томилов, Т. А. Хромылева

Физико-энергетический институт им. Лейпунского (ФЭИ), пл. Бондаренко 1,
г. Обнинск, 249033, Россия

Реакция $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ широко используется на практике для регистрации тепловых нейтронов или защиты от них. Сечение данной реакции является общепринятым стандартом в широком диапазоне энергий нейтронов. Все известные оценки сечения данной реакции дают гладкую функцию возбуждения без узких резонансов. В проведенных измерениях сечения реакции $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ вблизи энергии 3,4 МэВ была обнаружена особенность, ширина которой оказалась практически равной ширине нейтронного распределения, генерируемого при помощи ускорителя. Проведенный анализ данных других авторов показал, что в них наблюдались признаки существования найденного резонанса. Теоретический анализ показал, что в схеме уровней ядра ^{11}B имеются уровни, которые могут быть причиной формирования наблюдаемого резонанса.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE FINE STRUCTURE IN THE REACTION CROSS SECTION $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$

Khryachkov V., Ketlerov V., Titarenko N., Tomilov O., Khromyleva T.

I.I. Leypunsky Institute for Physics and Power Engineering (IPPE), Bondarenko sq. 1,
Obninsk, 249033, Russia

The $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ reaction is widely used in practice for registration of thermal neutrons or protection against them. The cross section for this reaction is a generally accepted standard in the neutron energy range up to 1 MeV. All known estimates of the cross section for this reaction give a smooth excitation function without narrow resonances. In the measurements of the cross section of the $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ reaction near an energy of 3.4 MeV, a resonance was found, the width of which turned out

to be practically equal to the width of the neutron distribution generated by the accelerator. The analysis of the data of other authors showed that they showed signs of the existence of the found resonance. Theoretical analysis showed that there are levels in the level scheme of the ^{11}B nucleus that can be the reason for the formation of the observed resonance.

INTERACTION OF PHOTONS WITH SILVER AND INDIUM NUCLEI AT ENERGIES UP TO 20 MeV

**J. H. Khushvaktov^{a,b}, D. L. Demin^a, S. A. Evseev^a, V. V. Kobets^a,
F. A. Rasulova^{a,b}, S. V. Rozov^a, E. T. Ruziev^b, A. A. Solnyshkin^a,
V. I. Stegailov^a, T. N. Tran^{a,c}, E. A. Yakushev^a, B. S. Yuldashev^{a,b}**

^a Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

^b Institute of Nuclear Physics ASRU, Tashkent, Uzbekistan

^c Institute of Physics VAST, Hanoi, Viet Nam

The study of isomeric states of atomic nuclei provides information on the nature of excited states of atomic nuclei. Phenomenon of isomerism of atomic nuclei is associated with a large difference in the spins or deformations of the isomeric state relative to the ground state of the atomic nucleus. The probability of isomer population as a result of photonuclear reactions depends on the reaction energy, the orbital momentum of emitted particles, the momentum and parity of the final state, and also depends on the probabilities of cascade transitions to it from higher lying states [1, 2].

In addition to isomeric ratios, in this work we investigated the yields and cross sections of photonuclear reactions in silver and indium samples. The yields of photonuclear reactions in ^{107}Ag , ^{113}In , and ^{115}In nuclei were measured. Monte Carlo simulations were performed using the Geant4 code and the results were compared with experimental ones. According to the comparison results, the ratio Calc./Exp. is in the range of 0.40-2.51. The isomeric ratios of the yields in the reactions $^{107}\text{Ag}(\gamma, n)^{106\text{m.g}}\text{Ag}$ and $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112\text{m.g}}\text{In}$ were determined, which coincide with the literature data. Based on the experimental data, the cross sections for the reactions $^{107}\text{Ag}(\gamma, n)^{106\text{g}}\text{Ag}$ and $^{107}\text{Ag}(\gamma, 2n)^{105}\text{Ag}$ at an energy of 20 MeV were determined, and these values also coincide with the literature data.

References

1. Belyshev, S. S., Ishkhanov, B. S., Kuznetsov, A. A. et al. Isomeric ratios for products of photonuclear reactions on a natural mixture of silver isotopes. *Phys. Atom. Nuclei* 78, 895–904 (2015).
2. Mazur, V. M., Bigan, Z. M. & Symochko, D. M. Excitation of ^{109}Pd and ^{112}In nuclear isomers in (γ, n) reactions. *Phys. Part. Nuclei Lett.* 5, 374–378 (2008).

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ НА ИЗОТОПАХ КАЛЬЦИЯ

Д. А. Юсюк*, М. В. Желтоножская, А. П. Черняев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»,
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

* denisyusyuk@gmail.com, +7(903) 574-33-15

Изучение фотоядерных реакций представляет значительный интерес для теоретической ядерной физики, позволяя на основе полученных данных исследовать структуру атомных ядер и уточнять существующие модели ядра. Практическое использование фотоядерных реакций открывает возможности не только для наработки разнообразных медицинских и промышленных радиоизотопов, но и для решения целого спектра прикладных задач.

Природный кальций представляет собой смесь из шести изотопов: ^{40}Ca , ^{42}Ca , ^{43}Ca , ^{44}Ca , ^{46}Ca и ^{48}Ca . На сегодняшний день имеющиеся данные о фотоядерных реакциях представлены преимущественно реакциями на изотопе ^{40}Ca . В работе приведены результаты исследования фотоядерных реакций на изотопах ^{43}Ca , ^{44}Ca и ^{48}Ca . Для оценки экспериментальных значений средневзвешенных по потоку тормозного излучения выходов реакций производилось облучение в течение 31 мин мишени из хлорида кальция CaCl_2 и мониторинг мишени из ^{181}Ta тормозным излучением с граничной энергией 20 МэВ на медицинском ускорителе электронов Varian Trilogy. Измерения облученных мишеней проводились на полупроводниковых спектрометрах с детекторами из сверхчистого германия. Для оценки интегрального потока тормозного излучения использовалась мониторинг реакция на тантале $^{181}\text{Ta}(\gamma, n)^{182}\text{Ta}$. В результате были получены экспериментальные значения выходов рассматриваемых реакций. Экспериментальные данные сравнивались с теоретическими расчетами в рамках статистической модели ядра с использованием программного кода TALYS 1.96. Полученные результаты обсуждаются. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-29-01013).

Таблица 1

Экспериментальные выходы изученных реакций

Реакция	Y, мбарн
$^{43}\text{Ca}(\gamma, p)^{42}\text{K}$	$1,67 \pm 0,14$
$^{44}\text{Ca}(\gamma, p)^{43}\text{K}$	$3,36 \pm 0,25$
$^{48}\text{Ca}(\gamma, n)^{47}\text{Ca}$	$13,0 \pm 0,9$

STUDY OF PHOTONUCLEAR REACTIONS ON CALCIUM ISOTOPES

D. A. Yusyuk, M. V. Zheltonozhskaya, A. P. Chernyaev

Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory 1, b. 2

* denisyusyuk@gmail.com, +7(903) 574-33-15

The study of photonuclear reactions is of interest for theoretical nuclear physics and allows to complement and create new approaches to describe the structure of atomic nuclei. The practical use of photonuclear reactions opens up opportunities not only for the production of various medical and industrial radioisotopes, but also for solving a whole range of applied problems.

Natural calcium is a mixture of six isotopes: ^{40}Ca , ^{42}Ca , ^{43}Ca , ^{44}Ca , ^{46}Ca and ^{48}Ca . To date, the available data on photonuclear reactions are mainly represented by reactions on the ^{40}Ca isotope. A small amount of data on the cross sections of photonuclear reactions on calcium isotopes makes such an experimental study promising.

The paper presents the results of a study of photonuclear reactions on the isotopes ^{43}Ca , ^{44}Ca and ^{48}Ca . To calculate the experimental values of average flux-weighted reaction yields, a calcium chloride CaCl_2 target and a ^{181}Ta monitor target were irradiated for 31 minutes with 20 MeV end-point energy bremsstrahlung at the Varian Trilogy medical electron accelerator. Irradiated targets were measured on semiconductor spectrometers with high-purity germanium detectors. We used the monitor reaction on tantalum $^{181}\text{Ta}(\gamma, n)^{182}\text{Ta}$ to estimate the integral bremsstrahlung flux. As a result, the experimental yields of the considered reactions were obtained. Experimental data were compared to theoretical calculations within the framework of the nucleus statistical model using the TALYS 1.96 program code. The results obtained are discussed. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (Project No. 22-29-01013).

Table 1

Experimental yields of studied reactions

Reaction	Y, mb
$^{43}\text{Ca}(\gamma, p)^{42}\text{K}$	$1,67 \pm 0,14$
$^{44}\text{Ca}(\gamma, p)^{43}\text{K}$	$3,36 \pm 0,25$
$^{48}\text{Ca}(\gamma, n)^{47}\text{Ca}$	$13,0 \pm 0,9$

Секция 3

***ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ,
ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ
ЧАСТИЦ, НЕЙТРИННАЯ ФИЗИКА,
АСТРОФИЗИКА***

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫХОДА НЕЙТРОНОВ, ГЕНЕРИРОВАННЫХ МЮОНАМИ В РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВАХ

Н. Ю. Агафонова¹, А. С. Мальгин^{1,†}

¹Институт ядерных исследований Российской академии наук,
Россия, Москва, 117312, проспект 60-летия Октября, 7а,
тел: 8(499)135-77-60, факс: 8(499)135-22-68.
E-mail: agafonova@inr.ru

Генерация (выход) нейтронов Y_n потоком мюонов с энергиями больше десятков ГэВ полностью характеризуется средней энергией мюонов E_μ по закону $Y_n \propto E_\mu^\alpha$ при $\alpha = \text{const}$, что базируется на линейных зависимостях от E_μ как радиационных и ядерных энергопотерь мюона, так и эффективных энергий электромагнитных и ядерных ливней – основных источников нейтронов. Энергия E_μ под землей определяется энергетическим спектром мюонов на глубине детектора H , который нормируется на измеренную полную интенсивность мюонов [1, 2]. Расчеты выхода нейтронов Y_n , для которых нужно знать спектр мюонов, состав и рельеф грунта, энергопотери мюонов, проводятся с помощью программ Geant4 [3] и FLUKA [4] с различным набором программ, результаты которых расходятся между собой.

Мы показали, что все экспериментальные результаты [5] по выходу нейтронов, генерированные мюонами в сцинтилляторе, железе, свинце и др. могут быть описаны универсальной формулой $Y_n(E_\mu, A) = b_n A^\beta E_\mu^\alpha$, где произведение $b_n E^\alpha$ с размерностью ГэВ/(г/см²) задает энергию мюона, затраченную на образование нейтронов [6], A – атомный номер вещества. Показатели α, β связаны со свойствами среды и генерацией нейтронов в ливнях. Эта формула отражает процессы генерации космогенных нейтронов.

Поскольку выход нейтронов довольно сильно зависит от E_μ ($\propto E_\mu^{0.78}$), его величина в тяжелом веществе (Fe, Pb) может служить для экспериментального определения E_μ на данной глубине с ошибками, не большими, чем при установлении E_μ расчетным путем. Приближение с постоянными параметрами $b_n = 4.4 \times 10^{-7}$ см²/Г, $\alpha = 0.78$ и $\beta = 0.95$, позволяет использовать формулу для расчета величины выхода при любых E_μ и A , характерных для подземных экспериментов.

Список литературы

1. Groom D. E. et al. // At. Data Nucl. Data Tables 2001. – V. 78 – P. 183.
2. Lipari P. and Stanev T. // Phys. Rev. D 1991. – V. 44. – P. 3543.
3. Мануковский К. В., Ряжская О. Г., Соболевский Н. М., Юдин А. В. // Яд. Физ. 2016. Т. 79, № 4. С. 417.
4. Mei D.-M., Hime A. // Phys. Rev. D 2006. – V. 73. – P. 053004.
5. Агафонова Н. Ю., Мальгин А.С. // Яд. Физ. 2013. – N. 76, № 5 – С. 650.
6. Agafonova N. Yu., Malgin A. S. // Phys. Rev. D 2013. – V. 87. – P. 113013.

ANALYTICAL FORMULA FOR CALCULATION OF THE YIELD OF NEUTRONS GENERATED BY MUONS IN VARIOUS SUBSTANCES

N. Yu. Agafonova¹, A. S. Malgin^{1,†}

¹Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Russia, prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a, Moscow 117312, tel: 8(499)135-77-60, fax: 8(499)135-22-68.
E-mail: agafonova@inr.ru

The neutron generation (yield) Y_n by a muon flux with energies greater than tens of GeV is completely characterized by the average muon energy E_μ according to the law $Y_n \propto \bar{E}_\mu^\alpha$ at $\alpha = \text{const}$, which is based on linear dependences on $\bar{E}_\mu$ of both the radiation and nuclear energy losses of the muon and the effective energies of the electromagnetic and nuclear showers are the main sources of

neutrons. The energy $\bar{E}_\mu$ underground is determined by the muon energy spectrum at the detector depth H , which is normalized to the measured total muon intensity [1, 2]. Calculations of the neutron yield Y_n , for which it is necessary to know the muon spectrum, rock composition and topography, and muon energy losses, are carried out using the Genat4 [3] and FLUKA [4] programs with a different set of programs, the results of which differ from each other.

We have shown that all experimental results [5] on the neutron yield generated by muons in a scintillator, iron, lead, etc. can be described by the universal formula $Y_n(E_\mu, A) = b_n A^\beta E_\mu^\alpha$, where the product $b_n E^\alpha$ with the dimension of $\text{GeV}/(\text{g}/\text{cm}^2)$ specifies the muon energy spent on the production of neutrons [6], A is the atomic number of the substance. The exponents α and β are related to the properties of the medium and the neutrons generation in showers. This formula reflects the processes of cosmogenic neutrons generation.

Since the neutron yield depends rather strongly on $\bar{E}_\mu (\propto E_\mu^{0.78})$, its value in heavy matter (Fe, Pb) can be used to experimentally determine $\bar{E}_\mu$ at a given depth with errors no greater than when calculating $\bar{E}_\mu$. An approximation with constant parameters $b_n = 4.4 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{g}$, $\alpha = 0.78$, and $\beta = 0.95$ allows using the formula to calculate the yield at any $\bar{E}_\mu$ and A characteristic of underground experiments.

References

1. Groom D. E. et al. // At. Data Nucl. Data Tables 2001. – V.78 – P. 183.
2. Lipari P. and Stanev T. // Phys. Rev. D 1991. – V. 44. – P. 3543.
3. Manukovsky K. V., Ryazhskaya O. G., Sobolevsky N. M., Yudin A. V. // Physics of Atomic Nuclei. 2016. – V. 79, № 4. – P. 631.
4. Mei D.-M., Hime A. // Phys. Rev. D 2006. – V.73. – P. 053004.
5. Agafonova N. Yu., Malgin A. S. // Physics of Atomic Nuclei. 2013. V. 76, № 5. P. 607.
6. Agafonova N. Yu., Malgin A. S. // Phys. Rev. D 2013. – V.87. – P.113013.

О ПРОИСХОЖДЕНИИ СИГНАЛОВ В ГРАВИТАЦИОННЫХ АНТЕННАХ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ 23 ФЕВРАЛЯ 1987

Н. Ю. Агафонова¹, А. С. Мальгин^{1,†}

¹Институт ядерных исследований Российской академии наук,
Россия, Москва, 117312, проспект 60-летия Октября, 7а,
тел: 8(499)135-77-60, факс: 8(499)135-22-68.
E-mail: agafonova@inr.ru

Во время вспышки SN1987A 23 февраля 1987 четыре подземных нейтринных детектора: LSD (Mont Blanc Liquid Scintillation Detector [1]), BUST (Baksan Underground Scintillation Telescope [2]), KND (Kamioka Nucleon Decay Experiment [3]) и IMB (Irvine-Michigan Brookhaven [4]), и две гравитационные антенны в Риме (RGA) и Мэриленде (MGA) зарегистрировали сигналы [5]. При совместном анализе данных в течение 6 часов были найдены совпадения событий, зарегистрированных всеми работавшими детекторами. При анализе событий антенны RGA в окрестности $\pm 30\text{с}$ сигнала LSD в 2h52m37s UT 23/02/1987 обнаружены события, энергия которых заметно превышала среднюю энергию возбуждения антенны [6].

Несмотря на невозможность почувствовать антеннами Вебера прямое гравитационное излучение от коллапса SN1987A, однако, до сих пор не понятно, что за события регистрировали гравитационные антенны RGA и MGA.

Мы рассчитали полное энерговыделение и количество мюонов, которые должны были пересечь гравитационную антенну за 1 секунду и проанализировали форму энергетических распределений.

Показано, что амплитудные распределения во всех сигналах антенн согласуются с распределением флуктуирующих энергопотерь атмосферных мюонов, пересекающих антенны. Исходя из нашего анализа, мы делаем заключение, что события в гравитационных антеннах RGA, MGA вызваны мюонами от распадов пионов и каонов.

Список литературы

1. M Aglietta. et al. // Europhys. Lett. 1987. – V. 3. – P. 1315.
2. Alekseev E.N. et al. // JETP Lett. 1987. – V. 45. – P. 589.
3. Hirata K. et al. // Phys. Rev. Lett. 1987. – V. 58. – P. 1490.
4. Bionta R. M. et al. // Phys. Rev. Lett. 1987. – V. 58. – P. 1494.
5. Amaldi E., Bonifazi P., Castellano M.G., Coccia E. et al. // EPL (Europhysics Letters). 1987. – V. 3, N12. – P. 1325.
6. Aglietta M., Castellina A., Fulgione W. et al. // Il Nuovo Cimento C 1991. – V. 14. – P. 171.

ON THE ORIGIN OF SIGNALS IN GRAVITY ANTENNA REGISTERED ON FEBRUARY 23, 1987

N. Yu. Agafonova¹, A. S. Malgin^{1,†}

¹Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Russia, prospekt 60-letiya
Oktyabrya 7a, Moscow 117312, tel: 8(499)135-77-60, fax: 8(499)135-22-68.
E-mail: agafonova@inr.ru

During the SN1987A burst on February 23, 1987, four underground neutrino detectors: LSD (Mont Blanc Liquid Scintillation Detector [1]), BUST (Baksan Underground Scintillation Telescope [2]), KND (Kamioka Nucleon Decay Experiment [3]) and IMB (Irvine- Michigan Brookhaven [4]), and two gravitational antennas in Rome (RGA) and Maryland (MGA) registered signals [5]. During a joint analysis of the data for 6 hours, coincidences of events recorded by all working detectors were found. When analyzing the events of the RGA antenna in the vicinity of ± 30 s of the LSD signal at 2h52m37s UT on February 23, 1987, events were detected whose energy significantly exceeded the average antenna excitation energy [6].

Despite the impossibility to feel direct gravitational radiation from the collapse of SN1987A with Weber antennas, however, it is still not clear what kind of events were recorded by the RGA and MGA gravitational antennas.

We calculated the total energy release and the number of muons that had to cross the gravitational antenna in 1 second and analyzed the shape of the energy distributions.

It is shown that the amplitude distributions in all antenna signals are consistent with the distribution of fluctuating energy losses of atmospheric muons crossing the antennas. Based on our analysis, we conclude that the events in the gravitational antennas RGA, MGA are caused by muons from the decays of pions and kaons.

References

1. M. Aglietta. et al. // Europhys. Lett. 1987. – V. 3. – P. 1315.
2. Alekseev E.N. et al. // JETP Lett. 1987. – V. 45. – P. 589.
3. Hirata K. et al. // Phys. Rev. Lett. 1987. – V. 58. – P. 1490.
4. Bionta R. M. et al. // Phys. Rev. Lett. 1987. – V. 58. – P. 1494.
5. Amaldi E., Bonifazi P., Castellano M. G., Coccia E. et al. // EPL (Europhysics Letters). 1987. – V. 3, N12. – P. 1325.
6. Aglietta M., Castellina A., Fulgione W. et al. // Il Nuovo Cimento C 1991. – V. 14. – P. 171.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ПОТОКА π^0 МЕЗОНОВ ОТ ПОПЕРЕЧНОГО ИМПУЛЬСА В СТОЛКНОВЕНИЯХ Cu+Au ПРИ ЭНЕРГИИ 200 ГэВ

Е. В. Банников, А. Я. Бердников, Я. А. Бердников, Д. О. Котов, Ю. М. Митранков,
М. М. Митранкова, Д. М. Ларионова, А. Д. Селезенев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ),
ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251, 8 (800) 707-18-99,
E-mail: bannikov.e@edu.spbstu.ru

Кварк-глюонная плазма (КГП) – состояние сильно взаимодействующей материи, состоящей из асимптотически свободных партонов. В лабораторных условиях образование КГП возможно в релятивистских столкновениях тяжелых ядер. Одним из свидетельств существования КГП в ядро-ядерных столкновениях служит азимутальная анизотропия рождения частиц, количественной характеристикой которой является эллиптический поток (v_2). Развитие эллиптического потока описывается в рамках различных моделей: при малых значениях поперечных импульсов (p_T) развитие v_2 преимущественно описывается релятивистской гидродинамикой, а при больших $p_T > 5$ ГэВ/с в описании развития v_2 начинают доминировать модели, учитывающие потери энергии партонов перед их фрагментацией. Для измерения эллиптических потоков в широком диапазоне по поперечному импульсу в качестве изучаемой частицы был выбран π^0 -мезон, так как значения v_2 для него измеримы вплоть до 14 ГэВ/с. Выбор асимметричной системы столкновений Cu+Au обусловлен наличием ранее измеренных значений v_2 для π^0 мезонов в симметричных тяжелых системах как функции от их поперечного импульса, что позволяет изучить зависимость функций $v_2(p_T)$ для π^0 мезонов от размеров и начальной геометрии сталкивающейся системы ядер.

В данном докладе представлены результаты измерения зависимости эллиптического потока для π^0 мезонов в асимметричных взаимодействиях Cu+Au от их поперечного импульса. Полученные значения v_2 , масштабированные на эксцентриситет нуклонов-участников и кубический корень их числа, не зависят от начальной геометрии системы, что находится в согласии с гидродинамической моделью развития эллиптического потока. При больших $p_T > 5$ ГэВ/с полученные значения v_2 оказались отличны от нуля, что может быть связано с энергетическими потерями партонов в КГП.

DEPENDENCE OF THE ELLIPTIC FLOW FOR π^0 MESONS ON THE TRANSVERSE MOMENTUM IN Cu+Au COLLISIONS AT 200 GeV

E. V. Bannikov¹, A. Ya. Berdnikov, Ya. A. Berdnikov, D. O. Kotov, Yu. M. Mitrانков,
M. M. Mitrانkova, D. M. Larionova, A. D. Selezenev

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU),
Polytechnicheskaya, 29, St.Petersburg, 195251, 8 (800) 707-18-99,
E-mail: bannikov.e@edu.spbstu.ru¹

Quark-gluon plasma (QGP) is a state of strongly interacting matter consisting of asymptotically free partons. Under laboratory conditions, the formation of QGP is possible in relativistic collisions of heavy nuclei. One of the evidences for the existence of QGP in nucleus-nucleus collisions is the azimuthal anisotropy of particle production, whose quantitative characteristic is the elliptic flow (v_2). The development of an elliptic flow is described in terms of various models: at low values of transverse momentum (p_T), the development of v_2 is mainly described by relativistic hydrodynamics, and at large values of $p_T > 5$ GeV/c models that take into account parton energy loss before fragmentation begin to dominate in the description of the v_2 development. To measure elliptic flow in a wide transverse momentum range, the π^0 meson was chosen as the studied particle, since the values of v_2 for it are measurable up to 14 GeV/c. The choice of the asymmetric Cu+Au collision system is due to the presence of previously measured v_2 values for π^0 mesons in symmetric heavy

systems as a function of their transverse momentum, which makes it possible to study the dependence of the functions $v_2(p_T)$ for π^0 mesons on the size and initial geometry of the collision system.

This report presents the dependence of the elliptic flow for π^0 mesons on their transverse momentum measured in asymmetric Cu+Au interactions. The obtained v_2 values, scaled with the eccentricity of the participant nucleons and the cube root of their number, do not depend on the initial geometry of the system, which agrees with the hydrodynamic model of the elliptic flow development. At large $p_T > 5 \text{ GeV}/c$, the obtained v_2 values turned out to be nonzero, which may be due to parton energy loss in QGP.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА НУКЛОНОВ –СПЕКТАТОРОВ ПО ЭНЕРГИИ, РЕГИСТРИРУЕМОЙ В КАЛОРИМЕТРЕ В А+А СТОЛКНОВЕНИЯХ

Ф. Ф. Валиев*, В. В. Вечернин, Г. А. Феофилов

Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. 7-9
*E-mail: valiev07@list.ru

В данной работе методика, апробированная в [1] и подтвержденная в экспериментальной работе [2], используется для оценки точности определения числа нуклонов-спектаторов по энергии, регистрируемой калориметром. В измерениях с калориметром в каждом событии мы имеем две скоррелированные случайные величины: M – число спектаторов, попадающих в акцептанс калориметра, и Q – соответствующая энергия на выходе калориметра. Пусть $P(M)$ – вероятность иметь M спектаторов на входе калориметра и $P(Q|M)dQ$ – вероятность иметь энергию Q в интервале dQ при условии, что число спектаторов равно M . Тогда по теореме Байеса вероятность, что данный сигнал Q на выходе калориметра был вызван попаданием в него M нуклонов-спектаторов равна: $P(M|Q) = \frac{P(M)P(Q|M)}{P(Q)}$, где $P(Q) = \sum_M P(M)P(Q|M)$. Мы рассматриваем в работе два крайних случая априорного распределения $P(M)$ числа нуклонов-спектаторов по событиям: (а) равномерное и (б) нормальное распределение с дисперсией $D[M] \gg 1$. Для оценок относительной погрешности с использованием формулы Байеса мы применяем в работе два метода: аналитический и на основе имитационного моделирования. Показано, что оба метода совпадают в оценках при числе спектаторов более 5 и что результаты в обоих случаях не зависят от априорного вида распределения числа нуклонов-спектаторов. Показано, что последнее будет справедливо для любых распределений $P(M)$, удовлетворяющих условию: $|P(M+1) - P(M)| \ll P(M)$.

Исследование проведено при финансовой поддержке Санкт-Петербургского государственного университета (ID: 94031112).

Список литературы

1. T. M. Avdeeva et al. Determination of charged particles multiplicity with microchannel plate detector. // Тезисы докладов 46 межд. совещ. по физике атомного ядра. 1996. Санкт-Петербург. 1996. С. 368.
2. Ф. Ф. Валиев и др. Физическое моделирование детектора множественности. // Тезисы докладов 51 совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. М.: Наука. 2001. С. 238

ESTIMATION OF THE ACCURACY OF DETERMINING THE NUMBER OF NUCLEON-SPECTATORS FROM THE ENERGY REGISTERED IN THE CALORIMETER IN A+A COLLISIONS

F. F. Valiev*, V. V. Vechernin, G.A. Feofilov

Saint-Petersburg State University, 7-9 Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034 Russia

*E-mail: valiev07@list.ru

In this work, the technique tested in [1] and confirmed in the experimental work [2] is used to estimate the accuracy of determining the number of spectator nucleons from the energy registered by the calorimeter. In measurements with a calorimeter, in each event we have two correlated random variables: M is the number of spectators entering the calorimeter acceptance, and Q is the corresponding energy at the output of the calorimeter. Let $P(M)$ be the probability of having M spectators at the calorimeter input and $P(Q|M)dQ$ the probability of having energy Q in the interval dQ , provided that the number of spectators is equal to M . Then, according to Bayes' theorem, the probability that the given signal Q at the output of the calorimeter was caused by M spectator nucleons hitting it is equal to: $P(M|Q) = P(M)P(Q|M)/P(Q)$, where $P(Q) = \sum_M P(M)P(Q|M)$. In this work, we consider two extreme cases of a priori distribution $P(M)$ of the number of spectator nucleons over events: (a) uniform and (b) normal distribution with dispersion $D[M] \gg 1$. To estimate the relative error by the Bayes formula, we use two methods in our work: analytical and based on simulation modeling. It is shown that both methods coincide in their estimates when the number of spectators exceeds 5 and that the results in both cases do not depend on the a priori form of the distribution of the number of spectator nucleons. It is shown that the latter will be true for any distributions $P(M)$ satisfying the condition: $|P(M+1) - P(M)| \ll P(M)$.

The study was financially supported by St. Petersburg State University (ID: 94031112).

References

1. T. M. Avdeeva at all. Determination of charged particles multiplicity with microchannel plate detector. // Abstracts of reports 46 int. meeting on physics of the atomic nucleus. 1996. Saint Petersburg, 1996. P. 368.
2. F. F. Valiev at all. Physical modeling of the multiplicity detector. // Abstracts of reports of the 51st meeting on nuclear spectroscopy and the structure of the atomic nucleus. M: Science. 2001. P. 238

ИЗМЕРЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ФРАГМЕНТОВ-СПЕКТАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ СТЕНКИ В СЕАНСЕ Xe+CsI ПРИ 3.8 AGeV ЭКСПЕРИМЕНТА BM@N

В. В. Волков¹, Ф. Ф. Губер¹, М. Б. Голубева¹,
А. И. Махнев¹, М. В. Мамаев², С. В. Морозов¹

¹Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия
E-mail: volkov@inr.ru

В данном докладе представлены результаты работы сцинтилляционной стенки BM@N в первом физическом ране на ускорителе Нуклотрон в столкновениях Xe+CsI при энергии 3.8 AGeV. Основное внимание будет уделено конструкции сцинтилляционной стенки и ее способности различать заряженные фрагменты рожденных в ядерно-ядерных столкновениях. Будет обсуждаться измеренный диапазон зарядов, чувствительность к центральности столкновений, а также корреляции между количеством сработавших ячеек в стенке и наблюдаемыми другими детекторами. Будет показано сравнение экспериментальных данных с моделированием.

CHARGED FRAGMENTS-SPECTATORS MEASUREMENTS WITH BM@N SCINTILLATION WALL IN Xe+CsI at 3.8 AGEV RUN

V. V. Volkov¹, F. F. Guber¹, M. B. Golubeva¹,
A. I. Makhnev¹, M. V. Mamaev², S. V. Morozov¹

¹Institute for Nuclear Research of RAS, Moscow, Russia

²National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

E-mail: volkov@inr.ru

This report presents the performance of the BM@N scintillation wall in the first physical run at the Nuclotron accelerator with Xe+CsI at 3.8 AGeV collisions. The focus will be on the scintillation wall's design and its ability to differentiate charged fragments from nucleus-nucleus collisions. The measured range of charges, sensitivity to collision centrality, as well as correlations observed between the number of fired cells in the wall and other detectors' observables will be discussed. A comparison of the experimental data with the simulation will be shown.

ВОЗМОЖНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВУХ-ЧАСТИЧНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ ПО ПОПЕРЕЧНОМУ ИМПУЛЬСУ В ПРОТОН-ПРОТОННЫХ И ДЕЙТРОН-ДЕЙТРОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИЯХ NICA

A. С. Галоян¹, В. В. Ужинский²

¹ Лаборатория физики высоких энергий, 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

² Лаборатория информационных технологий, 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

Мы предложили новый метод для изучения двух-частичных P_T корреляций в мягких адронных взаимодействиях. Корреляции рассчитаны для протон-протонных взаимодействий при энергии в системе центра масс 10 и 25 ГэВ и дейтрон-дейтрон взаимодействиях при энергии 6 ГэВ. P_T корреляции рассчитаны между Λ -гиперонами и анти Λ -гиперонами, K -, π -мезонами и протонами по моделям Geant4 FTF and Pythia 6.4. Показано, что P_T корреляции Λ -гиперонов с анти Λ -гиперонами и K -мезонами в модели FTF сильнее чем в модели Pythia. P_T корреляции Λ -гиперонов с π -мезонами и протонами слабые. Расчеты показывают, что P_T корреляции уменьшаются с ростом начальной энергии. Двух-частичных P_T корреляции могут быть изучены на эксперименте NICA SPD. Предложенные корреляции весьма чувствительны к механизмам рождения частиц в мягких адронных взаимодействиях в различных теоретических моделях.

POSSIBLE STUDY OF 2-PARTICLE TRANSVERSE MOMENTUM CORRELATIONS IN PROTON-PROTON AND DEUTERON-DEUTERON INTERACTIONS AT NICA ENERGIES

A. S. Galoyan¹, V. V. Uzhinsky²

¹ Laboratory of high energy physics, Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

² Laboratory of information technologies, Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

We proposed a new method for a study of 2-particle P_T correlations in the soft hadronic interactions. The correlations were calculated for proton-proton interactions at center of mass energy 10 GeV and 25 GeV, and deuteron-deuteron interactions at 6 GeV. The P_T correlations are calculated

between Λ -hyperons and anti Λ -hyperons, K-, π -mesons, and protons in the Geant4 FTF and Pythia 6.4 models. It is shown that the P_T correlations of Λ -hyperons with anti- Λ and K-mesons in the FTF model are stronger than in the Pythia model. The P_T correlations of Λ -hyperons with π -mesons and protons are weak. Calculations show that the P_T correlations decrease at initial energy growth. The 2-particle P_T correlations can be studied at NICA SPD experiment. The proposed correlations are rather sensitive to the mechanisms of particle production in the soft hadronic interactions implemented in various theoretical models.

РЕГИСТРАЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ CNO НЕЙТРИНО В ЭКСПЕРИМЕНТЕ БОРЕКСИНО

А. В. Дербин за коллаборацию Бorexино

Петербургский институт ядерной физики НИЦ Курчатовский институт

Ядерный синтез водорода в гелий в звездах происходит, помимо протон-протонной (pp-) цепи, включающей только изотопы водорода и гелия, посредством цикла углерод-азот-кислород (CNO), в котором синтез катализируется ядрами C, N и O. CNO цикл производит лишь 1 % всей солнечной энергии и является второстепенным для Солнца. Однако для более массивных и горячих звезд этот цикл является определяющим. В 2020–2022 гг. международная коллаборация Бorexино, в которой участвуют ученые российских институтов, впервые представила результаты обнаружения нейтрино, испускаемых в реакциях CNO-цикла на Солнце.

MEASUREMENT OF SOLAR CNO NEUTRINOS IN THE BOREXINO EXPERIMENT

A. Derbin for the Borexino collaboration

Petersburg Nuclear Physics Institute NRC Kurchatov Institute

The nuclear fusion of hydrogen into helium in stars occurs, in addition to the proton-proton (pp-) chain, which includes only hydrogen and helium isotopes, through the carbon-nitrogen-oxygen (CNO) cycle, in which fusion is catalyzed by C, N and O nuclei. The CNO cycle produces only 1 % of all solar energy and is secondary to the Sun. However, for more massive and hotter stars, this cycle is decisive. In 2020-2022 the Borexino collaboration, which involves scientists from Russian institutes, for the first time presented the results of detection of neutrinos emitted in the reactions of the CNO cycle on the Sun.

ОБ ОБНАРУЖЕНИИ НОВЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ДАННЫХ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

А. Т. Дьяченко^{1,2}

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Московский пр. 9, 190031, Россия, Тел. +7(812)436-90-96, Факс: +7(812)314-98-69

²Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова
НИЦ “Курчатовский институт”, Гатчина, Орлова Роща 1, 188300, Россия
e-mail: dyachenko_a@mail.ru

В работах [1,2] нами показано проявление новых частиц X17 и X38 с массами 17 МэВ и 38 МэВ из спектров мягких фотонов в столкновениях протонов и ядер при высоких энергиях. Эти новые частицы можно считать частицами темной материи. В настоящей работе предлагается проверить проявление этих новых частиц в спектрах Космических лучей

сверхвысоких энергий порядка 10^{19} эВ. Действительно, в работе [3] полученные всплески в спектре космических лучей в области энергии 10^{11} ГэВ интерпретируются, как проявление темного фотона. Этот темный фотон имеет массу отличную от нуля, но очень малую порядка 10^{-19} эВ. Нами предлагается интерпретация этих всплесков, как вклада от распада новых частиц X17 и X38 в рамках нашего подхода [1, 2]. Для того чтобы определить температуру, мы используем аппроксимацию спектра космического излучения до всплеска, которая известна и пропорциональна примерно E^{-3} , E – энергия. Мы сопоставили экспериментальные точки из работы [3] для сверхлегкого темного фотона. Наше описание согласуется с этими экспериментальными данными и оказывается даже лучше, чем в работе [3]. Ширина пика слабо зависит от массы наших X бозонов. Таким образом, мы убеждаемся, что получено еще одно подтверждение в существовании бозонов X17 и X38 с массами 17 и 38 МэВ в свете экспериментальных данных из космических лучей для сверхвысоких энергий, не достижимых на современных ускорителях.

Список литературы

1. D'yachenko A. T. Spectra of secondary particles in high-energy proton-proton collisions in the thermodynamic model and the possibility of detection of particles of dark matter // Phys. Atom. Nucl. 2020. V. 83. N. 11. P. 1597-1601.
2. D'yachenko A. T. Detection of new particles – possible candidates for the role of dark matter particles in collisions of protons and nuclei from spectra of soft photons // Phys. Atom. Nucl. 2022. V. 85. N. 6. P. 1028-1033.
3. Tantirangsri P., Samart D., Pongkitivanichkul C. Dark photon bremsstrahlung and ultra-high –energy cosmic ray. ArXiv 2301.11122 [hep-ph].

ON DETECTION OF NEW PARTICLES FROM COSMIC RAY DATA

A. T. D'yachenko^{1,2}

¹ Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Moskovsky pr. 9, 190031, Russia, Tel. +7(812)436-90-96, Fax: +7(812)314-98-69

² B.P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Physics National Research Center “Kurchatov Institute”, Gatchina, Orlova Roshcha 1, 188300, Russia
e-mail: dyachenko_a@mail.ru

In [1,2], we have shown the manifestation of new X17 and X38 particles with masses of 17 MeV and 38 MeV from the spectra of soft photons in collisions of protons and nuclei at high energies. These new particles can be considered dark matter particles. In this paper, we propose to check the manifestation of these new particles in the spectra of cosmic rays with ultrahigh energies of the order of 10^{19} eV. Indeed, in [3] the obtained bursts in the spectrum of cosmic rays in the energy region of 10^{11} GeV are interpreted as a manifestation of a dark photon. This dark photon has a mass different from zero, but very small, about 10^{-19} eV. We propose an interpretation of these bursts as a contribution from the decay of new X17 and X38 particles in the framework of our approach [1, 2]. In order to determine the temperature, we use an approximation of the cosmic radiation spectrum before the burst, which is known and proportional to about E^{-3} , E is the energy. We compared the experimental points from [3] for an ultralight dark photon. Our description agrees with these experimental data and turns out to be even better than in [3]. The width of the peak depends only slightly on the mass of our X bosons. Thus, we are convinced that one more confirmation of the existence of X17 and X38 bosons with masses of 17 and 38 MeV has been obtained in the light of experimental data from cosmic rays for ultrahigh energies that are not achievable with modern accelerators.

References

1. D'yachenko A. T. Spectra of secondary particles in high-energy proton-proton collisions in the thermodynamic model and the possibility of detection of particles of dark matter // Phys. Atom. Nucl. 2020. V. 83. N. 11. P. 1597–1601.
2. D'yachenko A. T. Detection of new particles – possible candidates for the role of dark matter particles in collisions of protons and nuclei from spectra of soft photons // Phys. Atom. Nucl. 2022. V. 85. N. 6. P. 1028-1033.
3. Tantirangsri P., Samart D., Pongkitivanichkul C. Dark photon bremsstrahlung and ultra-high –energy cosmic ray. ArXiv 2301.11122 [hep-ph].

ОПИСАНИЕ ЭМИССИИ КУМУЛЯТИВНЫХ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ В СТОЛКНОВЕНИЯХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЙ НА ОСНОВЕ НЕРАВНОВЕСНОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДХОДА

А. Т. Дьяченко^{1,2}

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Санкт-Петербург, Московский пр. 9, 190031, Россия,
Тел. +7(812)436-90-96, Факс: +7(812)314-98-69

²Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова
НИЦ “Курчатовский институт”, Гатчина, Орлова Роща 1, 188300, Россия
e-mail: dyachenko_a@mail.ru

В развитие неравновесного гидродинамического подхода [1, 2] нам удалось полностью описать спектры кумулятивных протонов, пионов и фотонов для столкновения ядер углерода с бериллиевой мишенью в области энергий 0.3–3.2 ГэВ на нуклон, полученные в экспериментах ИТЭФ (Москва). При описании этих спектров была учтена поправка на микроканоническое распределение [1, 2], а также для выходов протонов учтен вклад процесса фрагментации [2]. Наше описание экспериментальных данных оказывается лучше каскадных моделей и модели квантовой молекулярной динамики (QMD), встроенной в пакет GEANT4. В настоящей работе нам удалось успешно описать двойные дифференциальные сечения образования кумулятивных протонов, пионов, каонов и антипротонов, испускаемых под углом 0^0 для столкновения ядер углерода в реакции $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ при энергии 19.6 ГэВ на нуклон на фиксированной мишени, полученные на ускорителе У-70 ИФВЭ (Серпухов) [3]. Приводится сравнение с другими теоретическими подходами. Наш подход применим к столкновениям как легких, так и тяжелых ядер, что видно из сравнения с экспериментальными данными и другими теоретическими подходами. Это может быть распространено на область энергий стоящего в ОИЯИ (Дубна) ускорительного комплекса NICA.

Список литературы

1. D'yachenko A. T., Mitropolsky I. A. Emission of high-energy protons and photons in heavy-ion collisions treated on the basis of a hydrodynamic approach with a nonequilibrium equation of state // Phys. Atom. Nucl. 2020. V. 83. N. 4. P. 558–566.
2. D'yachenko A. T., Mitropolsky I. A. Nonequilibrium hydrodynamic approach to describing the emission of high-energy secondary particles in intermediate –energy heavy –ion collisions // Phys. Atom. Nucl. 2022. V. 85. N. 6. P. 1053–1062.
3. Afonin A. G., Bogolubsky M. Yu., Volkov A. A. et al. Measurement of cross sections for inclusive forward charged hadron production in carbon-carbon collisions at beam energy of 19.6 GeV per nucleon // Phys. Atom. Nucl. 2020. V. 83. N. 2. P. 228–236.

DESCRIPTION OF THE EMISSION OF CUMULATIVE SECONDARY PARTICLES IN COLLISIONS OF HEAVY IONS OF INTERMEDIATE ENERGIES BASED ON THE NON-EQUILIBRIUM HYDRODYNAMIC APPROACH

A.T. D'yachenko^{1,2}

¹Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Moskovsky pr. 9,
190031, Russia, Tel. +7(812)436-90-96, Fax: +7(812)314-98-69

²B. P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics National Research Center
“Kurchatov Institute”, Gatchina, Orlova Roshcha 1, 188300, Russia
e-mail: dyachenko_a@mail.ru

In the development of the nonequilibrium hydrodynamic approach [1, 2], we managed to completely describe the spectra of cumulative protons, pions and photons for the collision of carbon nuclei with a beryllium target in the energy range of 0.3-3.2 GeV per nucleon, obtained in the ITEP (Moscow) experiments. When describing these spectra, the correction for the microcanonical distribution [1, 2] was taken into account, and the contribution of the fragmentation process was also taken into account for the proton yields [2]. Our description of the experimental data is better than the cascade models and the quantum molecular dynamics (QMD) model built into the GEANT4 package. In the present work, we have successfully described the double differential cross sections for the production of cumulative protons, pions, kaons, and antiprotons emitted at an angle of 0° for the collision of carbon nuclei in the $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ reaction at an energy of 19.6 GeV per nucleon on a fixed target, obtained at the U-70 accelerator at IHEP (Serpuхов) [3]. A comparison with other theoretical approaches is given. Our approach is applicable to collisions of both light and heavy nuclei, which can be seen from a comparison with experimental data and other theoretical approaches based on solving the Boltzmann equation, the quantum molecular dynamics model, and etc. This can be extended to the energy range of the accusatory complex NICA located at JINR (Dubna).

References

1. D'yachenko A. T., Mitropolsky I. A. Emission of high-energy protons and photons in heavy-ion collisions treated on the basis of a hydrodynamic approach with a nonequilibrium equation of state // Phys. Atom. Nucl. 2020. V. 83. N. 4. P. 558–566.

2. D'yachenko A. T., Mitropolsky I. A. Nonequilibrium hydrodynamic approach to describing the emission of high-energy secondary particles in intermediate –energy heavy –ion collisions // Phys. Atom. Nucl. 2022. V. 85. N. 6. P. 1053–1062.

3. Afonin A. G., Bogolubsky M. Yu., Volkov A. A. et al. Measurement of cross sections for inclusive forward charged hadron production in carbon-carbon collisions at beam energy of 19.6 GeV per nucleon // Phys. Atom. Nucl. 2020. V. 83. N. 2. P. 228–236.

УРАВНЕНИЕ КЛЕЙНА-ГОРДОНА, УРАВНЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ГИДРОДИНАМИКИ И КВАНТОВЫЕ УДАРНЫЕ ВОЛНЫ ПРИ ОПИСАНИИ СТОЛКНОВЕНИЙ АТОМНЫХ ЯДЕР

А. Т. Дьяченко^{1,2}

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Санкт-Петербург, Московский пр. 9, 190031, Россия, Тел. +7(812)436-90-96, Факс: +7(812)314-98-69

²Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова НИЦ “Курчатовский
институт”, Гатчина, Орлова Роща 1, 188300, Россия
e-mail: dyachenko_a@mail.ru

Получены уравнения квантовой релятивистской гидродинамики из уравнения Клейна-Гордона, которые в нерелятивистском квазиклассическом пределе сводятся к традиционным уравнениям гидродинамики идеальной жидкости [1]. Найдено аналитическое решение

уравнений гидродинамики в приближении солитонов и квантовых ударных волн для столкновения ядерных слоев в одномерном и двумерном случаях. Отмечается важность учета неравновесных процессов. Рассмотрение стадии сжатия, стадии расширения и стадии разлета в рамках единой формулы для слоев с релятивистскими энергиями является продолжением исследования, проведенного для нерелятивистской гидродинамики [2]. Такое сведение решений уравнений гидродинамики к решениям в виде квантовых ударных волн ранее не рассматривалось. Обобщение на двумерный случай приводит к представлению об образовании на стадии сжатия горячего пятна *hot spot*, а на стадии расширения разреженной области-пузыря. А сам подход может быть использован и в других областях физики при расчетах нелинейной динамики колебаний сложных систем.

Список литературы

1. Дьяченко А. Т. Уравнения квантовой релятивистской гидродинамики и солитонные решения при описании столкновений атомных ядер // ЯФ 2023. Т. 86. № 3. С. 428–435.
2. Дьяченко А. Т., Митропольский И. А. Описание столкновений атомных ядер в неравновесном гидродинамическом подходе как столкновений солитонов Кортевега – де Фриза // Изв. РАН Сер.Физ. 2022. Т. 86. № 8. С. 1162–1165.

KLEIN-GORDON EQUATION, EQUATIONS OF RELATIVISTIC HYDRODYNAMICS AND QUANTUM SHOCK WAVES IN THE DESCRIPTION OF COLLISIONS OF ATOMIC NUCLEI

A. T. D'yachenko^{1,2}

¹ Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Moskovsky pr. 9, 190031, Russia, Tel. +7(812)436-90-96, Fax: +7(812)314-98-69

² B. P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Physics National Research Center “Kurchatov Institute”, Gatchina, Orlova Roshcha 1, 188300, Russia
e-mail: dyachenko_a@mail.ru;

The equations of quantum relativistic hydrodynamics are obtained from the Klein-Gordon equation, which in the nonrelativistic semiclassical limit are reduced to the traditional equations of hydrodynamics of an ideal fluid [1]. An analytical solution of the equations of hydrodynamics in the approximation of solitons and quantum shock waves is found for the collision of nuclear layers in the one-dimensional and two-dimensional cases. The importance of taking into account nonequilibrium processes is noted. The consideration of the compression stage, the expansion stage, and the expansion stage within the framework of a single formula for layers with relativistic energies is a continuation of the study carried out for nonrelativistic hydrodynamics [2]. Such a reduction of solutions of hydrodynamic equations to solutions in the form of quantum shock waves has not been considered before. The generalization to the two-dimensional case leads to the concept of the formation of a hot spot at the compression stage and a rarefied bubble region at the expansion stage. And the approach itself can be used in other areas of physics when calculating the nonlinear dynamics of oscillations of complex systems.

References

1. D'yachenko A. T. Quantum relativistic hydrodynamics equations and soliton solutions in describing collisions of atomic nuclei // Yad. Fiz. 2023. V. 86. N. 3. P. 428–435.
2. D'yachenko A. T., Mitropolsky I. A. Using the nonequilibrium hydrodynamic approach in describe collisions between atomic nuclei as collisions between Korteweg – de Vries solitons // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2022. V. 86. N. 8. P. 1162–1165.

МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИЙ ПОПЕРЕЧНОГО ИМПУЛЬСА И МНОЖЕСТВЕННОСТИ В ДИАПАЗОНЕ NICA И SPS В ЯДРО-ЯДЕРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ

А. П. Звягина¹, Е. В. Андронов¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9, 199034

Исследование корреляции между множественностью заряженных частиц и средним поперечным импульсом проводились в протон-протонных и ядро-ядерных столкновениях от энергии SPS до энергий LHC [1]. Расширение экспериментальных данных от отрицательных корреляций при энергиях $\sqrt{s} = 17\text{--}40$ ГэВ в область более низких энергий может дать значительные ограничения для различных теоретических моделей. Ранее в моделях SMASH, EPOS, UrQMD и PHSD для протон-протонных столкновений были получены нетривиальные зависимости сильно интенсивных переменных от энергии столкновения, а именно для $\Delta[\text{pt}, N]$ [2] и $\langle N \rangle D[\text{pt}, N]$ [3]. Также в анализ было включено исследование кумулянтов второго и третьего порядка для поперечного импульса. Их зависимости от энергии отклоняются от модели независимых источников, что подтверждается экспериментальными данными, полученными в результате столкновения Au+Au при энергии 200 МэВ [4]. В модели SMASH для протон-протонных столкновений, как для сильно интенсивных переменных, так и для кумулянтов, возникает определенная «волна», которая может стать доказательством перехода от резонанса к струнам. В данной работе будут исследованы зависимости сильно интенсивных переменных и кумулянтов от энергии ядро-ядерных в столкновениях, а именно Bi+Bi. Будут предложены два метода исследования для сильно интенсивных переменных и кумулянтов: прямой метод исследования корреляций и метод подсобытий. Прямой метод исследования уже проводился раньше: в данном методе исследование ведётся по всему интервалу псевдобыстроты. В методе подсобытий предполагается провести анализ сильно интенсивных переменных и кумулянтов второго и третьего порядка в двух различных промежутках по псевдобыстроте, а также их зависимость при изменении расстояния между этими двумя интервалами, что позволит нам оценить вклад ближних корреляций. Будет представлено сравнение этих двух методов.

Список литературы

1. N. Armesto, D. A. Derkach, G. A. Feofilov, p(t)-multiplicity correlations in a multi-Pomeron-exchange model with string collective effects // Phys. Atom. Nucl. 2008. V. 71 P. 2087
2. M. I. Gorenstein, M. Gaździcki, Strongly intensive quantities // Phys. Rev. C, 2011, V. 84, P. 014904
3. X.-N. Wang, M. Gyulassy, HIJING: A Monte Carlo model for multiple jet production in pp pA and collisions // Phys. Rev. D., 1992, V. 44. P. 3501
4. M. Cody, S. Gavin et. al., Complementary Two-Particle Correlation Observables for Relativistic Nuclear Collisions // Phys. Rev. C, 2023, V. 107, P. 014909
5. J. Weil, V. Steinberg et. al., Particle production and equilibrium properties within a new hadron transport approach for heavy-ion collisions // Phys. Rev. C, 2016, V. 94, P. 054905
6. T. Pierog, I. Karpenko et. al. EPOS LHC: Test of collective hadronization with data measured at the CERN large hadron collider // Phys. Rev. C, 2015. V. 92. P.034906
7. M. Bleicher, E. Zabrodin et. al., Relativistic hadron-hadron collisions in the ultra-relativistic quantum molecular dynamics model // Jour. of Phys. G, 1999, V. 25, P. 1859.

MODEL ANALYSIS OF THE TRANSVERSE MOMENTUM AND MULTIPLICITY CORRELATIONS IN THE NICA AND SPS RANGE IN NUCLEUS-NUCLEAR COLLISIONS

A. P. Zviagina¹, E. V. Andronov¹

¹Saint-Petersburg State University,
Saint-Petersburg, Universitetskaya embankment, 7–9, 199034

The study of the correlation between the multiplicity of charged particles and the average transverse momentum was carried out in proton-proton and nucleus-nucleus collisions from the SPS energy to the LHC energy [1]. Extending the experimental data from negative correlations at energies $\sqrt{s} = 17\text{--}40$ GeV to lower energies can lead to significant limitations for various theoretical models. Previously, in the SMASH, EPOS, UrQMD, and PHSD models for proton-proton collisions, nontrivial dependences of strongly intense variables on the collision energy were obtained, namely, for $\Delta[\text{pt}, N]$ [2] and $\langle N \rangle_D[\text{pt}, N]$ [3]. The analysis also included the study of second and third order cumulants for the transverse momentum. Their energy dependences deviate from the model of independent sources, which is confirmed by experimental data obtained as a result of an Au+Au collision at an energy of 200 MeV [4]. In the SMASH model for proton-proton collisions, both for strongly intense variables and for cumulants, a certain “wave” appears, which can be evidence of a transition from resonance to strings. In this paper, we will study the dependences of strongly intense variables and cumulants on the energy of nucleus-nucleus in collisions, namely Bi+Bi. Two research methods for highly intense variables and cumulants will be proposed: a direct method for studying correlations and a sub-event method. The direct method of research has already been carried out earlier: in this method, research is carried out over the entire interval of pseudorapidity. In the subevent method, it is supposed to analyze strongly intense variables and cumulants of the second and third order in two different intervals in terms of pseudorapidity, as well as their dependence with a change in the distance between these two intervals, which will allow us to estimate the contribution of short-range correlations. A comparison of these two methods will be presented.

References

1. N. Armesto, D. A. Derkach, G. A. Feofilov, $p(t)$ -multiplicity correlations in a multi-Pomeron-exchange model with string collective effects // *Phys. Atom. Nucl.* 2008. V. 71 P. 2087
2. M. I. Gorenstein, M. Gaździcki, Strongly intensive quantities // *Phys. Rev. C*, 2011, V. 84, P. 014904
3. X.-N. Wang, M. Gyulassy, HIJING: A Monte Carlo model for multiple jet production in pp pA and collisions // *Phys. Rev. D.*, 1992, V. 44. P. 3501
4. M. Cody, S. Gavin et. al., Complementary Two-Particle Correlation Observables for Relativistic Nuclear Collisions // *Phys. Rev. C*, 2023, V. 107, P. 014909
5. J. Weil, V. Steinberg et. al., Particle production and equilibrium properties within a new hadron transport approach for heavy-ion collisions // *Phys. Rev. C*, 2016, V. 94, P. 054905
6. T. Pierog, I. Karpenko et. al. , EPOS LHC: Test of collective hadronization with data measured at the CERN large hadron collider // *Phys. Rev. C*, 2015. V. 92 P. 034906
7. M. Bleicher, E. Zabrodin et. al., Relativistic hadron-hadron collisions in the ultra-relativistic quantum molecular dynamics model // *Jour. of Phys. G*, 1999, V. 25, P. 1859.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТОТИПА ВЫСОКОГРАНУЛИРОВАННОГО НЕЙТРОННОГО ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО ДЕТЕКТОРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА BM@N

А. А. Зубанков

Институт ядерных исследований РАН
Россия, 117312, Москва, проспект 60-летия Октября 7а, 8(499)135-77-60,
факс: 8(499)135-22-68, inr@inr.ru
e-mail: zubankov@inr.ru

Высокогранулированный нейтронный времяпролетный детектор будет использоваться в эксперименте BM@N для измерения нейтронов при ядерных столкновениях. Впервые его прототип был использован в сеансе Xe+CsI при энергии 3,8 АГэВ. Многослойная структура (поглотитель/сцинтиллятор) детектора позволяет идентифицировать и измерять энергии нейтронов, образующихся в ядерно-ядерных столкновениях. Представлена конструкция прототипа, результаты определения временного разрешения, восстановленного энергетического спектра нейтронов и оценка гамма-фона. Кроме того, будет обсуждаться разработка онлайн-мониторинга прототипа нейтронного детектора.

PERFORMANCE OF HIGH GRANULAR NEUTRON TIME-OF-FLIGHT DETECTOR PROTOTYPE FOR THE BM@N EXPERIMENT

A. Zubankov

Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences
Russia, 117312, Moscow, 60-letiya Oktyabrya prospekt 7a, 8(499)135-77-60,
fax: 8(499)135-22-68, inr@inr.ru
e-mail: zubankov@inr.ru

The High Granular Neutron Time-of-Flight Detector at the BM@N experiment will be used for neutron measurements in nucleus-nucleus collisions. For the first time, its prototype was used in Xe+CsI at 3.8 AGeV run. The multilayer structure (absorber/scintillator) of the detector makes it possible to identify and measure the energies of neutrons produced in nucleus-nucleus collisions. The design of the prototype together with the results of the time resolution, the reconstructed neutron energy spectrum, an estimated gamma background are presented. Additionally, the development of the online monitoring of the neutron detector prototype will be discussed.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОСТИ, ОСНОВАННЫХ НА ТЕОРЕМЕ БАЙЕСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОЖЕСТВЕННОСТИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И ЭНЕРГИИ НУКЛОНОВ СПЕКТРАТОРОВ

Д. М. Идрисов

Национальный исследовательский ядерный университет
МИФИ (Московский инженерный институт), Москва, Россия;
E-mail: idrisov.dim@mail.ru

Определение центральности является важной задачей так как позволяет оценить размеры сталкиваемой системы. С помощью центральности так же можно сравнить результаты предстоящих измерений на многоцелевом детекторе (MPD) на NICA с данными из других экспериментов и расчетами теоретических моделей. В данной работе рассматривается метод реконструкции прицельного параметра, основанный на обратной теореме Байеса [1, 2]. В качестве наблюдаемой величины для определения центральности были использованы множественность заряженных частиц и энергия спектров в передней области быстрой.

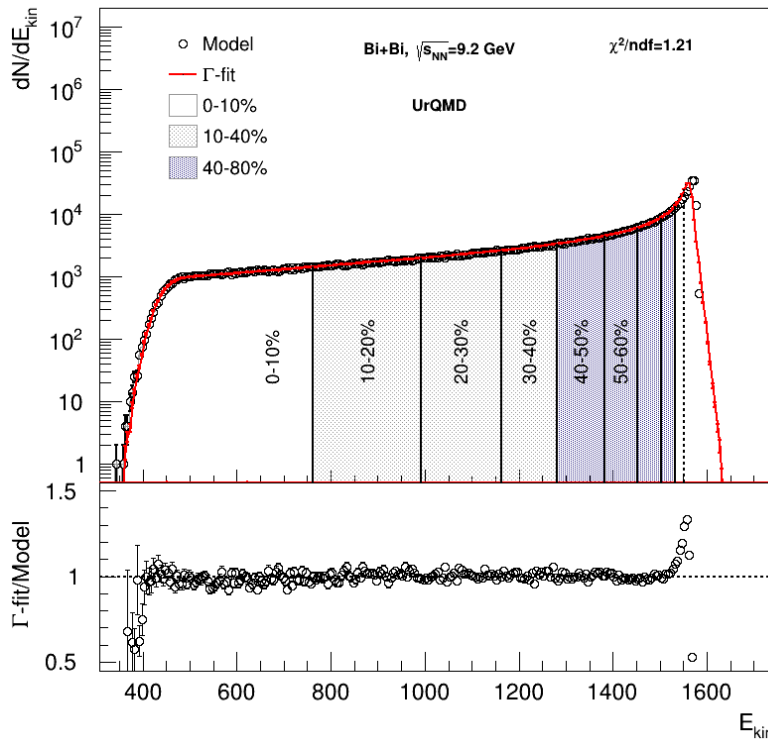


Рис. Распределение полной кинетической энергии нуклонов спектаторов в модели UrQMD (светлые круги) для Bi+Bi столкновений $\sqrt{s_{NN}} = 9.2$ GeV в сравнении с фитированным распределением с использованием метода Γ -фита.

Список литературы

1. R. Rogly, G. Giacalone, J.-Y. Ollitrault, Reconstructing the impact parameter of proton-nucleus and nucleus-nucleus collisions, Phys. Rev. C. 98 (2018) 024902.
2. P. Parfenov, D. Idrisov, V.B. Luong, A. Taranenko, Relating Charged Particle Multiplicity to Impact Parameter in Heavy-Ion Collisions at NICA Energies, PARTICLES. 4 (2021) 275–287.

COMPARISON CENTRALITY DETERMINATION METHOD BASED ON BAYESIAN APPROACH USING MULTIPLICITY OF CHARGED PARTICLES AND ENERGY OF SPECTATORS

D. M. Idrisov¹

¹National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia;
E-mail: idrisov.dim@mail.ru

Centrality determination is an important task because it allows estimating the collision system size in relativistic heavy-ion collisions. With the help of centrality, it is also possible to compare the results of upcoming measurements with the Multi-Purpose Detector (MPD) at NICA with data from other experiments and calculations of theoretical models. In this paper, we consider the impact parameter reconstruction method based on the inverse Bayes theorem [1, 2]. The multiplicity of charged particles and the energy of spectators in the forward rapidity region were used as an observable for centrality determination procedure.

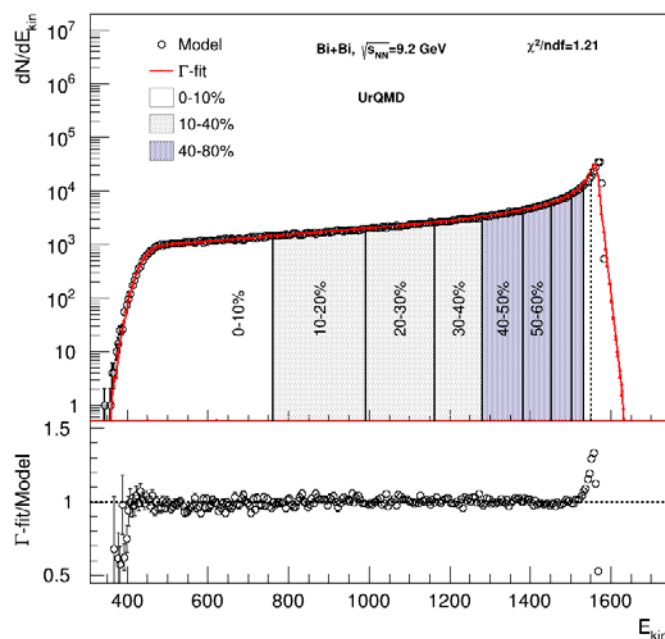


Fig. The distribution of the total energy of spectators from the UrQMD model (open circles) for Bi+Bi collisions $\sqrt{s_{NN}}=9.2$ GeV compared to the fitted distribution using Γ -fit method

References

1. R. Rogly, G. Giacalone, J.-Y. Ollitrault, Reconstructing the impact parameter of proton-nucleus and nucleus-nucleus collisions, Phys. Rev. C. 98 (2018) 024902.
2. P. Parfenov, D. Idrisov, V.B. Luong, A. Taranenko, Relating Charged Particle Multiplicity to Impact Parameter in Heavy-Ion Collisions at NICA Energies, PARTICLES. 4 (2021) 275–287.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕДНИХ ДЕТЕКТОРОВ СПЕКТАТОРОВ ЭКСПЕРИМЕНТА БАРИОННАЯ МАТЕРИЯ НА НУКЛОТРОНЕ

**А. В. Известный, Ф. Ф. Губер, М. Б. Голубева, С. В. Морозов,
Н. М. Карпушкин, А. А. Зубанков**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований
Российской академии наук, 117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а,
тел.: +7(495)850-42-56, факс: +7(495)850-42-28
email: aizvestn@inr.ru

Эксперимент на ионном пучке с неподвижной мишенью BM@N (Барионная Материя на Нуклотроне), расположенный на ускорительном комплексе НИКА-Нуклотрон (ОИЯИ, Дубна, Россия) предназначен для изучения свойств плотной ядерной материи. С 2019 по 2021 год к установке BM@N были добавлены Передний Адронный Калориметр (FHCAL), Сцинтилляционная Стенка (ScWall) и Передний Кварцевый Годоскоп (FQN). Эти детекторы были разработаны в ИЯИ РАН (Москва, Россия) для измерения центральности столкновений, восстановления плоскости событий и исследования моделей фрагментации ядер в ядро-ядерных столкновениях. Отклик детекторов был протестирован во время эксперимента Краткодействующие Корреляции (SRC) на установке BM@N в 2022 году. Передние детекторы работали во время первого физического сеанса BM@N в 2022 и 2023 году с пучком ионов ксенона с энергиями 3.0 и 3.8 ГэВ/нуклон и мишенью из йодида цезия.

В докладе будут обсуждаться рабочие характеристики передних детекторов установки BM@N.

PERFORMANCE OF THE BARYONIC MATTER AT NUCLOTRON FORWARD SPECTATORS DETECTORS

A. Izvestnyy, F. Guber, M. Golubeva, S. Morozov, N. Karpushkin, A. Zubankov

Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a, Moscow 117312, tel.: +7(495)850-42-56, fax: +7(495)850-42-28, email: aizvestn@inr.ru

The BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) is a fixed target ion beam experiment located at the NICA-Nuclotron (JINR, Dubna, Russia) accelerator complex designed to study the properties of the dense nuclear matter. In years 2019 to 2021 the Forward Hadron Calorimeter (FHCAL), the Scintillation Wall (ScWall) and the Forward Quartz Hodoscope (FQH) were added to the BM@N setup. These forward detectors were designed at INR RAS (Moscow, Russia) for collision centrality measurement, event plane reconstruction and study of nuclear fragmentation models in nucleus-nucleus collisions. Response of the detectors was tested during the Short Range Correlations (SRC) experiment on the BM@N setup in 2022. The forward detectors were operational during the first BM@N physics run in 2022-2023 with 3.0 and 3.8 AGeV Xe beam and CsI target.

The performance of the BM@N forward detectors will be discussed.

НОВЫЕ СПЕКТРЫ АНТИНЕЙТРИНО УРАНА И ПЛУТОНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТА DOUBLE CHOOZ

А. П. Власенко^{1,2}, С. В. Ингерман¹, В. В. Синев^{1,2}

¹Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

²Национальный исследовательский ядерный университет, Москва, Россия

E-mail: vsinev@inr.ac.ru

Разработана методика перевода экспериментального спектра позитронов в спектр антинейтрино, которая была применена к высокостатистическому спектру позитронов реакции обратного бета-распада [1] из эксперимента Double Chooz на ближнем детекторе, а также выделение спектров антинейтрино отдельных изотопов ядерного топлива реакторного спектра.

Экспериментальный спектр позитронов Double Chooz был преобразован в спектр антинейтрино, используя функцию преобразования спектров, полученную при помощи расчетов Монте-Карло. Полученный экспериментальный спектр антинейтрино отвечает определенному составу топлива в активной зоне ядерного реактора ($^{235}\text{U} - 0.52$, $^{238}\text{U} - 0.087$, $^{239}\text{Pu} - 0.333$, $^{241}\text{Pu} - 0.06$). Затем из реакторного спектра были выделены спектры антинейтрино отдельных изотопов ядерного топлива [2]. Спектры компонентов ядерного топлива можно считать полученными экспериментально. Экспериментальные спектры антинейтрино отдельных изотопов ядерного топлива (урана, плутония) были описаны расчетными [3], полученными методом суммирования спектров отдельных осколков. При расчете использовалась силовая функция для описания распределения вероятностей бета-переходов неизвестных осколков.

Рассчитанные сечения по расчетным спектрам с использованием сечения для моноэнергетического антинейтрино [4], сложенные с весами изотопов в активной зоне ядерного реактора, совпадают с сечением полученным в коллаборации Double Chooz [5] в пределах экспериментальной ошибки.

Список литературы

1. C. L. Cowan Jr., F. Reines, F. B. Harrison, H. W. Kruse, A. D. McGuire, Science 124, 103 (1956).
2. В. В. Синев Ядерная физика, 76, № 5, 578 (2013); V. V. Sinev, Phys. At. Nuc. 76, 537 (2013).

3. А. П. Власенко, П. Ю. Наумов, С. В. Силаева, В. В. Синев. Ядерная физика, 86, № 1, 30 (2023); P. Naumov, S. Silaeva, V. Sinev, A. Vlasenko Physics of Atomic Nuclei, 86 № 6, 402 (2022); arXiv:2210.00836 [nucl-ex].
4. Alessandro Strumia and Francesco Vissani, Phys. Lett. B 564, 42 (2003).
5. H. de Kerret, T. Abrahao, H. Almazan et al., Nature Physics 16, 558 (2020).

NEW ANTINEUTRINO SPECTRA OF URANIUM AND PLUTONIUM OBTAINED FROM THE DOUBLE CHOOZ EXPERIMENT

S. V. Ingerman¹, V. V. Sinev^{1,2}, A. P. Vlasenko^{1,2}

¹Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

E-mail: vsinev@inr.ac.ru

Method of converting the experimental positron spectrum from inverse beta-decay reaction into the antineutrino one has been developed. It was applied to the highly statistical positron spectrum obtained in the Double Chooz experiment [1] by near detector. Found nuclear reactor antineutrino spectrum was separated on individual fuel isotope antineutrino spectra.

Positron spectrum transformation was done using the spectra conversion function obtained from Monte Carlo simulation of Double Chooz data. Obtained antineutrino spectrum corresponds to a certain fuel composition of a nuclear reactor core in parts of fission ($^{235}\text{U} - 0.52$, $^{238}\text{U} - 0.087$, $^{239}\text{Pu} - 0.333$, $^{241}\text{Pu} - 0.06$). Using this composition, the individual isotope antineutrino spectra of nuclear fuel were isolated from the reactor spectrum [2]. These nuclear fuel components spectra can be considered to be obtained experimentally. Nuclear fuel individual isotope antineutrino spectra (uranium and plutonium) were fitted by calculated ones [3] obtained by summation of multiple fragment spectra. In the calculation, a strength function was used to describe the probability distribution of beta transitions for unknown fragments.

The cross sections found on base of the calculated spectra using monoenergetic antineutrino cross-section [4] summed with weights of the core composition give the predicted cross section which coincides with the one obtained in the Double Chooz collaboration [5] within experimental uncertainty.

References

1. C. L. Cowan Jr., F. Reines, F. B. Harrison, H. W. Kruse, A. D. McGuire, Science 124, 103 (1956).
2. В. В. Синев. Ядерная физика, 76, № 5, 578 (2013); V. V. Sinev, Phys. At. Nuc. 76, 537 (2013).
3. А. П. Власенко, П. Ю. Наумов, С. В. Силаева, В. В. Синев. Ядерная физика, 86, № 1, 30 (2023); P. Naumov, S. Silaeva, V. Sinev, A. Vlasenko Physics of Atomic Nuclei, 86 № 6, 402 (2022); arXiv:2210.00836 [nucl-ex].
4. Alessandro Strumia and Francesco Vissani, Phys. Lett. B 564, 42 (2003).
5. H. de Kerret, T. Abrahao, H. Almazan et al., Nature Physics 16, 558 (2020).

РАЗРАБОТКА МЕТОДА TOT ДЛЯ ВЫСОКО-ГРАНУЛИРОВАННОГО ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ BM@N

**Н. М. Карпушкин, Ф. Ф. Губер, Д. Д. Ляпин, А. И. Махнев,
С. В. Морозов, Д. В. Серебряков**

Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия
karpushkin@inr.ru

Высоко-гранулированный детектор нейтронов (High-Granular Neutron detector – HGN) для тяжелоионного эксперимента BM@N в настоящее время находится в стадии разработки. Детектор составлен из слоев поглотителя и сцинтиллятора, при этом слои сцинтиллятора имеют высокую сегментацию и считываются кремниевыми фотоумножителями. В данной работе описывается использование метода TOT для многоканального считывания сцинтилляционных ячеек. Представлено временное и амплитудное разрешение детектора с использованием различных пластиковых сцинтилляторов и кремниевых фотоумножителей.

TOT METHOD DEVELOPMENT FOR THE BM@N HIGH-GRANULAR NEUTRON DETECTOR

**N. M. Karpushkin, F. F. Guber, D. D. Liapin, A. I. Maknev,
S. V. Morozov, D. V. Serebryakov**

Institute for Nuclear Research of RAS, Moscow, Russia
karpushkin@inr.ru

The High-Granular Neutron detector for BM@N heavy-ion experiments is currently under development. The detector consists of absorber and scintillator layers, with the latter being highly segmented and read out using silicon photomultipliers. This work describes the use of the TOT method for multi-channel readout of the scintillator cells. The time and amplitude resolution of the detector using various plastic scintillators and silicon photomultipliers is presented.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО НЕСОХРАНЕНИЯ ЧЕТНОСТИ В СИЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ В РЕЛЯТИВИСТСКИХ СТОЛКНОВЕНИЯХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

В. Н. Коваленко, В. В. Петров

Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб., 7/9,
Санкт-Петербург 199034, Россия.
Телефон: +7-812-4284548, факс: +7-812-4287240
e-mail: v.kovalenko@spbu.ru

Нарушение симметрии пространственной четности (P) в сильных взаимодействиях никогда не наблюдалось экспериментально. Однако, соответствующее слагаемое может быть включено в лагранжиан КХД. Локальное нарушение симметрии четности может происходить из-за больших топологических флуктуаций при высокой температуре с динамической генерацией нетривиальных топологических зарядовых конфигураций. Необходимым условием наблюдения этих эффектов является достаточно большая пространственная протяженность и длительное время жизни горячей капли КХД среды, которая образуется в центральных ядерно-ядерных столкновениях на LHC [1–3].

Для изучения эффектов, вызванных локальным несохранением четности в столкновениях релятивистских тяжелых ионов, мы интегрировали эти эффекты в генераторы событий. Рассматриваются следующие проявления локального нарушения четности:

1. Расщепление масс поляризаций легких векторных мезонов, приводящее к угловой зависимости спектральной функции в распадах на ди-мюонны и ди-электроны [4].

2. Распады скалярных мезонов с нарушением четности: $a_{\pm}^0 \rightarrow \pi^{\pm} + \gamma$ [5] и $a_{\pm}^0 \rightarrow \pi^{\pm} + \pi^{\pm} + \pi^{\pm}$.

Произведена оценка величины ожидаемого сигнала в столкновениях p-p и Pb-Pb при энергии LHC. На основе анализа данных Монте-Карло по исследуемым наблюдаемым с учетом откликов детектирующих систем установки ALICE на LHC в условиях Run 2 и Run 3 будут даны рекомендации по критериям отбора событий, треков и выбору кинематических переменных для повышения чувствительности к эффектам локального несохранения четности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-22-00493, <https://rscf.ru/project/22-22-00493/>

Список литературы

1. Kharzeev D., Zhitnitsky A. // Nucl. Phys. A. 2007. V. 797. P. 67–79.
2. Buckley K., Fugleberg T., Zhitnitsky A. // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 84. P. 4814–4817.
3. Son D. T., Zhitnitsky A. R. // Phys. Rev. D. 2004. V. 70. P. 074018.
4. Andrianov A. A., Andrianov V. A., Espriu D., Planells X. // Phys. Rev. D. 2014. V. 90. P. 034024.
5. Andrianov A. A., Andrianov V. A., Espriu D., Iakubovich A. V., Putilova A. E. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2018. V. 15. P. 357–361.

MODELING OF LOCAL STRONG PARITY NON-CONSERVATION EFFECTS IN RELATIVISTIC HEAVY-ION COLLISIONS

V. N. Kovalenko, V. V. Petrov

Saint Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya Nab., St. Petersburg 199034, Russia,

Phone: +7-812-4284548, Fax: +7-812-4287240

e-mail: v.kovalenko@spbu.ru

The violation of spatial parity symmetry (P) in strong interactions have never been observed experimentally. However a P-breaking term can be included in the QCD Lagrangian. Hence, the local parity symmetry breaking can occur due to large topological fluctuations at high temperature with dynamic generation of nontrivial topological charge configurations. A necessary condition for observing these effects is a sufficiently large space dimension and a long lifetime of a hot drop of QCD medium, which is available in central nuclear-nuclear collisions at the LHC [1–3].

In order to study the effects caused by local P-breaking in relativistic heavy ion collisions we integrated them in Monte Carlo generators. The following manifestations of the local parity violation are considered:

1. The polarization mass splitting of light vector mesons, which leads to angular-dependent splitting of the spectral function in the di-lepton decays [4] (di-muon and di-electron case).

2. The parity-violating decays of light scalar mesons: $a_{\pm}^0 \rightarrow \pi^{\pm} + \gamma$ [5] and $a_{\pm}^0 \rightarrow \pi^{\pm} + \pi^{\pm} + \pi^{\pm}$.

The strength of the expected signal in p-p, and Pb-Pb collisions at LHC energy is estimated. Based on the analysis of the Monte Carlo data on the studied observables, taking into account the responses of the detecting systems of the ALICE facility under LHC Run 2 and Run 3 conditions, recommendations will be given on the criteria for selecting events, tracks, and choosing kinematic variables in terms of increasing sensitivity to the effects of local parity non-conservation.

The study was funded by the Russian Science Foundation grant No. 22-22-00493, <https://rscf.ru/en/project/22-22-00493/>

References

1. Kharzeev D., Zhitnitsky A. // Nucl. Phys. A. 2007. V. 797. P. 67–79.
2. Buckley K., Fugleberg T., Zhitnitsky A. // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 84. P. 4814–4817.
3. Son D.T., Zhitnitsky A.R. // Phys. Rev. D. 2004. V. 70. P. 074018.
4. Andrianov A. A., Andrianov V. A., Espriu D., Planells X. // Phys. Rev. D. 2014. V. 90. P. 034024.
5. Andrianov A. A., Andrianov V. A., Espriu D., Iakubovich A. V., Putilova A. E. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2018. V. 15. P. 357–361.

НАМАГНИЧЕННЫЕ ЯДРА В R-ПРОЦЕССЕ

В. Н. Кондратьев

Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
vkondrat@jinr.ru

Рассмотрен нуклеосинтез при большой магнитной индукции, характерной для взрыва сверхновых II-го типа и слияния нейтронных звезд. Для соответствующих магнитных полей напряженностью до десяти тератесла атомные ядра проявляют линейный магнитный отклик из-за эффекта Зеемана. Такая ядерная реактивность может быть описана в терминах магнитной восприимчивости [1]. Максимумы восприимчивости соответствуют наполовину заполненным оболочкам. Нейтронная составляющая линейно возрастает с увеличением углового момента оболочки, в то время как вклад протонов растет квадратично из-за значительного вклада орбитальной намагниченности. Для случая $j = l + 1/2$ вклад протона составляет десятки ядерных магнетонов и значительно превышает значения нейтронов, которые дают несколько единиц. В случае $j = l - 1/2$ протонная составляющая почти равна нулю вплоть до g-оболочки. Соответственно, для ядер в условиях замораживания заряда предсказано заметное увеличение образования соответствующих продуктов взрывного нуклеосинтеза с антимagic числами. В области группы железа также возникают новые зародыши для r-процесса. В частности, магнитное увеличение объема изотопов ^{44}Ti согласуется с результатами наблюдений и указывает на существенное увеличение содержания основного изотопа титана (^{48}Ti) в химическом составе Галактики. Доказано, что магнитные эффекты приводят к смещению траектории r-процесса в сторону меньших массовых чисел и увеличению объема нуклидов с меньшей массой в пиках ядер r-процесса.

Список литературы

1. V. N. Kondratyev // Universe 7, 487 (2021).

MAGNETIZED NUCLEI IN R-PROCESS

V. N. Kondratyev

Bogolubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6,
141980 Dubna, Moscow Region, Russia
vkondrat@jinr.ru

Nucleosynthesis at large magnetic induction relevant for core-collapse supernovae, and neutron star mergers is considered. For respective magnetic fields of a strength up to ten teratesla atomic nuclei exhibit linear magnetic response due to the Zeeman effect. Such nuclear reactivity can be described in terms of magnetic susceptibility [1]. Susceptibility maxima correspond to half-filled shells. The neutron component rises linearly with increasing shell angular momentum, while the contribution of protons grows quadratically due to considerable income from orbital magnetization. For a case $j = l + 1/2$ the proton contribution makes tens of nuclear magnetons and exceeds significantly the neutron values which give several units. In a case $j = l - 1/2$ the proton component is almost zero up to g-shell. Respectively, a noticeable increase in the generation of corresponding explosive nucleosynthetic products with antimagic numbers is predicted for nuclei at charge freezing conditions. In the iron group region new seeds are created also for the r-process. In particular, the magnetic enhancement of the volume of ^{44}Ti isotopes is consistent with results from observations and indicates the substantial increase in the abundance of the main titanium isotope (^{48}Ti) in the Galaxy's chemical composition. Magnetic effects are proved to result in a shift of the r-process path towards smaller mass numbers, and an increase in the volume of low mass nuclides in peaks of the r-process nuclei.

References

1. V. N. Kondratyev // Universe, 7 (2021) 487.

НЕЙТРИНО МАГНИТОРОТАЦИОННЫХ СВЕРХНОВЫХ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЧЕРЕНКОВСКИМИ ДЕТЕКТОРАМИ

В. Н. Кондратьев

Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, ОИЯИ, 141980, г. Дубна, Россия,
vkondrat@jinr.ru

Рассмотрена динамика нейтрино в горячем и плотном намагниченном веществе, соответствующем взрыву сверхновых. Показано, что учет флуктуаций при взаимодействии нейтрино с веществом приводит к уравнению Фоккера-Планка для динамики функции распределения в фазовом пространстве. Дополнительная к эффекту переноса [1] компонента кинетического уравнения определяется страглингом при столкновениях нейтрино в намагниченном нуклонном газе, обусловленных гамов-теллеровским взаимодействием нейтрального тока. Эффект флуктуаций приводит к дополнительному усилению жесткости спектров нейтрино. Обсуждаются возможности детектирования нейтрино сверхновых обсерваториями KM3NeT and Baikal-GVD. Продемонстрировано, что использование методики k -кратных совпадений детекторов при обработке данных позволяет повысить в $1.5\sqrt{k}$ раз верхние пределы расстояния для порога наблюдения.

Список литературы

1. Кондратьев В. Н., Хорькова Н. Г., Кэрубини С. Спектры нейтрино сверхновых и наблюдения с помощью крупномасштабных телескопов // ЯФ 2023. Т. 86, №1, С. 172 [Kondratyev V. N., Khor'kova N. G., Cherubini S. Supernova neutrino spectra & observations by Large Volume Telescopes // Phys. At. Nucl. 2022. V. 85, P. 924]

NEUTRINOS FROM MAGNETOROTATIONAL SUPERNOVAE AND PROSPECTS FOR THEIR OBSERVATIONS BY CHERENKOV DETECTORS

V. N. Kondratyev

Bogolubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research
Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
vkondrat@jinr.ru

The dynamics of neutrinos in hot and dense magnetized matter, corresponding to a supernova explosion, is considered. It is shown that taking into account fluctuations in the interaction of neutrinos with matter leads to the Fokker-Planck equation for the dynamics of the distribution function in the phase space. The component of the kinetic equation additional to the transfer effect [1] is determined by straggling in neutrino collisions in a magnetized nucleon gas due to the Gamow-Teller neutral current interaction. The effect of fluctuations leads to an additional increase in the hardness of the neutrino spectra. The possibilities of detecting supernova neutrinos by the KM3NeT and Baikal-GVD observatories are discussed. It is shown that the use of the technique of k -fold coincidences of detectors in data processing makes it possible to increase the upper limits of the distance for the observation threshold by a factor of $1.5\sqrt{k}$.

References

1. Kondratyev V. N., Khor'kova N. G., Cherubini S. Supernova neutrino spectra & observations by Large Volume Telescopes // Phys. At. Nucl. 2022. V. 85, P. 924.

СТАБИЛЬНОСТЬ ОТКЛИКА ДЕТЕКТОРА НЕЙТРИНО iDREAM НА КАЛИНИНСКОЙ АЭС

А. В. Абрамов, А. С. Чепурнов, Д. Чмыхало, А. В. Этенко, М. Б. Громов,
А. В. Константинов, Д. С. Кузнецов, Е. А. Литвинович, Г. А. Лукьянченко,
И. Н. Мачулин, А. Е. Мурченко, А. М. Немерюк, Р. Р. Нугманов, А. Ю. Оралбаев,
Д. В. Попов, А. А. Растимешин, С. В. Сухотин, И. Н. Жутиков

НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1
8-499-196-99-56
konstantinov_av@nrcki.ru

iDREAM – это прототип нейтринного детектора, предназначенный для демонстрации возможности использования нейтринного метода для дистанционного мониторинга реакторов и гарантий нераспространения. Реакторные антинейтрино регистрируются с помощью жидкого сцинтиллятора массой 1 тонна, допированного гадолинием (Gd-LS), посредством обратного бета-распада на протонах. Детектор (рис.) набирает данные в помещении на уровне земли Калининской АЭС (Россия), в 20 м от коммерческого реактора мощностью 3 ГВт [1]. Жидкий сцинтиллятор (Gd-LS), изготовленный специально для использования в iDREAM, остается стабильным в течение двух лет наблюдений в условиях поддержания температуры ниже $\sim 20^\circ\text{C}$ и исключаяющий его контакт с воздухом. Измерения стабильности выполняются в динамике путем мониторинга отклика детектора на калибровочные источники. Также обсуждается стабильность коррелированного фона в периоды включения и выключения реактора.

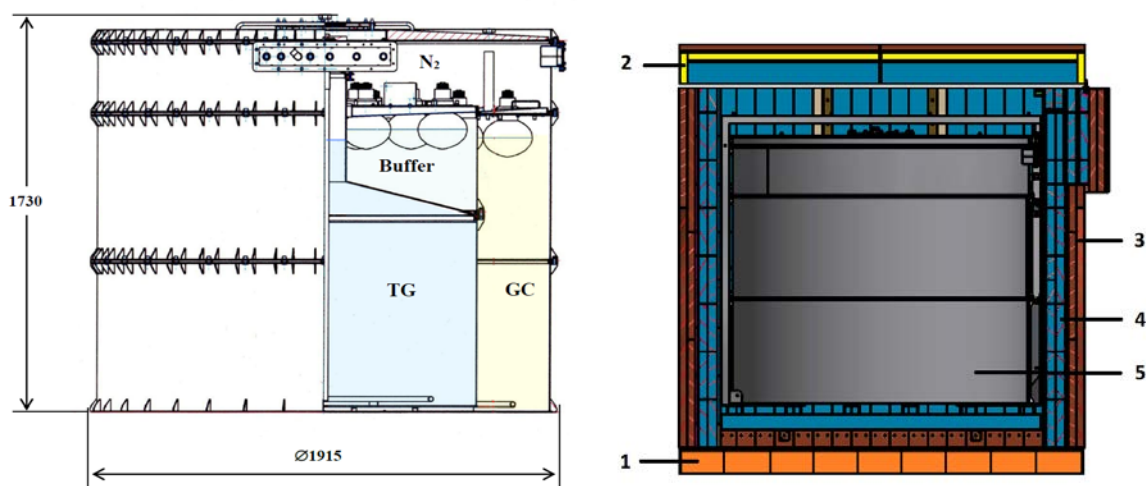


Рис. Слева: детектор имеет 3 объема – буфер (заполненный чистым ЛАБом), мишень (заполненную гадолиниево-содержащим сцинтиллятором), гамма-кетчер (заполненный сцинтиллятором).
Справа: 1 – чугун, 2 – свинец, 3 – чистый полиэтилен, 4 – борированный полиэтилен, 5 – детектор

Список литературы

1. iDREAM: Industrial Detector of REactor Antineutrinos for Monitoring at Kalinin nuclear power plant. A. Abramov et al 2022 JINST 17 P09001.

STABILITY OF THE IDREAM NEUTRINO DETECTOR'S RESPONSE AT KALININ NUCLEAR POWER PLANT

**A. Abramov, A. Chepurnov, D. Chmyhalo, A. Etenko, M. Gromov, A. Konstantinov,
D. Kuznetsov, E. Litvinovich, G. Lukyanchenko, A. Murchenko, I. Machulin, A. Nemeryuk,
R. Nugmanov, A. Oralbaev, D. Popov, A. Rastimeshin, S. Sukhotin, I. Zhutikov.**

National Research Center "Kurchatov Institute", Academician Kurchatov Square, house 1, Moscow,
Russia, 8-499-196-99-56, 123182
konstantinov_av@nrcki.ru

iDREAM is a prototype neutrino detector designed to demonstrate the feasibility of the neutrino method for remote reactor monitoring and safeguard purposes. Reactor antineutrinos are detected with a 1 ton Gd-doped liquid scintillator (Gd-LS) via inverse beta decay on protons. The detector (Fig.) takes data in a ground level hall at Kalinin NPP (Russia), 20 m from the 3GW_{th} commercial reactor [1]. The Gd-LS, produced especially for use in iDREAM, remains stable for two years of observations under conditions of keeping the temperature below ~20 °C and preventing its contact with air. The stability measurements are performed via the monitoring of the detector response to the calibration sources in dynamics. The stability of the correlated background during reactor ON and OFF periods is also discussed.

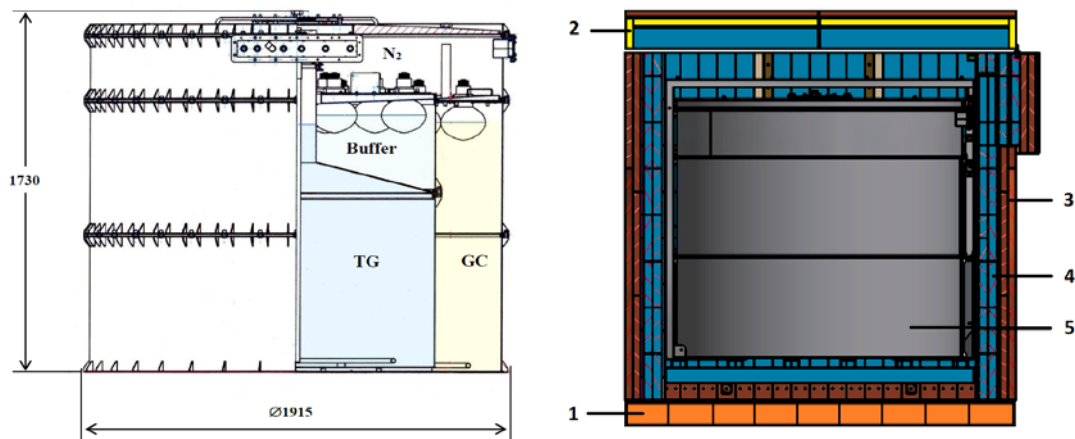


Figure. *Left*: The detector has 3 volumes: buffer (filled with pure LAB), target (TG, filled with Gd-LS), γ -catcher (GC, filled with LS w/o Gd); *Right*: the shielding: 1 (orange) – cast iron, 2 (yellow) – lead, 3 (brown) – pure polyethylene, 4 (blue) – borated polyethylene, 5 – detector

References

1. iDREAM: Industrial Detector of REactor Antineutrinos for Monitoring at Kalinin nuclear power plant. A. Abramov et al 2022 JINST **17** P09001.

МЯГКИЕ ГАММА-ВСПЛЕСКИ ОТ МАГНИТАРОВ

Ю. В. Коровина¹, В. Н. Кондратьев²

¹ ГАОУ ДПО ЦПМ, 119270, Москва, ул. Хамовнический вал д. 6, Россия,

²Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
jkorovina@mail.ru

Концепция ультрамагнитических нейтронных звезд (НЗ) – магнитаров – успешно применяется для интерпретации активности мягких гамма-репитеров (МГР). Множество различных данных наблюдений этих пульсаров убедительно подтверждают модель магнитаров, подразумевающую огромную намагнитченность НЗ с напряженностью поля до десятков

тератесла. Универсальные свойства такого магнитоизлучения анализируются в этой работе. Всплески в излучении МГР рассматриваются как высвобождение магнитной энергии, запасенной в барионных степенях свободы НЗ. Особое внимание уделяется магнитодинамике внешней коры НЗ, которая состоит из хорошо разделенных магических ядер, см. [1]. Показано, что ядерная намагниченность испытывает резкое скачкообразное изменение при переменной полной индукции из-за квантования пространственного движения. Для коры НЗ такие скачкообразные аномалии магнитных моментов в сочетании с ферромагнитной межкуклидной связью приводят к скачкообразной магнитодинамике из-за распространения лавин. Как следствие, внезапный выброс энергии в магнитосферу приводит к МГР-всплеску, см. [1]. Для описания такого магнитоизлучения коры НЗ мы разработали модель случайно перескакивающих взаимодействующих моментов (СПВМ), учитывающую квантовые флуктуации, межкуклидные связи, беспорядок и энергию размагничивания. Таким образом, сравнение предсказаний модели с данными наблюдений позволяет количественно интерпретировать свойства коры НЗ. Предсказанное моделью СПВМ поведение масштабирования, например, для распределений интенсивности всплесков и времени ожидания, хорошо согласуется с наблюдениями МГР, подтверждая достоверность модели СПВМ. Дальнейшее применение СПВМ при анализе активности МГР может обеспечить лучшее понимание коры НЗ, в частности, напряженности и эволюции магнитных полей.

Список литературы

1. В. Н. Кондратьев, Ю. В. Коровина «Универсальная статистика мягких повторяющихся гамма(МПП)-всплесков» ЭЧАЯ 2018, Т. 49, С. 107. [V. N. Kondratyev, Yu. V. Korovina, “Universal Statistics of Soft Gamma-Ray Repeating (SGR) Bursts”. Phys. Part. Nucl. 2018, V. 49, P. 105.]

SOFT GAMMA-RAY (SGR) BURSTS FROM MAGNETARS

Yu. V. Korovina¹, V. N. Kondratyev²

¹ГАОУ ДПО ЦПМ, 119270, Москва, ул. Хамовнический вал д. 6, Россия, jkorovina@mail.ru

² Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics,

Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

The concept of ultramagnetized neutron stars (NS) – magnetars – has been successfully used to interpret the activity of soft gamma-ray repeaters (SGRs). Many various observational data of these pulsars convincingly confirm the magnetar model, which implies a huge NS magnetization with a field strength ranging up to tens of teratesla. The universal properties of such magnetic radiative emission are analyzed in this work. Bursts in the SGR radiation are considered as a release of magnetic energy stored in the baryon degrees of freedom of NS. Particular attention is paid for the magnetodynamics of NS outer crusts, which consists of well-separated magic nuclei, see [1]. It is shown that the nuclear magnetization undergoes a sharp abrupt change at a variable total induction due to the quantization of spatial motion. For NS crust such jumplike anomalies of magnetic moments in combination with ferromagnetic internuclide coupling lead to jumplike magnetodynamics due to the propagation of avalanches. As a consequence a sudden release of energy into the magnetosphere leads to an SGR burst, see [1]. To describe such magnetoradiation from the NS crust, we have developed a model of randomly jumping interacting moments (RJIM), which takes into account quantum fluctuations, internuclide coupling, disorder, and demagnetization energy. Thus, comparison of model predictions with observational data makes it possible to quantitatively interpret the properties of NS crusts. The scaling behavior predicted by the RJIM model, for example, for the burst intensity and latency distributions, is in a good agreement with the SGR observations, confirming the validity of the SPVM model. Further application of RJIM in the analysis of SGR activity may provide a better understanding of NS crusts, in particular, the strength and evolution of magnetic fields.

References

1. V. N. Kondratyev, Yu. V. Korovina, “Universal Statistics of Soft Gamma-Ray Repeating (SGR) Bursts”. Phys. Part. Nucl. 2018, V. 49, P. 105.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА ИСПУСКАНИЯ ПИОНОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ Au+Au ПРИ $\sqrt{s_{NN}} = 3$ ГэВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ STAR

А. Краева^{1,2} (от коллаборации STAR)

¹Национальный Исследовательский Ядерный Университет “МИФИ”, Москва, 115409, Россия

²141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

Метод корреляционной фемтоскопии позволяет оценить пространственные и временные характеристики источника испускания частиц, образующихся в столкновениях тяжелых ионов. Низкоэнергетические результаты помогают исследовать структуру области испускания частиц, где деконфайнмент не ожидается [1].

Данная работа посвящена изучению импульсных корреляций тождественных пионов, рождающихся в столкновениях Au+Au при $\sqrt{s_{NN}} = 3$ ГэВ в эксперименте STAR. Извлеченные параметры области испускания (радиус, R , и сила корреляции, λ) будут представлены как функция поперечного импульса пар частиц, k_T , и центральности столкновения. Экспериментальные результаты будут сравниваться с теоретическими расчетами, полученными с использованием модели UrQMD (Ultrarelativistic Quantum Molecular Dynamics) [2, 3].

Список литературы

- [1] J. Adam et al. (STAR Collab.), Phys. Rev. C 103, 3 (2021).
- [2] S. Bass et al., Prog. Part. Nucl. Phys. 41, 225 (1998).
- [3] M. Bleicher et al., J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 25, 1859 (1999).

ESTIMATION OF PION EMISSION SOURCE CHARACTERISTICS IN Au+Au COLLISIONS AT $\sqrt{s_{NN}} = 3$ GeV IN THE STAR EXPERIMENT

А. Kraeva^{1,2} (for the STAR Collaboration)

¹National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

²Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

The method of correlation femtoscopy makes it possible to estimate the spatial and temporal characteristics of particle emission source formed during heavy-ion collisions. The low energy results help to investigate the structure of the particle emission region where deconfinement is not expected [1].

The present work is devoted to studying the momentum correlations of identical pions produced in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 3$ GeV using the data from the STAR experiment. The extracted parameters of the emission region (radius, R , and correlation strength, λ) will be presented as a function of the transverse momentum of particle pairs, k_T , and centrality of the collision. The experimental results will be compared with the theoretical calculations obtained using the UrQMD (Ultrarelativistic Quantum Molecular Dynamics) model [2, 3].

References

- [1] J. Adam et al. (STAR Collab.), Phys. Rev. C 103, 3 (2021).
- [2] S. Bass et al., Prog. Part. Nucl. Phys. 41, 225 (1998).
- [3] M. Bleicher et al., J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 25, 1859 (1999).

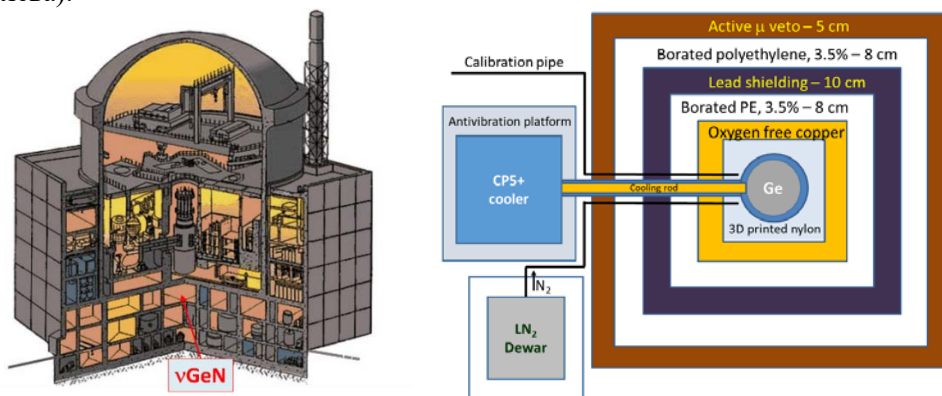
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА NUGEN ПО ПОИСКУ КОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ РЕАКТОРНЫХ АНТИНЕЙТРИНО И ДРУГИХ РЕДКИХ ПРОЦЕССОВ

А. В. Лубашевский^{1,2} от коллаборации nuGeN

¹Объединенный институт ядерных исследований, Россия, Московская обл., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6, 141980, тел.: +7 (49621) 6-50-59, факс: +7 (49621) 6-51-46, e-mail: post@jinr.ru

² Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук, 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53, тел: +7 (499) 132-65-54, e-mail: office@lebedev.ru

Эксперимент ν GeN направлен на исследование свойств антинейтрино от реактора Калининской АЭС (Удомля, Россия) [1]. Экспериментальная установка была установлена под третьим блоком КАЭС на подъемной платформе на расстоянии 11.1-12.2 м от активной зоны реактора, что позволяет оперировать гигантским потоком антинейтрино в $(3.6 - 4.4) \cdot 10^{13}$ $\nu/(\text{cm}^2 \text{ сек})$ (Рис. слева).



Слева: схема реактора №3 КАЭС. Стрелкой указано помещение, где расположена экспериментальная установка. Справа: схема защиты спектрометра.

Большое количество конструкционных материалов реактора, эквивалентных ~ 50 м в.э. служат хорошей защитой от космического излучения. Искомые сигналы регистрируются с помощью специально разработанного низкофонового, низкопорогового, германиевого детектора, окруженного со всех сторон активной и пассивной комбинированной защитой от радиоактивного излучения (рис. справа). Детальный обзор экспериментальной установки, текущий статус измерений и полученные результаты будут представлены на конференции.

Список литературы

[1] I. Alekseev, et al., Physical Review D 106 (5), L051101 (2022)

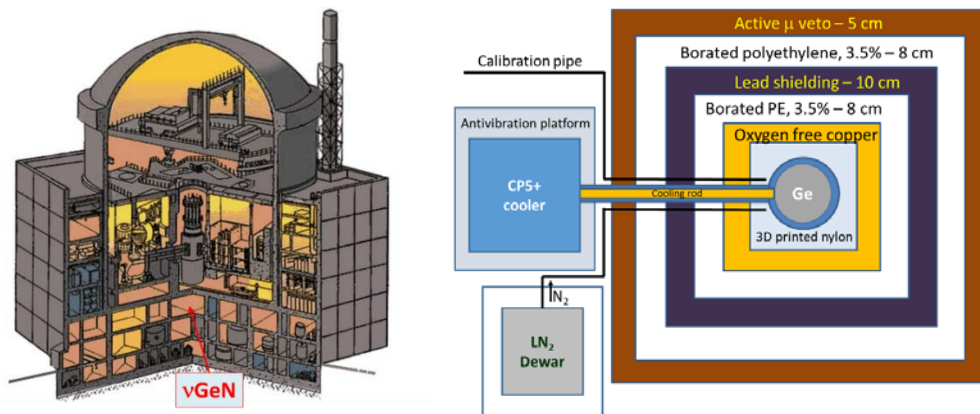
RESULTS OF THE NUGEN EXPERIMENT ON SEARCH FOR COHERENT ELASTIC REACTOR ANTINEUTRINO-NUCLEUS SCATTERING AND OTHER RARE PROCESSES

A. V. Lubashevskiy^{1,2} for the nuGeN collaboration

¹Joint Institute for Nuclear Research, Russia, Moscow Region, Dubna, Joliot-Curie st., 6, 141980, tel: +7 (49621) 65059, fax: +7 (49621) 65146, e-mail: post@jinr.ru

²Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, , 119991 Moscow, Leninstiy avenue, 53, tel: +7 (499) 132-65-54, e-mail: office@lebedev.ru

The experiment ν GeN is aimed at studying the properties of antineutrinos from the reactor of the Kalinin NPP (Udomlya, Russia) [1]. The experimental setup was installed under the third unit of the KNPP on a special lifting platform at a distance of 11.1-12.2 m from the reactor core, which allows to operate an enormous flux of antineutrinos in $(3.6 - 4.4) \cdot 10^{13}$ $\nu/(\text{cm}^2 \text{ sec})$ (Fig. left).



Left: Scheme of reactor unit # 3 of KNPP. The arrow indicates the room where the experimental setup is located. Right: scheme of the spectrometer's shielding

A reactor surrounding materials (overburden equivalent to ~ 50 m w.e.) serve as good shielding against cosmic rays. The signals sought are recorded by a specially designed low-background, low-threshold, germanium detector surrounded on all sides by active and passive combined radiation shielding (Fig. right). A detailed overview of the experimental setup, the current status of measurements, and the obtained results will be presented at the conference.

References

1. I. Alekseev, et al., Physical Review D 106 (5), L051101 (2022)

ИЗМЕРЕНИЕ АДРОНОВ С ОТКРЫТЫМ ОЧАРОВАНИЕМ В ДЕТЕКТОРЕ ALICE-3 НА LHC-HL

М. В. Малаев^{1,2}, В. Г. Рябов^{1,2}

¹ Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Ленинградская область,
Гатчина, мкр. Орлова роща 1, тел. +78137146025, факс +78137136025, dir@pnpi.nrcki.ru

² Московский физико-технический институт, Московская область, Долгопрудный,
Институтский пер. 9, тел. +74954084554, info@mipt.ru

ALICE-3 является модернизацией существующего эксперимента ALICE для работы на Большом адронном коллайдере высокой светимости в ЦЕРН после 2030 года. Одной из физических задач установки ALICE-3 является исследование свойств плотной и горячей партонной среды, образующейся в столкновениях тяжелых ультрарелятивистских ядер, посредством измерения адронов с открытым очарованием. Детектор ALICE-3 хорошо оснащен для измерения D-мезонов в основном и возбужденном состояниях в каналах распада с заряженными частицами в конечном состоянии. В данной презентации мы представляем результаты исследования возможности регистрации адронов с открытым очарованием в каналах распада с нейтральными фотонами или мезонами в конечном состоянии при использовании электромагнитного калориметра с большим аксептансом. Полученные результаты сравниваются с характеристиками детектора, полученными для других каналов распада, обсуждается значимость полученных результатов для физической программы эксперимента.

PROBING OPEN CHARM PRODUCTION WITH ALICE-3 DETECTOR AT LHC-HL

M. V. Malaev^{1,2}, V. G. Riabov^{1,2}

¹ Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P.Konstantinov of NRC “Kurchatov Institute”,
Gatchina, Russia, tel. +78137146025, fax +78137136025, dir@pnpi.nrcki.ru

² Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia, tel. +74954084554,
info@mipt.ru

ALICE-3 is a future upgrade of the current ALICE experiment to be operated at high-luminosity Large Hadron Collider (LHC) at CERN after 2030. One of the physics objectives of the experiment is to probe the hot and dense QCD matter produced in heavy-ion collisions via the measurement of open charm hadron production. The ALICE-3 detector is well equipped to measure production of ground and excited states of D-mesons in the decay channels with charged particles in the final state. In this presentation, we present results of feasibility studies for the measurement of open charm mesons in the decay channels with neutral photons or mesons by utilizing the large acceptance electromagnetic calorimeter. Obtained results are compared with those available for other decay modes, implications for the physical program of the experiment are discussed.

РАЗРАБОТКА ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ И ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА BM@N

А. И. Махнёв

Институт Ядерных Исследований РАН, 108840, Россия, Москва, г. Троицк, ул. Физическая,
вл. 27., контактный телефон: +79168455278, e-mail: makhnev.a@phystech.edu

Для эксперимента BM@N разрабатывается времяпролетный детектор нейтронов с высокими временным и пространственным разрешениями. Физическая схема будущего детектора подразумевает слоистую структуру из плит поглотителя-конвертора и позиционно-чувствительных сцинтилляционных детекторов, сигнал с которых считывается посредством измерения времени над порогом. В этой работе описан прогресс по разработке детектора: оптимизация типовой сцинтилляционной ячейки, тестирование считывающего тракта и разработка механической конструкции прибора.

DEVELOPMENT OF A HIGH GRANULAR NEUTRON TIME-OF-FLIGHT DETECTOR FOR THE BM@N EXPERIMENT

A. I. Makhnev

A new high-granular time-of-flight neutron detector for the BM@N experiment is under development. The design of future detector utilizes a layered structure of absorber tiles and scintillation detectors, which operate via the time-over-threshold method. This work describes the development progress in the areas of detector optimization, readout chain design, front-end electronics verification and mechanical support structures design.

НАРУШЕНИЕ ЗАРЯДОВОЙ СИММЕТРИИ ДЛЯ Λ -ГИПЕРОНА В ГИПЕРЯДРАХ И НЕЙТРОННЫХ ЗВЁЗДАХ

С. А. Михеев, Д. Е. Ланской, С. В. Сидоров, Т. Ю. Третьякова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»,
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына, 119234, ГСП-1,
Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, Тел.: +7(495)939-18-18, Факс: +7(495)939-08-96,
email: mikheev.sa16@physics.msu.ru

Как известно, сильное взаимодействие адронов обладает изоспиновой симметрией. В реальности, однако, возможно нарушение этой симметрии вызванное электромагнитным взаимодействием. Нарушение зарядовой симметрии (CSB) является проявлением этого эффекта и отражается в различном сильном взаимодействии членов одного изоспинового мультиплета, например протонов и нейтронов. В контексте гиперон-нуклонного взаимодействия под CSB обычно понимают различие между Λ_n - и Λ_p -взаимодействием.

В ядрах CSB может оказывать влияние на энергию связи, распределение нуклонной плотности и иметь большое значение для предсказания положения линий нуклонной стабильности. Важным источником информации о CSB в ΛN -взаимодействии могут быть экзотические гиперядра, имеющие избыток нейтронов или протонов. Мы используем метод учета нарушения зарядовой симметрии в гиперядрах в рамках подхода Хартри-Фока со взаимодействием Скимма. Параметры ΛN -сил Скимма при этом выводятся из соответствующих параметров YN -взаимодействия в моделях мезонного обмена. Используя эту модель мы рассматриваем влияние CSB на энергию связи гиперона в гиперядрах углерода. Помимо ядер и гиперядер эффект CSB может проявляться в нейтронных звёздах. Мы анализируем влияние CSB на такие характеристики нейтронных звёзд, как масса и радиус.

CHARGE SYMMETRY BREAKING FOR Λ -HYPERON IN HYPERNUCLEI AND NEUTRON STARS

S. A. Mikheev, D. E. Lanskoj, S. V. Sidorov, T. Yu. Tretyakova

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M. V. Lomonosov
Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, 1(2), Leninskie gory, GSP-1,
Moscow 119991, Russian Federation, Phone.: +7(495)939-18-18, Fax: +7(495)939-08-96,
email: mikheev.sa16@physics.msu.ru

The strong interaction of hadrons is known to have isospin symmetry. However, in reality this symmetry can be broken by electromagnetic interaction. Charge symmetry breaking (CSB) is the manifestation of this effect and it results in different strong interactions of members of the same isospin multiplet, such as protons and neutrons. In terms of the hyperon-nucleon interaction, CSB is usually understood as the difference between Λ_n and Λ_p interactions.

In nuclei, CSB can affect the binding energy, the nucleon density distribution, and be of great importance for predicting the position of the lines of nucleon stability. Exotic hypernuclei, which have an excess of neutrons or protons, may be a valuable source of information about CSB in ΛN -interaction. In our method we take into account the charge symmetry breaking in hypernuclei within the framework of the Hartree-Fock approach with the Skyrme interaction. The parameters of the Skyrme ΛN -forces are derived from the corresponding parameters of the YN -interaction in the models of meson exchange. Using this model, we consider the effect of CSB on the hyperon binding energy in the hypernuclei of carbon. In addition to nuclei and hypernuclei, the CSB can affect neutron stars. We analyze the effect of CSB on the masses and radii of neutron stars.

ПЕРЕДНИЙ АДРОННЫЙ КАЛОРИМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ЯДРО-ЯДЕРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ NA61/SHINE

С. В. Морозов

Институт Ядерных Исследований РАН, проспект 60-летия Октября, 7а, Москва 117312
Телефон: 8(495)850-42-56, Факс: 8(495)850-42-28
Эл. почта: morozovs@inr.ru

Детектор фрагментов-спектаторов PSD представляет собой передний адронный калориметр, который используется на экспериментальной установке NA61/SHINE для измерения центральности столкновений ядер и измерения плоскости реакции независимо от трековых детекторов. Калориметр PSD состоит из модулей с продольной сегментацией, представляющей собой слои свинца и сцинтиллятора с соотношением толщин 4:1. Свет в сцинтилляционных пластинах собирается с помощью спектросмещающего оптоволокну, и свет от каждых шести пластин подряд регистрируется отдельным фотодетектором, расположенным в заднем торце модуля. Быстрый аналоговый выход суммы сигналов с каждого модуля калориметра PSD позволяет выбирать события по заданной центральности столкновений уже на уровне триггерного решения. В докладе будет представлена работа калориметра PSD в диапазоне энергий ядер 13–150 ГэВ/нуклон.

Новая программа для экспериментов на NA61/SHINE после 2020 г. включает в себя программу исследования open charm, при этом частота столкновений увеличится на порядок. Это потребовало обновления калориметра PSD для новых радиационных условий и более быстрого считывания сигналов. Вместо одного будут использоваться два калориметра: модифицированный калориметр PSD с пучковым отверстием в центре и новый вспомогательный калориметр, расположенный за ним. В докладе будут представлены результат обновления и работа новой системы калориметров на эксперименте NA61/SHINE.

FORWARD HADRON CALORIMETER FOR MEASURING GEOMETRY OF NUCLEUS- NUCLEUS COLLISIONS AT NA61/SHINE EXPERIMENTS

S. V. Morozov

Institute for Nuclear Research RAS, prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a, Moscow 117312
Tel: 8(495)850-42-56, Fax: 8(495)850-42-28
E-mail: morozovs@inr.ru

Projectile Spectator Detector (PSD) is a forward sampling hadron calorimeter used in the NA61/SHINE experiment to provide measurement of collision centrality and event plane reconstruction independently from tracking detectors. The PSD consists of modules with longitudinal segmentation based on lead/scintillator layers with the sampling ratio 4:1. Light from scintillator plates is collected with WLS fibers and each six consecutive scintillator plates are read out by one photodetector placed at the end of the module. A fast analog signal from PSD modules allows to select events with required centrality on-line at the trigger level. Performance of the PSD will be shown for the measurements at the energy range 13 – 150 AGeV.

New physics program of NA61/SHINE experiments beyond 2020 includes open charm measurements. Current beam rate has to be increased by an order of magnitude. This requires PSD upgrade to survive in new high radiation conditions and to have faster read-out. Instead of the present PSD, two forward calorimeters will be used. The first one is modified current PSD with constructed beam hole in the center and the second one is a new calorimeter with small transverse sizes placed downstream. Details of the PSD upgrade as well as the performance of NA61/SHINE calorimeter system will be presented.

ПОИСКИ РЕЗОНАНСНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ АКСИОНОВ АТОМНЫМИ ЯДРАМИ

В. Н. Муратова

Петербургский институт ядерной физики НИЦ Курчатовский институт

Аксионы, возникшие как элегантное решение CP-проблемы сильных взаимодействий, оказались хорошими кандидатами на роль частиц темной материи. Один из возможных каналов регистрации - это реакция резонансного поглощения аксионов ядрами, процесс аналогичный резонансному поглощению гамма-квантов. Большая величина сечения данной реакции для гамма-квантов приводит к высокой чувствительности экспериментов к константам связи аксиона с фотонами, электронам и нуклонами, и, как следствие, к массе аксиона. В работе представлены результаты поиска резонансного возбуждения первого ядерного уровня ${}^7\text{Li}$, ${}^{57}\text{Fe}$, ${}^{83}\text{Kr}$ и ${}^{169}\text{Tm}$ с помощью детекторов различных типов.

SEARCHES FOR THE RESONANT ABSORPTION OF SOLAR AXIONS BY ATOMIC NUCLEI

V. Muratova

Petersburg Nuclear Physics Institute NRC Kurchatov Institute

Axions emerged as an elegant solution to the strong CP-problem and turned out to be good candidates for the role of dark matter particles. One of the possible registration channels is the reaction of resonant absorption of axions by nuclei, a process similar to the resonant absorption of gamma quanta. The large value of the cross section of this reaction for gamma quanta leads to a high sensitivity of experiments to the coupling constants of the axion with photons, electrons and nucleons, and, as a consequence, to the mass of the axion. The paper presents the results of a search for resonant excitation of the first nuclear level in ${}^7\text{Li}$, ${}^{57}\text{Fe}$, ${}^{83}\text{Kr}$, and ${}^{169}\text{Tm}$ using various type detectors.

СТАТУС ЭКСПЕРИМЕНТА MPD В NICA

Судхир Пандуранг Роде * за сотрудничество MPD

Лаборатория физики высоких энергий Векслера и Балдина,
Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, 141980,
Московская область, Российская Федерация

*электронная почта: sudhir@jinr.ru, sudhirrode11@gmail.com

Эксперимент Multi-Purpose Detector (MPD), ведущий эксперимент с тяжелыми ионами, строящийся на установке ионного коллайдера на базе нуклотрона (NICA) в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) в Дубне, Россия, предназначен для работы в режим коллайдера. MPD будет исследовать столкновения тяжелых ионов в диапазоне энергий центра масс, $\sqrt{s_{NN}} = 4\text{--}11$ ГэВ, начиная со столкновений $\text{Bi}+\text{Bi}$ при $\sqrt{s_{NN}} = 9,2$ ГэВ, на начальном этапе работы, который планируется начать в 2025 году. MPD – это международное сотрудничество, в которое входит 31 учреждение из 10 стран с более чем 450 участниками. MPD фокусируется на изучении богатой барионами области фазовой диаграммы квантовой хромодинамики (КХД), поиске начала и природы фазового перехода между деконфайнментом и адронной материей, начала восстановления киральной симметрии и предполагаемой критической конечной точки. .

В этой презентации будет рассмотрено текущее состояние конструкции детектора MPD и его физическая программа с акцентом на физические измерения, возможные с первыми пучками.

STATUS OF THE MPD EXPERIMENT AT NICA

Sudhir Pandurang Rode * for the MPD collaboration

Veksler and Baldin Laboratory of High Energy Physics,
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, 141980,
Moscow region, Russian Federation
*email: sudhir@jinr.ru, sudhirrode11@gmail.com

The Multi-Purpose Detector (MPD) experiment, a leading heavy-ion experiment under construction in the Nuclotron-based Ion Collider fAcility (NICA) at Joint Institute for Nuclear Research (JINR), in Dubna, Russia, is designed to operate in the collider mode. The MPD will examine heavy-ion collisions in the center-of-mass energy range, $\sqrt{s_{NN}} = 4\text{--}11$ GeV, starting with Bi+Bi collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 9.2$ GeV, in its initial stage of operation which is planned to start in 2025. The MPD is an international collaboration which consists of 31 institutions from 10 countries with more than 450 participants. MPD focuses on study of baryon-rich region of the Quantum Chromodynamics (QCD) phase diagram, to search for the onset and nature of the phase transition between deconfined and hadronic matter, the onset of chiral symmetry restoration and the conjectured critical end point.

In this presentation, the current status of the MPD detector construction and its physics program will be reviewed with an emphasis on the physics measurements feasible with the first beams.

ПРОИЗВОДСТВО π^+ И K^+ МЕЗОНОВ В АРГОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ ПУЧКА 3.2 АГЭВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ BM@N НА НУКЛОТРОНЕ

В. А. Плотников от имени коллаборации BM@N

Объединённый институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия
E-mail: vplotnikov@jinr.ru

Представлены первые физические результаты эксперимента BM@N на ускорительном комплексе Нуклотрон/NICA по производству π^+ и K^+ мезонов во взаимодействиях аргонного пучка с фиксированными мишенями из C, Al, Cu, Sn и Pb при энергии 3.2 АГЭВ. Измерены распределения по поперечному импульсу, спектры по быстрой и выходы π^+ и K^+ мезонов. Результаты сравнены с предсказаниями теоретических моделей и другими измерениями, сделанными при более низких энергиях.

PRODUCTION OF π^+ AND K^+ MESONS IN ARGON-NUCLEUS INTERACTIONS AT 3.2 AGeV IN THE BM@N EXPERIMENT AT THE NUCLOTRON

V. A. Plotnikov for the BM@N Collaboration

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia
E-mail: vplotnikov@jinr.ru

First physics results of the BM@N experiment at the Nuclotron/NICA complex are presented on π^+ and K^+ meson production in interactions of an argon beam with fixed targets of C, Al, Cu, Sn and Pb at 3.2 AGeV. Transverse momentum distributions, rapidity spectra and multiplicities of π^+ and K^+ mesons are measured. The results are compared with predictions of theoretical models and with other measurements at lower energies.

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГИПЕРОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ BM@N

Р. К. Барак^{1,2}, С. П. Мерц²

¹НИЯУ МИФИ, г. Дубна, Московская обл., 141980, +79957578761, rbarak@jinr.ru

²ЛФВЭ ОИЯИ, г. Дубна, Московская обл., 141980, +79996756755, merts@jinr.ru

Релятивистские столкновения тяжелых ионов позволяют изучать ядерную материю в случаях экстремальной плотности и температуры. Во время таких столкновений ядерная материя нагревается и сжимается за очень короткий промежуток времени. При достаточно высоких температурах или в случае большей плотности адроны “плавятся”, а составляющие (кварки и глюоны) образуют так-называемую кварк-глюонную плазму (КГП). В физике высоких энергий рождение частиц с ненулевой странностью в релятивистских столкновениях тяжелых ионов является характерным признаком формирования кварк-глюонной плазмы (КГП) [1, 2]. Данная работа сконцентрирована на исследовании вопроса восстановления параметров частиц с этой компонентой (гиперонов) в эксперименте BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) [3, 4]. Данный эксперимент реализуется в Объединенном институте ядерных исследований в подмосковном городе Дубна.

В феврале 2023 года завершился первый экспериментальный сеанс с пучком ксенона ($^{124}\text{Xe}^{54+}$) на установке BM@N. На данный момент идет процесс обработки данных и их подготовки к дальнейшему физическому анализу. Поэтому в работе для анализа рождения гиперонов использовались данные, полученные с помощью Монте-Карло генератора DCMSMM [5]. В работе было смоделировано 100000 событий, проведена реконструкция траекторий частиц и разработаны, и реализованы в программном пакете BmnRoot математические алгоритмы восстановления траекторий лямбда-гиперонов по каналу распада на протон и отрицательный пи-мезон. Похожая процедура была проделана для восстановления траекторий короткоживущих нейтральных каонов по каналу распада на положительный и отрицательный пи-мезоны. Алгоритм основан на переборе пар частиц с разными знаками, вычислении инвариантной массы и наложении ряда геометрических ограничений на параметры каждой пары.

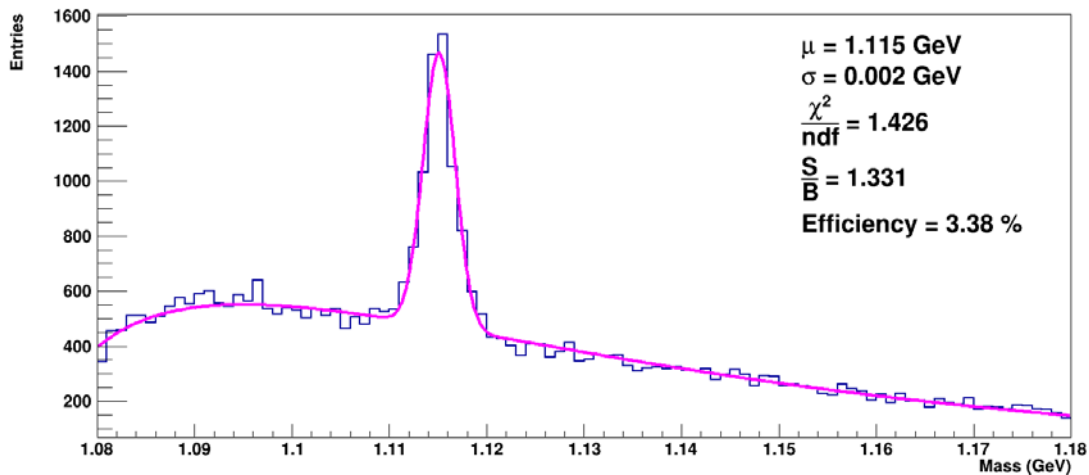


Рис. 1. Распределение по инвариантной массе пар протон — отрицательный пи-мезон. Фиолетовым цветом показана аппроксимация пика лямбда-гиперонов и фона суммой гауссовой функции и произведения радикальной функции и экспоненты.

На рис. 1 представлены массовые распределения пар протона и отрицательного пи-мезона. Наблюдается пик от лямбда-гиперонов, который был фитирован и извлечены масса (1.115 ГэВ) и ширина (2 МэВ), хорошо согласующиеся с теорией. Также были вычислены соотношение хи-квадрат/ количество степеней свободы, соотношение сигнал/шум и эффективность. Первое показывает, насколько хорошо нам удалось профитировать данное распределение, и составило 1.426, второе насколько хорошо выявлен сигнал по сравнению с фоном. Эффективность отражает количество лямбд составляющих окончательный сигнал по сравнению с общим количеством лямбд формирующихся в нашем процессе и составило 3.38 %.

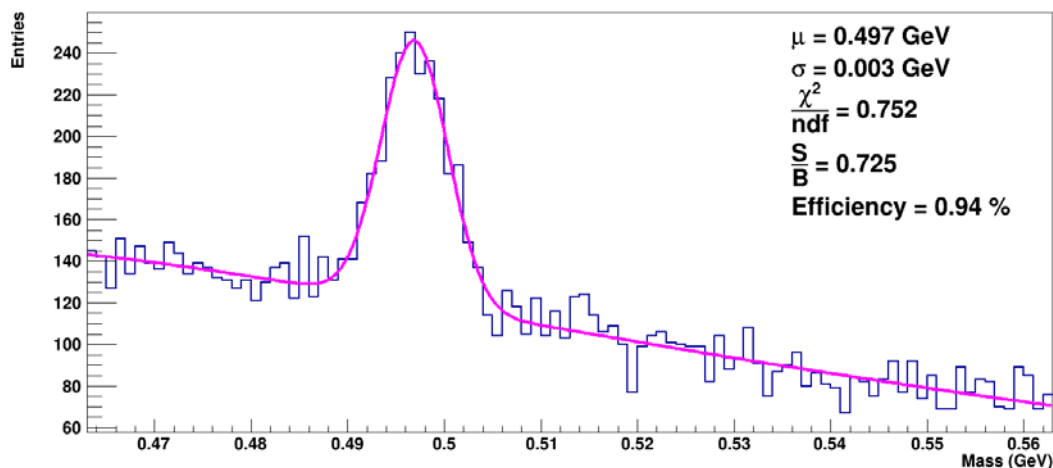


Рис. 2. Распределение по инвариантной массе пар положительный – отрицательный пи-мезон. Фиолетовым цветом показана аппроксимация пика каонов и фона суммой гауссовой функции и произведения радикальной функции и экспоненты.

На рис. 2 представлены массовые распределения пар положительного и отрицательного пи-мезона. Наблюдается пик от нейтральных каонов, который был фитирован и извлечены масса (0.497 ГэВ) и ширина (3 МэВ), хорошо согласующиеся с теорией. Также были вычислены соотношение хи-квадрат/ количество степеней свободы, соотношение сигнал/шум и эффективность, и составили 0.752, 0.725 и 0.94 %.

Был проведен анализ источников ухудшения массового распределения и показано, что размытие пучка вносит самый значимый отрицательный вклад в окончательный результат.

Список литературы

1. Colella, D. Strangeness production in p-Pb and Pb-Pb collisions with ALICE at LHC // Journal of Physics: Conference Series (2017).
2. Michal Petráň, Jean Letessier, Vojtěch Petráček, Johann Rafelski. Interpretation of strange hadron production at LHC// Journal of Physics: Conference Series (2014).
3. Kapishin M. Studies of baryonic matter at the BM@N experiment (JINR) // Nuclear Physics A 982 (2019) 967–970
4. Gornaya J., Kapishin M., Plotnikov V., Pokatashkin G., Rufanov I., Vasendina V., Zinchenko A. Hyperons at the BM@N experiment: first results // EPJ Web of Conferences 204, 0100 (2019).
5. Baznat M., Botvina A., Musulmanbekov G., Toneev V., Zhezher V. Monte-Carlo Generator of Heavy Ion Collisions DCM-SMM // Physics of Particles and Nuclei Letters 17, 3, 303-324 (2020).

STUDYING THE POSSIBILITY OF HYPERON RECONSTRUCTION IN THE BM@N EXPERIMENT

R. Barak ^{1,2}, S. P. Merts ²

¹NRNU MEPhI, Dubna, Moscow region, 141980, +79957578761, rbarak@jinr.ru

²VLHEP JINR, Dubna, Moscow region, 141980, +79996756755, merts@jinr.ru

Relativistic collisions of heavy ions enable the study of nuclear matter in cases of extreme density and temperature. During such collisions, nuclear matter heats up and contracts in a very short amount of time. At sufficiently high temperatures or in the case of a higher density, the hadrons “melt”, and the constituents (quarks and gluons) form the so-called quark-gluon plasma (QGP). In high energy physics, the production of particles with nonzero strangeness in relativistic collisions of heavy ions is a characteristic sign of the formation of a quark-gluon plasma (QGP) [1, 2]. This work is

focused on the problem of reconstructing the parameters of particles with this component (hyperons) in the BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) experiment [3, 4]. This experiment is being implemented at the Joint Institute for Nuclear Research in the city of Dubna near Moscow.

In February 2023, the first experimental run with a xenon beam (124Xe^{54+}) at the BM@N facility was completed. At the moment, the process of data processing and preparation for further physical analysis is taking place. Therefore, in this work, in order to analyze the production of hyperons, we used data obtained by employing the DCMSMM Monte Carlo generator [5]. 100,000 events were simulated, particle trajectories were reconstructed, and mathematical algorithms for reconstructing lambda hyperon trajectories along the decay channel into a proton and a negative pi-meson were developed and implemented in the BmnRoot software package. A similar procedure was carried out to reconstruct the trajectories of short-lived neutral kaons along the decay channel into positive and negative pi-mesons. The algorithm is based on enumerating pairs of particles with different signs, calculating the invariant mass, and imposing a number of geometric restrictions on the parameters of each pair.

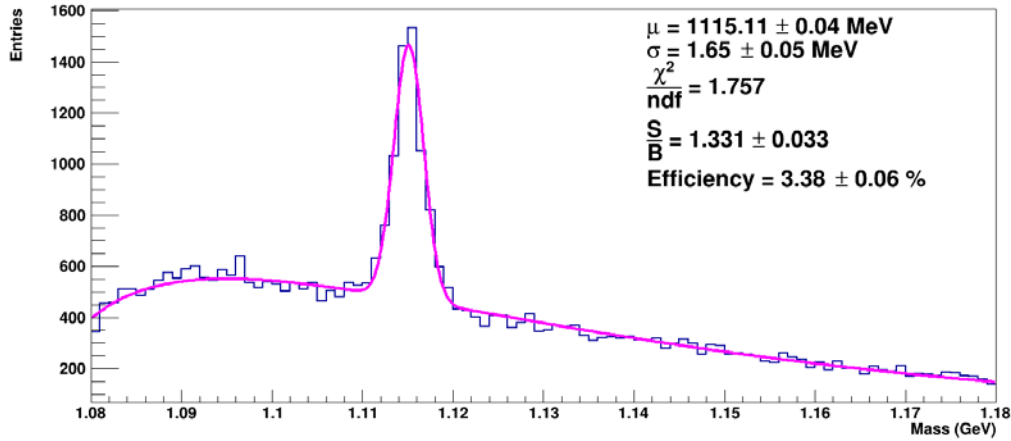


Fig. 1: Invariant mass distribution of proton-negative pi-meson pairs. The purple color shows the approximation of the lambda hyperon peak and the background by the sum of the Gaussian function and the product of a radical function and an exponential.

Fig. 1 shows the mass distributions of proton and negative pi-meson pairs. A peak from lambda hyperons is observed, which was fitted and from which the mass (1115.11 ± 0.04 MeV) and width (1.65 ± 0.05 MeV) were extracted. Both values are in good agreement with theoretical predictions. The chi-square /number of degrees of freedom ratio, signal-to-noise ratio, and efficiency were also calculated. The first shows how well we managed to fit the given distribution, and amounted to 1.757, while the second shows how well the signal was detected compared to the background, and amounted to 1.331 ± 0.033 . The efficiency reflects the number of lambdas that make up the final signal compared to the total number of lambdas formed in our process, and amounted to 3.38 ± 0.06 %.

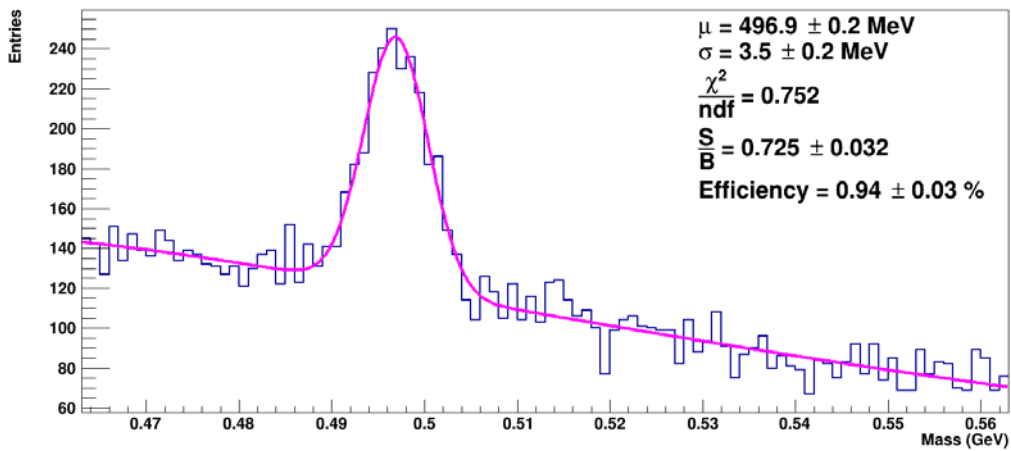


Fig. 2: Invariant mass distribution of positive-negative pi-meson pairs. The purple color shows the approximation of the kaon peak and background by the sum of the Gaussian function and the product of a radical function and an exponential.

Fig. 2 shows the mass distributions of pairs of positive and negative pi-mesons. A peak from neutral kaons is observed, which was fitted and from which the mass (496.9 ± 0.2 MeV) and width (3.5 ± 0.2 MeV) were extracted. Once again both values are in good agreement with theoretical predictions. Chi-square ratio/number of degrees of freedom, signal-to-noise ratio and efficiency were also calculated and had the following values respectively 0.752 , 0.725 ± 0.032 and 0.94 ± 0.03 %.

An analysis of the sources of deterioration of the mass distribution was carried out and it was shown that the blurring of the beam is responsible for the most significant negative contribution to the final result.

References

1. Colella, D. Strangeness production in p-Pb and Pb-Pb collisions with ALICE at LHC// Journal of Physics: Conference Series (2017).
2. Michal Petráň, Jean Letessier, Vojtěch Petráček, Johann Rafelski. Interpretation of strange hadron production at LHC// Journal of Physics: Conference Series (2014).
3. Kapishin M. Studies of baryonic matter at the BM@N experiment (JINR) // Nuclear Physics A 982 (2019) 967–970.
4. Gornaya J., Kapishin M., Plotnikov V., Pokatashkin G., RUFANOV I., Vasendina V., Zinchenko A. Hyperons at the BM@N experiment: first results // EPJ Web of Conferences 204, 0100 (2019).
5. Baznat M., Botvina A., Musulmanbekov G., Toneev V., Zhezher V. Monte-Carlo Generator of Heavy Ion Collisions DCM-SMM // Physics of Particles and Nuclei Letters 17, 3, 303-324 (2020).

PROTON AND KAON CUMULANT RATIOS AS FUNCTIONS OF COLLISION ENERGY IN RELATIVISTIC HEAVY-ION COLLISIONS

R. García Formentí, A. Ayala, E. Cuautle, R. Guzmán, W. Bietenholz

National Autonomous University of Mexico (UNAM).
Av. Universidad 3004, Copilco Universidad, Coyoacán, 04510 Mexico City, CDMX

The properties of QCD matter in the high-baryon density domain have become a very active field of research in connection with the study of the phase diagram, deep into the region of large baryon chemical potential. In heavy-ion collisions, this is accomplished by varying the collision energy and by means of the collision energy-dependent fluctuation measurements of conserved charges. Good proxies for baryon and strangeness numbers are the net proton and net kaon measurements. Fluctuations of these conserved charges are quantified in terms of high order cumulant ratios. In particular, the ratios $C3/C2$ and $C4/C2$ of the net proton multiplicity have proved to be sensitive to the emergence of critical behavior. In this work we show results of simulation using the UrQMD event generator, exploring the NICA energy range, and comparing with available experimental results of RHIC.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОСТИ СТОЛКНОВЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ BM@N

И. В. Сегаль, Д. М. Идрисов, П. Е. Парфенов, А. В. Тараненко, М. В. Мамаев
для Коллаборации BM@N

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Адрес: 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31, Тел.: + 7 (495) 788 56 99, Факс: +7 499 324-2111, e-mail: ilya.segal.97@gmail.com

Центральность – важная величина при изучении сильно взаимодействующей материи, образующейся при столкновении тяжелых ионов, эволюция которой зависит от ее начальной геометрии. Экспериментально столкновения можно характеризовать измеренными множест-

венностью или энергией образовавшихся частиц или фрагментов спектаторов. Связь между геометрией столкновения и экспериментально измеренной множественностью обычно оценивается в рамках подхода Монте-Карло Глаубера.

Мы представим методы определения центральности в столкновениях тяжелых ионов в эксперименте Барионная Материя на Нуклотроне (BM@N). Множественность заряженных адронов измеряется детекторами установки BM@N Кремниевая Трековая Система (STS) и Газовый Электронный Умножитель (GEM) и связывается с параметрами геометрии столкновений с использованием модели Монте-Карло Глаубера. Энергия фрагментов спектаторов оценивается с помощью детекторов BM@N Передний Адронный Калориметр (FHCAL) и Годоскоп. Мы рассмотрим разрабатываемые процедуры для определения центральности на основе детекторов спектаторов. Мы также коснемся первого результата определения центральности экспериментальными данными BM@N run8.

METHODS FOR CENTRALITY DETERMINATION IN HEAVY-ION COLLISIONS WITH THE BM@N EXPERIMENT

**I. Segal, D. Idrisov, P. Parfenov, A. Taranenko, M. Mamaev
for the BM@N Collaboration**

National Research Nuclear University “MEPhI”, Address: 31, Kashirskoe Highway, Moscow, 115409
Russia, Tel.: + 7 (495) 788 56 99, E-mail: ilya.segal.97@gmail.com

Centrality is an important concept in the study of strongly interacting matter created in a heavy-ion collision whose evolution depends on its initial geometry. Experimentally collisions can be characterized by the measured multiplicities or energy of produced particles or spectator fragments. Relation between collision geometry and experimentally measured multiplicities is commonly evaluated within the Monte-Carlo Glauber approach.

We will present methods for centrality determination in heavy-ion collisions with the Baryonic Matter at Nuclotron (BM@N) experiment. The multiplicity of charged hadrons is provided by the BM@N Silicon Tracking System (STS) and Gaseous Electron Multiplier (GEM) detectors and connected to collision geometry parameters using the Monte-Carlo Glauber model. The energy of projectile spectator fragments is estimated with the BM@N Forward Hadron Calorimeter (FHCAL) and Hodoscope detectors. We will discuss developed procedures for centrality determination based on spectator detectors. We will also touch the first result of centrality determination with the BM@N run8 experimental data.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ФАКТОРОВ ЯДЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ЭТА-МЕЗОНОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ He+Au ПРИ ЭНЕРГИИ 200 ГэВ

**А. Д. Селезнев¹, Е. В. Банников, М. М. Митранкова, А. Я. Бердников,
Я. А. Бердников, Д. О. Котов, Д. М. Ларионова, Ю. М. Митранков**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ),
ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251, 8 (800) 707-18-99,
selezenev.ad@edu.spbstu.ru1

Кварк-глюонная плазма (КГП) на данный момент является основным объектом изучения физиков на экспериментах по столкновению тяжелых ионов. Такой интерес обусловлен природой КГП и её необычными свойствами: КГП – особое квазибесцветное состояние вещества, при котором кварки практически не взаимодействуют друг с другом. Считается, что вещество ранней Вселенной находилось в состоянии КГП. КГП образуется при крайне больших плотностях энергии, которые достижимы на современных ускорителях тяжелых ионов. Таким образом, при помощи ускорительных комплексов появляется возможность изучения ранней Вселенной.

Напрямую изучение КГП невозможно, однако её наличие обуславливается некоторыми коллективными эффектами. Одним из таких эффектов является эффект гашения струй. Эффект гашения струй заключается в подавлении выходов частиц в столкновениях тяжелых ионов по сравнению с нормированными на $N_{\text{столкн}}$ (число попарных нуклонных столкновений) выходами частиц в столкновениях $p+p$. Количественная характеристика эффекта гашения струй – факторы ядерной модификации R_{AB} , которые равны отношениям выходов частиц в столкновениях тяжелых ядер к нормированным выходам частиц в $p+p$ столкновениях.

Впервые образование КГП было обнаружено в столкновениях $Au+Au$, и сопровождалось сильным подавлением выходов частиц в центральных взаимодействиях ядер ($R_{AB} \approx 0,4$). Учитывая, что образование КГП в $p+p$ столкновениях обнаружено не было, большой интерес представляют «промежуточные системы», такие как $^3\text{He}+Au$. В данной работе изучается возможное подавление выходов частиц в системе $^3\text{He}+Au$ на примере эта-мезона через моду распада $\eta \rightarrow \gamma\gamma$. В докладе будут представлены результаты измерений инвариантных спектров по поперечному импульсу эта-мезонов и результаты вычислений факторов ядерной модификации эта-мезонов.

CALCULATION OF NUCLEAR MODIFICATION FACTORS OF ETA-MESONS IN He+Au COLLISIONS AT 200 GeV

**A. D. Selezenev¹, E. V. Bannikov, M. M. Mitrankova, A. Ya. Berdnikov, Ya. A. Berdnikov,
D. O. Kotov, D. M. Larionova, Yu. M. Mitrankov**

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU), Russia, 195251, St. Petersburg,
Polytechnicheskaya, 29, 8 (800) 707-18-99, selezenev.ad@edu.spbstu.ru1

Currently, quark-gluon plasma is one of the main objects of study in heavy ion collisions. Such big interest is due to the nature of QGP and its unusual properties: QGP is a special quasi-colorless state of matter in which there is almost no interaction between quarks. Many physicists suggest, that early matter of Universe was in the state of QGP. QGP is formed at very high energy densities, such energies can be achieved in modern heavy ion accelerators. Thus, early Universe matter can be studied using large accelerator complexes.

Direct study of QGP is impossible, but its presence comes with some collective effects. One of those effects is jet quenching effect. Jet quenching is suppression of particle yields in heavy ion collisions with respect to normalized to N_{coll} (number of binary nucleon collisions) particle yields in $p+p$ collisions. Quantitative characteristics of jet quenching are nuclear modification factors R_{AB} which are equal to ratios of particle yields in heavy ion collisions to normalized particle yields in $p+p$ collisions.

The formation of QGP was first discovered in $Au+Au$ collisions and was accompanied by strong suppression of particle yields in central ion interactions ($R_{AB} \approx 0,4$). Considering QGP formation was not found in $p+p$ collisions, intermediate collision systems, such as $^3\text{He}+Au$, are of great interest. This work is dedicated to studying particle yields suppression in $^3\text{He}+Au$ collisions using eta-mesons production through decay channel $\eta \rightarrow \gamma\gamma$. This report presents results of measurements of invariant transverse momentum spectra of eta-mesons and results of calculation of nuclear modification factors of eta-mesons.

ЗАХВАТ ПРОТОНАМИ ЭЛЕКТРОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

С. В. Семенов, Р. У. Хафизов

Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»
123182, пл. Академика Курчатова,1, Москва, Россия
Тел. +7 499 196 96 37, e-mail: Semenov_SV@nrcki.ru

Проведен расчет сечения слабого взаимодействия высокоэнергетичных электронов с протонами. Вычисления велись на основе Стандартной Модели. Показано, что сечение захвата протонами электронов с энергией 1 ГэВ, имеет порядок 10^{-38} см^2 , что, например, на 6 порядков выше сечения захвата реакторных антинейтрино протонами. Обсуждаются возможные экспериментальные приложения рассматриваемого процесса.

CAPTURE OF PROTONS BY HIGH-ENERGY ELECTRONS

S. V. Semenov, R. U. Khafizov

National Research Centre «Kurchatov Institute»
123182, Academician Kurchatov Sq., 1, Moscow, Russia
Tel. +7 499 196 96 37, e-mail: Semenov_SV@nrcki.ru

Calculations of weak interaction cross section between protons and high energy electrons have been performed. Computations were produced on the base of the Standard Model. It is shown, that the capture cross section of GeV – electrons by protons has an order of 10^{-38} cm², what, for example, is six orders higher, than the cross section of reactor antineutrino capture by protons. Possible experimental applications of considered process are discussed.

СЕЧЕНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ НЕЙТРИНО ЯДРАМИ ¹⁰⁰Mo

С. В. Семенов

Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»
123182, пл. Академика Курчатова, 1, Москва, Россия
Тел. +7 499 196 96 37, e-mail: Semenov_SV@nrcki.ru

Изотоп молибден-100 широко применяется в исследованиях по двойному бета-распаду [1], а также, благодаря низкому значению порога реакции захвата нейтрино, рассматривается как перспективный материал для создания нейтринных детекторов [2–4]. Для расчета сечения поглощения нейтрино необходимо найти Гамов-Теллеровскую силу перехода BGT на основное 1^+ – состояние ядра ¹⁰⁰Tc. В настоящее время существует два подхода к решению этой задачи – определение BGT из реакции перезарядки, где получен результат BGT = 0.38 [5] и из интенсивности электронного захвата в технеции-100 [6], что приводит к значению BGT = 0.6. Экспериментальные данные по двухнейтринному двойному бета-распаду ¹⁰⁰Mo [1], где проявляется механизм доминантности основного промежуточного ядра [7], говорят в пользу значения BGT = 0.6. В докладе предложен метод определения Гамов-Теллеровской силы, основанный на поглощении молибденом-100, содержащимся в сцинтиллирующих кристаллах, нейтринного излучения от искусственных источников ⁵¹Cr, ³⁷Ar, ⁶⁵Zn. Рассчитано сечения захвата нейтрино, обсуждаются параметры экспериментальной установки.

Список литературы

1. R. Arnold et al, Eur. Phys. J., V. 79, P. 440 (2019).
2. S. V. Semenov, Yu. V. Gaponov, R. U. Khafizov. Ядерная физика Том 61, № 8, С. 1379 (1998).
3. L. V. Inzhechik, Yu. V. Gaponov, S. V. Semenov. Ядерная физика Том 61, № 8, № 8, С. 1384 (1998).
4. H. Ejiri et al, Phys. Rev. Lett., V. 85, P. 2017 (2000).
5. H. Ejiri, J. Engel, N. Kudomi, Phys. Lett. B, V. 530, 27 (2002).
6. J. H. Thies et al, Phys. Rev. C, V. 86 (2012).
7. S. K. L. Sjøe et al, Phys. Rev. C, V. 78 (2008).
8. S. V. Semenov, F. Šimković, P. Domin, Письма в ЭЧАЯ, №6[109], С. 26 (2001).
9. F. Šimković, P. Domin, S. V. Semenov, J. Phys. G, V.27, P. 2233 (2001).

CROSS SECTION OF NEUTRINO ABSORPTION BY ^{100}Mo NUCLEI

S. V. Semenov

National Research Centre «Kurchatov Institute»
123182, Academician Kurchatov Sq., 1, Moscow, Russia
Tel. +7 499 196 96 37, e-mail: Semenov_SV@nrcki.ru

Isotope molybdenum-100 is widely used in investigations on double beta-decay [1], and also due to low energy threshold of neutrino capture reaction it is considered as perspective material for neutrino detectors [2–4]. In order to calculate neutrino absorption cross section it is necessary to find out Gamow-Teller strength BGT of transition on the 1^+ – ground state of ^{100}Tc nucleus. Nowadays two approaches to solution of this problem are present – evaluation of BGT from charge-exchange reaction, where result $\text{BGT} = 0.38$ [5] have been obtained and from intensity of electron capture in technetium-100 [6], that leads to $\text{BGT}=0.6$. Experimental data on two-neutrino double beta decay of ^{100}Mo [1], where mechanism of intermediate nucleus ground state dominance become manifest are in favor of $\text{BGT}=0.6$ value. Method of Gamow-Teller strength determination, based on absorption of neutrino emitted by artificial sources by molybdenum-100, enclosed in scintillating crystals is proposed. Cross section of absorption of ^{51}Cr , ^{37}Ar , ^{65}Zn neutrino emission by ^{100}Mo is calculated. The parameters of experimental setup are being discussed.

References

1. R. Arnold et al, Eur. Phys. J., V. 79, P. 440 (2019).
2. S. V. Semenov, Yu. V. Gaponov, R. U. Khafizov Yad. Fiz., V. 61, № 8, P. 1379 (1998).
3. L. V. Inzhechik, Yu. V. Gaponov, S. V. Semenov, Yad. Fiz., V. 61, № 8, P. 1384 (1998).
4. H. Ejiri et al, Phys. Rev. Lett., V. 85, P. 2017 (2000).
5. H. Ejiri, J. Engel, N. Kudomi, Phys. Lett. B, V. 530, 27 (2002).
6. J. H. Thies et al, Phys. Rev. C, V. 86 (2012).
7. S.K.L. Sjøe et al, Phys. Rev. C, V. 78 (2008).
8. S. V. Semenov, F. Šimkovic, P. Domin, Pis'ma Phiz. Elem. Chastits At. Yadra, No. 6, P. 26 (2001).
9. S. V. Semenov, F. Šimkovic, P. Domin, J. Phys. G, V.27, P. 2233 (2001).

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВРЕМЕНИПОДОБНЫМ ФОРМФАКТОРАМ НЕЙТРОНА И ПРОТОНА В ПОРОГОВОЙ ОБЛАСТИ

С. И. Середняков

Институт Ядерной физики им. Г. И. Будкера, 630090, г. Новосибирск,
тел. 8(383)330-6031, Fax 8(383)330-7163, e-mail inp@inp.nsk.su

В эксперименте на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 [1] с детектором СНД [2] изучались процессы рождения пар нейтрон+антинейтрон ($n+\bar{n}$) и протон+антипротон ($p+\bar{p}$). Измерения проводились методом сканирования энергетического интервала от порога рождения нуклонов до максимальной энергии коллайдера 2 ГэВ в с.ц.м. Интегральная светимость в эксперименте составила около 100 обратных пб, что соответствует рождению около 50000 событий нуклон-антинуклон. Для выделения искоемых событий и подавления фона были разработаны условия отбора по всем основным системам детектора СНД – трековой системе, Черенковскому счетчику, электромагнитному калориметру и мюонному детектору. Эффективность регистрации при анализе данных варьируется в пределах 15–40 %. Радиационные поправки вдали от порога составляют 95 % и достигают 50–60 % близко к порогу. Измеренное сечение процесса $e+e \rightarrow n+\bar{n}$ составляет около 0.5 нб. Для процесса $e+e \rightarrow p+\bar{p}$ сечение меняется от 0.1 нб на пороге до 0.8 нб с ростом энергии. Эффективный электромагнитный формфактор является множителем в сечении процесса. В измеряемом интервале энергии формфактор нейтрона ниже, чем у протона и падает с энергией по величине

от 0.5 до 0.2. Измеренное сечение процесса $e^+e^- \rightarrow n + \text{anti-}n$ согласуется с нашим предыдущим измерением [3] с меньшей светимостью. При максимальной энергии 2 ГэВ данные СНД по сечениям и формфакторам стыкуются с данными детектора BESIII [4].

Список литературы

1. P. Yu. Shatunov et al., Part. Nucl. Lett. 13, 995(2016).
2. M. N. Achasov et al., Nucl. Instr. Meth. A 449, 125(2000).
3. M. N. Achasov et al., Eur. Phys. Journ. C (2022) 82:161.
4. M. Ablikim et al., Nature Physics 17, 1200(2021).

NEW DATA ON THE ELECTROMAGNETIC TIMELIKE FORMFACTORS OF THE NEUTRON AND PROTON IN THE THRESHOLD REGION

S. I. Serednyakov

Budker Institute of Nuclear Physics, 630090, Novosibirsk,
tel. 8(383)330-6031, Fax 8(383)330-7163, e-mail inp@inp.nsk.su

In an experiment at the VEPP-2000 electron-positron collider [1] with the SND detector [2], the processes of production of neutron + antineutron ($n + \text{anti-}n$) and proton + antiproton ($p + \text{anti-}p$) pairs were studied. The measurements were carried out by scanning the available energy range from the nucleon threshold to the maximum collider energy of 2 GeV in cms. The integrated luminosity in the experiment was about 100 inverse pb, which corresponds to the production of about 50,000 nucleon-antinucleon events. To select the desired events and suppress the background, selection conditions were developed for all the main systems of the SND detector - the tracking system, the Cherenkov counter, the electromagnetic calorimeter, and the muon detector. The efficiency of registration in data analysis varies between 15-40%. Radiative corrections far from the threshold are 95% and reach 50-60% close to the threshold. The measured cross section of the $e^+e^- \rightarrow n + \text{anti-}n$ process is about 0.5 nb and agrees with our earlier measurement [3]. For the $e^+e^- \rightarrow p + \text{anti-}p$ process, the cross section changes from 0.1 nb at the threshold to 0.8 nb with increasing energy. The effective electromagnetic form factor is a multiplier in the process cross section. In the measured energy interval, the form factor of the neutron is lower than that of the proton and falls with the energy of 0.5 to 0.2. At a maximum energy of 2 GeV, the SND data on the cross section and formfactors are matched with the data of the BESIII detector [4].

References

1. P. Yu. Shatunov et al., Part. Nucl. Lett. 13, 995(2016).
2. M. N. Achasov et al., Nucl. Instr. Meth. A 449, 125(2000).
3. M. N. Achasov et al., Eur. Phys. Journ. C (2022) 82:161.
4. M. Ablikim et al., Nature Physics 17, 1200(2021).

СТАТУС ЭКСПЕРИМЕНТА PRIMEX-D ПО ПРЕЦИЗИОННОМУ ИЗМЕРЕНИЮ ШИРИНЫ РАСПАДА $\eta \rightarrow \gamma\gamma$

В. В. Тарасов для коллабораций PrimEx-D и GlueX

НИЦ “Курчатовский институт”, Москва, 123192

Точное измерение ширины распада $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ необходимо для определения фундаментальных параметров КХД, таких как отношение масс легких кварков, угол смешивания η - η' , и изучения нарушения киральной симметрии. Точное, на уровне 3%, измерение ширины распада $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ позволит пропорционально уменьшить неопределенности в ширине остальных мод

распада эта-мезона, а также устранить существующее расхождение в результатах между коллайдерными и примаковскими экспериментами.

В 2022 году, в лаборатории TJNAF, успешно выполнена завершающая часть набора статистики эксперимента. В своем выступлении я расскажу о текущем состоянии анализа экспериментальных данных.

STATUS REPORT OF THE PrimEx-D EXPERIMENT AT JEFFERSON LAB ON PRECISION MEASUREMENTS OF THE $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ DECAY WIDTH

V. V. Tarasov for PrimEx-D and GlueX collaborations

National Research Centre «Kurchatov Institute» (NRC «Kurchatov Institute»),
Moscow, Russia, 123192

Precision measurement of the $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ decay width is essential for determining the fundamental parameters of QCD, such as the mass ratio of light quarks, the mixing angle η - η' , and studying the chiral symmetry breaking. Accurate, at the level of 3%, measurement of the $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ decay width will make it possible to proportionally reduce the uncertainties in the width of the remaining eta-meson decay modes, as well as resolve the existing discrepancy in the results between the collider and Primakoff experiments. In 2022, the final part of the experimental data-taking has been successfully finished. In my talk, I will update on the current status of the experimental data analysis.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА НАПРАВЛЕННОГО И ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ПОТОКА ДЛЯ $BIBI@9.2$ ГЭВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ MPD

В. В. Трошин

Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ,
115409, Москва, Каширское ш., 31, +7 495 788 5699, +7 499 324 7777, info@mephi.ru

Изучение свойств ядерной материи в области максимальной барионной плотности является одной из основных целей эксперимента MPD на будущей установке NICA. Среди важных наблюдаемых в этом исследовании – анизотропия импульса относительно плоскости реакции, характеризуемая коэффициентами анизотропного поперечного потока. Эта работа посвящена изучению различных методов анализа направленного и эллиптического потоков, таких как метод плоскости события, метод скалярных произведений, расчет по кумулянтам и метод смешанных гармоник. Исследование основано на моделировании столкновений $Bi+Bi$ при энергии 9,2 ГэВ методом Монте-Карло, полученном с помощью генератора событий UrQMD с реалистичным откликом детектора MPD, смоделированным с помощью GEANT4.

METHODS COMPARISON FOR DIRECTED AND ELLIPTICAL FLOW ANALYSIS FOR BIBI@9.2GEV WITH THE MPD EXPERIMENT

V. Troshin

National Research Nuclear University MEPhI, 115409, Москва, Каширское ш., 31,
+7 495 788 5699, +7 499 324 7777 , info@mephi.ru

Studying the properties of nuclear matter in the region of the maximum baryonic density is one of the main goals of the Multi Purpose Detector (MPD) experiment at the future NICA facility. Among the important observables in this study is momentum anisotropy relative to collision reaction

plane, characterised by anisotropic transverse flow coefficients. This work addresses the study of different methods for directed and elliptical flow analysis such as event plane, scalar product, cumulant and mixed-harmonic methods. The study is based on Monte Carlo simulations of Bi+Bi collisions at 9.2 GeV produced with the UrQMD event generator with realistic MPD detector response simulated with GEANT4.

ОПИСАНИЕ ПОСЛЕДНИХ ДАННЫХ HADES КОЛЛАБОРАЦИИ О ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ π^- МЕЗОНОВ С ЯДРАМИ C и W ПРИ ЭНЕРГИИ 1.7 ГэВ В МОДЕЛЯХ Geant4

В. В. Ужинский¹, А. С. Галоян²

- 1) Лаборатория информационных технологий, Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Московская обл., 141980, Россия
- 2) Лаборатория физики высоких энергий, Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Московская обл., 141980, Россия

Недавно коллаборация HADES опубликовала экспериментальные данные о взаимодействиях, указанных в названии. А именно, распределения π^+ и π^- мезонов, протонов, Λ гиперонов и K мезонов по быстрой и поперечным импульсам. Коллаборация сравнила свои данные с предсказаниями теоретических моделей – GiBUU и SMASH. В настоящей работе представлены предсказания адронных моделей пакета Geant4 для этих данных. Пакет программ Geant4 позволяет моделировать взаимодействия и прохождение различных частиц в различных материалах. Поэтому он широко используется при разработке экспериментов в физике частиц и для моделирования реакций детекторов на частицы. Пакет включает три модели внутриядерного каскада: модель внутриядерного каскада Бертини (BERT), бинарного каскада (BIN) и модель внутриядерного каскада Леже (INCL). Из высокоэнергетических моделей Geant4 рассматривается только модель Fritiof (FTF).

Показано, что предсказания GiBUU и BERT близки друг к другу и к экспериментальным данным. Также близки предсказания SMASH и BIN. Однако эти предсказания имеют меньшую точность. Более сложная ситуация имеет место с моделями INCL и FTF. Представленные детальные расчеты позволяют определить направление дальнейшего усовершенствования моделей.

DESCRIPTION OF THE LATEST DATA BY THE HADES COLLABORATION ON π^- MESON INTERACTIONS WITH C AND W NUCLEI AT THE ENERGY 1.7 GeV IN GEANT4 MODELS

V. V. Uzhinsky¹, A. S. Galoyan²

- 1) Laboratory of information technologies, Joint institute for nuclear research, Dubna, Moscow reg. 141980, Russia
- 2) Laboratory of high energy physics, Joint institute for nuclear research, Dubna, Moscow reg. 141980, Russia

Recently, the HADES collaboration has published experimental data on the interactions pointed in the title. Namely, there were distributions of π^+ and π^- mesons, protons, Λ hyperons and K mesons on rapidities and transvers momenta. The collaboration compared their data with predictions of theoretical models – GiBUU and SMASH. Predictions of Geant4 hadronic models for the data are presented in the paper. The Geant4 package allows to simulate interactions and penetrations of various particles in various materials. Thus, it is widely used at design of experiments in particle physics and at simulations of detector responses for the particles. The package includes three intra-nuclear cascade models: the Bertini intra-nuclear cascade model (BERT), the binary cascade model (BIN) and the

Liège intranuclear cascade model (INCL). Only the Fritiof model (FTF) among Geant4 high energy models is considered.

It is shown that predictions of GiBUU and BERT are close to each other and to the experimental data. Predictions of SHMASH and BIN are also close. However, the last predictions are less accurate. More complicated situation takes place with INCL and FTF models. Presented detailed calculations allow to determine a direction of further improvements of the models.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО С ЯДРАМИ ТЕЛЛУРА 128 И 130

Ю. С. Лютостанский¹, А. Н. Фазлиахметов^{1,2,3}, Б. К. Лубсандоржиев²,
Н. А. Белогорцева¹, Г. А. Коротеев^{1,2,3}, А. Ю. Лютостанский¹, В. Н. Тихонов¹

¹Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, 123182 Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1, +7 (499) 196–95–39, nrcki@nrcki.ru.

²Институт ядерных исследований Российской Академии наук, 117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а., 8(499)135-77-60, inr@inr.ru.

³Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет), 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9, +7 (495) 408-42-54, info@phystech.edu.

Для моделирования процессов взаимодействия нейтрино с атомными ядрами необходимо рассчитывать структуру зарядово-обменной силовой функции $S(E)$. Силовая функция $S(E)$ имеет резонансный характер, который наблюдается практически во всех реакциях перезарядки [1–3] и проявляется, в основном, в виде гигантского гамов-теллеровского резонанса (GTR), аналогового резонанса и низколежащих пикм резонансов (PR). Резонансный характер зарядово-обменной силовой функции $S(E)$ может существенно влиять на результаты теоретических расчетов сечений реакций захвата нейтрино атомными ядрами $\sigma(E_\nu)$ [4,5].

В работе представлены зарядово-обменные силовые функции $S(E)$ изотопов $^{128,130}\text{Te}$. Проанализированы, как экспериментальные данные по силовым функциям $S(E)$, полученные в реакциях (^3He , t) [6], так и силовые функции $S(E)$, рассчитанные в микроскопической теории конечных Ферми-систем [7]. Исследована резонансная структура силовой функции $S(E)$, выделены гамов-теллеровский и пикм-резонансы. Исследовалось влияние резонансной структуры $S(E)$ на рассчитываемое сечение захвата солнечных нейтрино $\sigma(E_\nu)$ и на скорость захвата солнечных нейтрино R (число поглощенных нейтрино за единицу времени). Отмечено, что резонансная структура силовой функции $S(E)$ имеет определяющее значение для расчета и анализа процесса захвата нейтрино атомными ядрами.

Обсуждается также возможность использования этих изотопов теллура в нейтринных экспериментах следующего поколения, в частности, в проекте Большого баксанского нейтринного телескопа [8].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90059/20 и при поддержке гранта Отделения нейтринных процессов НИЦ “Курчатовский институт”.

Список литературы

1. D. Frekers and M. Alanssari, Eur. Phys. J. A 54 (2018) 177.
2. Yu. S. Lutostansky, EPJ Web Conf. 194 (2018) 02009.
3. Yu. S. Lutostansky, Phys. At. Nucl. 82 (2019) 528.
4. Yu. S. Lutostansky, V. N. Tikhonov, Phys. At. Nucl. 81 (2018) 540.
5. Yu. S. Lutostansky, A. P. Osipenko, V. N. Tikhonov, Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 83 (2019) 488.
6. P. Puppe et al., Phys. Rev. C 86, 044603 (2012).
7. A. B. Migdal, Theory of Finite Fermi Systems and Applications to Atomic Nuclei (Nauka, Moscow, 1983, 2nd ed.; Interscience, New York, 1967, transl 1st ed.).
8. N. Ushakov et al., PoS ICRC2021 1188 (2021).

INTERACTION OF SOLAR NEUTRINOS WITH TELLURIUM 128 AND 130 NUCLEI

**Yu. S. Lutostansky¹, A. N. Fazliakhmetov^{1,2,3}, B. K. Lubsandorzhev²,
N. A. Belogortseva¹, G. A. Koroteev^{1,2,3}, A. Yu. Lutostansky¹, V. N. Tikhonov¹**

¹National Research Center Kurchatov Institute, 1 Kurchatov Square, 123182 Moscow,
+7 (499) 196-95-39, nrcki@nrcki.ru.

²Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences, prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a,
Moscow 117312, 8(499)135-77-60, inr@inr.ru.

³Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), 9 Institutskiy per.,
Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russian Federation, +7 (495) 408-42-54, info@phystech.edu.

For modeling the processes of interaction of neutrinos with atomic nuclei, it is necessary to calculate the structure of the charge-exchange strength function $S(E)$. The strength function $S(E)$ has a resonance nature, which is observed practically in all charge-exchange reactions [1–3] and appears mainly as a giant Gamow-Teller resonance (GTR), analog resonance (AR), and low-lying pigmy resonances (PR). The resonance nature of the charge-exchange strength function $S(E)$ can significantly affect the results of theoretical calculations of neutrino capture cross-sections by atomic nuclei $\sigma(E_\nu)$ [4, 5].

This work presents the charge-exchange strength functions $S(E)$ of isotopes ^{128}Te and ^{130}Te . Both experimental data on the charge-exchange strength functions $S(E)$ obtained in $(^3\text{He}, t)$ reactions [6] and the $S(E)$ strength functions calculated in the microscopic theory of finite Fermi-systems [7] are analyzed. The resonance structure of the strength function $S(E)$ is investigated, and the Gamow-Teller, analog and pigmy resonances are distinguished. The effect of the resonance structure $S(E)$ on the calculated solar neutrino capture cross section $\sigma(E_\nu)$ and on the solar neutrino capture rate R (number of absorbed neutrinos per unit time) was studied. It is noted that the resonance structure of the strength function $S(E)$ is of decisive importance for the calculation and analysis of the process of neutrino capture by atomic nuclei.

The possibility of using these tellurium isotopes in next-generation neutrino experiments is also discussed, in particular in the Baksan Large Neutrino Telescope project [8].

This work was supported by the grant from Russian Foundation for Basic Research (project No. 20-32-90059/20) and by the grant from the Department of Neutrino Processes at National Research Center “Kurchatov Institute”.

References

1. D. Frekers and M. Alanssari, Eur. Phys. J. A 54 (2018) 177.
2. Yu. S. Lutostansky, EPJ Web Conf. 194 (2018) 02009.
3. Yu. S. Lutostansky, Phys. At. Nucl. 82 (2019) 528.
4. Yu. S. Lutostansky, V. N. Tikhonov, Phys. At. Nucl. 81 (2018) 540.
5. Yu. S. Lutostansky, A. P. Osipenko, V. N. Tikhonov, Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 83 (2019) 488.
6. P. Puppe et al., Phys. Rev. C 86, 044603 (2012).
7. A. B. Migdal, Theory of Finite Fermi Systems and Applications to Atomic Nuclei (Nauka, Moscow, 1983, 2nd ed.; Interscience, New York, 1967, transl 1st ed.).
8. N. Ushakov et al., PoS ICRC2021 1188 (2021).

КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ ДЛЯ МЕХАНИЗМА КАЧЕЛЕЙ ТИПА I НЕМИНИМАЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ РАСШИРЕНИЯ СМ ТРЕМЯ ПОКОЛЕНИЯМИ ПРАВЫХ НЕЙТРИНО

М. Н. Дубинин, Е. Ю. Федотова

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991, Ленинские горы, 1, Москва, Россия
Тел.: +7 495 939 23 93
fedotova@theory.sinp.msu.ru

Расширение Стандартной Модели физики частиц (СМ) тремя поколениями тяжелых правых лептонов является наиболее естественным расширением СМ, поскольку восстанавливает симметрию между правыми и левыми нейтрино, не требует введения новых физических принципов и симметрий, может не содержать больших электрослабых энергетических масштабов, а также способно объяснить основные трудности СМ, к которым относятся наличие осцилляций нейтрино и их масс, наблюдение барионной асимметрии Вселенной, существование темной материи. В настоящее время теоретический анализ проводится в приближении $M_D \ll M_M$, где M_D , M_M – дираковская и майорановская матрицы нейтрино, соответственно. Однако механизм качелей типа I может реализовываться и при менее строгом условии, что приводит к необходимости учета дополнительных вкладов в представлении для наблюдаемых. В работе рассматривается неминимальное приближение механизма качелей типа I в модели с тремя тяжелыми лептонами, для которого получены соответствующие уточненные представления для эффективных массовых матриц в секторе нейтрино, представление для матрицы смешивания (характеризующей экспериментально анализируемый параметр смешивания), нетривиальное оригинальное требование для соответствующей параметризующей матрицы. Как правило, в рамках теоретического анализа выбор параметризующей матрицы произволен. В работе обсуждается классификация таких матриц и общие методы нахождения параметризующей матрицы в неминимальном приближении. В предположении, что один из тяжелых лептонов является частицей темной материи проанализированы существующие космологические и астрофизические ограничения в рамках стандартного и неминимального приближения механизма качелей типа I, даны оценки точности предсказаний в случае неминимального приближения, выявлены явления и модельные режимы, в которых учет дополнительных вкладов становится существенным.

COSMOLOGICAL CONSEQUENCES FOR THE NON-MINIMAL APPROXIMATION OF TYPE-I SEESAW IN THE SM EXTENSION BY THREE GENERATIONS OF RIGHT-HANDED NEUTRINOS

M. N. Dubinin, E. Yu. Fedotova

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University
119991, Leninskie gory, 1, Moscow, Russia
+7 495 939 23 93
fedotova@theory.sinp.msu.ru

The model with three generations of right-handed neutrino is the most natural extension of Standard Model of particle physics (SM) since it restores symmetry between right and left neutrinos, require no new physical principles and symmetries, and may not contain large electroweak energy scales. Besides, it can also explain the main difficulties of the SM, which include the presence of neutrino oscillations and their masses, the observation of the baryon asymmetry of the Universe, and the existence of dark matter (DM). Currently, the theoretical analysis is carried out in the approximation $M_D \ll M_M$, where M_D , M_M are Dirac and Majorana neutrino matrices, respectively.

However, the type-I seesaw mechanism can also be implemented under a less strict condition, which leads to take into account additional contributions to the representations for the observables. A non-minimal approximation of the type-I seesaw mechanism in a model with three heavy leptons is considered. We have obtained the corresponding representations for effective mass matrices in the neutrino sector, a representation for the mixing matrix, and a non-trivial original requirement for the corresponding parametrizing matrix. As a rule, the choice of a parametrizing matrix is arbitrary. The classification of such matrices and general methods for finding them in a non-minimal approximation are discussed. Assuming that one of the heavy leptons is a DM particle, the existing cosmological and astrophysical data within the framework of the standard and non-minimal approximation of the type-I seesaw are analyzed; estimates of the accuracy of predictions in the case of non-minimal approximation are given; phenomena and model regimes in which additional contributions become essential are specified.

НАРУШЕНИЕ СР-ИНВАРИАНТНОСТИ В ПРЕДЕЛЕ НАСТРОЙКИ СВЯЗЕЙ ХИГГСОВСКОГО СЕКТОРА ДДМ И МССМ

М. Н. Дубинин, Е. Ю. Федотова

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991, Ленинские горы, 1, Москва, Россия
Тел.: +7 495 939 23 93
fedotova@theory.sinp.msu.ru

Существующие экспериментальные данные свидетельствуют о том, что свойства наблюдаемого бозона Хиггса близки с предсказаниям Стандартной Модели физики частиц (СМ). Точность измерений констант связи наблюдаемого бозона Хиггса с частицами СМ, соответствующая на сегодняшний момент 5–33 %, непрерывно повышается. В частности, активно ведутся поиски эффектов, нарушающих СР-симметрию в секторе Хиггса, которые могли бы наблюдаться в расширениях СМ за счет наличия дополнительных источников СР-нарушения. Расширение сектора Хиггса дополнительным дублетом (ДДМ) после спонтанного нарушения электрослабой симметрии приводит к наличию пяти бозонов Хиггса: в случае СР-нарушения трех нейтральных упорядоченных по массе состояний h_1, h_2, h_3 и двух заряженных скаляров $H^\pm$. Обсуждаются различные возможности ассоциации наблюдаемого бозона Хиггса с одним из нейтральных скаляров, среди которых наиболее вероятным кандидатом считается h_1 . Константы связи h_1 с частицами СМ (y) должны при этом удовлетворять пределу настройки связей (alignment limit), согласно которому $u_{\text{ДДМ}} / u_{\text{СМ}} \approx 1$. Нарушение СР-инвариантности в хиггсовском секторе ДДМ [и ее частного случая – минимальной суперсимметрии (МССМ)] может быть обусловлено наличием комплексных констант связи в хиггсовском потенциале (явное нарушение) и/или наличием комплексных фаз разворота хиггсовских дублетов и вакуумных ожиданий (спонтанное нарушение). В рамках моделей ДДМ и МССМ в наиболее общем виде, а также в приближении разложения хиггсовского потенциала до операторов размерности «четыре» по полям получены соотношения, гарантирующие существование предела настройки связей. Установлено, что существуют две возможности реализации предела настройки связей: 1) наличие требования для углов смешивания в секторе Хиггса $\beta - \alpha \approx \pi / 2$, совпадающее со случаем СР-сохранения, с дополнительными условиями и 2) отсутствие предела отщепления, т. е. существование масс всех хиггсовских бозонов на электрослабой шкале. Численные оценки позволили выделить характерные режимы моделей и получить области пространства параметров, не противоречащие современным экспериментальным данным.

CP VIOLATION IN THE HIGGS ALIGNMENT LIMIT OF THE THDM AND MSSM

M. N. Dubinin, E. Yu. Fedotova

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University
119991, Leninskie gory, 1, Moscow, Russia
+7 495 939 23 93
fedotova@theory.sinp.msu.ru

The existing experimental data indicate that the properties of the observed Higgs boson are close to the predictions of the Standard Model of particle physics (SM). The accuracy of measurements of the couplings of the observed Higgs boson with SM particles is of 5–33 % and is continuously increasing. In particular, the effects that violate CP symmetry in the Higgs sector due to the presence of additional sources of CP violation in SM extensions could be observed. The extension of the Higgs sector by an additional doublet (THDM) contains five Higgs bosons: three neutral mass-ordered states h_1, h_2, h_3 and two charged scalars $H^\pm$ in the case of CP violation. Various possibilities of identification of the observed Higgs boson as a neutral scalar are discussed, among which h_1 is considered as the most likely candidate. Then the coupling constants of h_1 with SM particles (y) must satisfy the alignment limit, according which $y_{THDM} / y_{SM} \approx 1$. Violation of CP-invariance in the Higgs sector of the THDM [and in its particular case – minimal supersymmetry (MSSM)] may be caused by the presence of complex couplings in the effective Higgs potential (explicit CP violation) and/or the presence of complex phases of Higgs doublets and vacuum expectations (spontaneous CP violation). We have obtained the relations that guarantee the realization of the alignment limit within the framework of the THDM and MSSM in the general form and in the Higgs potential expansion up to dimension-four operators. The analysis of the alignment limit leads to two possibilities for its realization: i) there is a requirement for mixing angles in the Higgs sector $\beta - \alpha \approx \pi / 2$ coinciding with the CP-conserving limit with additional conditions, and ii) there is non-decoupling limit, i.e. the masses of all Higgs bosons are of the electroweak scale, with non-trivial requirements. We have identified the model regimes and the allowed parameter space that do not contradict modern experimental data.

ЭФФЕКТЫ ЛЕГКИХ СТЕРИЛЬНЫХ НЕЙТРИНО В ПРОЦЕССАХ С УЧАСТИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ И МЮОННЫХ НЕЙТРИНО

В. В. Хрущев¹, С. В. Фомичев¹

¹ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, 123182 Россия
Тел. 8-499-196-9637, e-mail: vkhru@yandex.ru

Стерильные нейтрино с разными массами могут участвовать в астрофизических и космологических процессах, в том числе за счет смешивания с активными нейтрино [1]. В докладе рассматриваются эффекты смешивания активных и стерильных нейтрино с массами порядка 1 эВ и менее. Для процессов осцилляций с участием электронных и мюонных нейтрино, а также процессов бета-распада и безнейтринного двойного бета-распада, вычислены вклады легких стерильных нейтрино в характеристики рассматриваемых процессов. При этом произведены оценки параметров смешивания в модели с тремя активными и тремя стерильными нейтрино [2, 3] с учетом экспериментальных данных, относящихся к проверке галлиевой, ускорительной и реакторной аномалий на малых расстояниях от источников нейтрино [4–7]. Подробно исследованы два случая распределения по массам легких стерильных нейтрино. Полученные результаты могут быть использованы для интерпретации имеющихся экспериментальных и астрофизических наблюдательных результатов и предсказания последующих данных.

Список литературы

1. Abazajian K. N. Neutrinos in astrophysics and cosmology // arXiv: 2102.10183 [hep-ph]. 2021. P. 1–45.
2. Khrushov V. V., Fomichev S. V. Oscillations of active neutrinos at short baseline in the model with three decaying sterile neutrinos // Universe. 2022. V. 8. # 97. P. 1–13.
3. Khrushov V. V., Fomichev S. V. Active and sterile neutrino oscillations inside the Sun in a phenomenological (3+1+2)-model // arXiv: 1310.5817v3 [hep-ph]. 2015. P. 1–7.
4. Barinov V. V., Cleveland B. T., Danshin S. N. *et al.* Results from the Baksan Experiment on Sterile Transitions (BEST) // Phys. Rev. Lett. 2022. V. 128. # 232501. P. 1–7.
5. Alekseev I., Belov V., Brudanin V. *et al.* Search for sterile neutrinos at the DANSS experiment // Phys. Lett. B. 2018. V. 787. P. 56–63.
6. Serebrov A. P., Samoilo R. M., Ivochkin V. G. *et al.* Search for sterile neutrinos with the Neutrino-4 experiment and measurement results // Phys. Rev. D. 2021. V. 104. # 032003. P. 1–37.
7. Acero M. A., Arguelles C. A., Hostert M. *et al.* White paper on light sterile neutrino searches and related phenomenology // arXiv: 2203.07323 [hep-ex]]. 2022. P. 1–206.

LIGHT STERILE NEUTRINOS EFFECTS IN PROCESSES WITH ELECTRON AND MUON NEUTRINOS

V. V. Khrushov¹, S.V. Fomichev ¹

¹ National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia, 123182
Tel. +7 499 196 9637, e-mail: vkhru@yandex.ru

Sterile neutrinos with various masses can participate in astrophysical and cosmological processes including mixing with active neutrinos [1]. Effects of mixing of active and sterile neutrinos with masses of the order or less than 1 eV are considered in this talk. For oscillation processes involving electron and muon neutrinos, as well as for beta decay and neutrinoless double beta decay processes, the contributions of light sterile neutrinos in characteristics of these processes are calculated. For this purpose estimates of mixing parameters in the model with three active and three sterile neutrinos [2, 3] are made taking into account experimental data concerning verification of gallium, accelerator and reactor neutrino anomalies at short distances from neutrino sources [4, 5, 6, 7]. Two cases of light sterile neutrinos masses distribution are investigated in detail. The results obtained can be used for interpretation of available experimental and astrophysical evidence results and also for predictions of subsequent data.

References

1. Abazajian K. N. Neutrinos in astrophysics and cosmology // arXiv: 2102.10183 [hep-ph]. 2021. P. 1–45.
2. Khrushov V. V., Fomichev S. V. Oscillations of active neutrinos at short baseline in the model with three decaying sterile neutrinos // Universe. 2022. V. 8. # 97. P. 1–13.
3. Khrushov V.V., Fomichev S.V. Active and sterile neutrino oscillations inside the Sun in a phenomenological (3+1+2)-model // arXiv: 1310.5817v3 [hep-ph]. 2015. P. 1–7.
4. Barinov V.V., Cleveland B.T., Danshin S.N. *et al.* Results from the Baksan Experiment on Sterile Transitions (BEST) // Phys. Rev. Lett. 2022. V. 128. # 232501. P. 1–7.
5. Alekseev I., Belov V., Brudanin V. *et al.* Search for sterile neutrinos at the DANSS experiment // Phys. Lett. B. 2018. V. 787. P. 56–63.
6. Serebrov A. P., Samoilo R. M., Ivochkin V. G. *et al.* Search for sterile neutrinos with the Neutrino-4 experiment and measurement results // Phys. Rev. D. 2021. V. 104. # 032003. P. 1–37.
7. Acero M. A., Arguelles C. A., Hostert M. *et al.* White paper on light sterile neutrino searches and related phenomenology // arXiv: 2203.07323 [hep-ex]. 2022. P. 1–206.

ВЛИЯНИЕ ЛЕПТОННОЙ АСИММЕТРИИ И СТЕРИЛЬНЫХ НЕЙТРИНО НА ПЕРВИЧНЫЙ НУКЛЕОСИНТЕЗ

А. А. Щепкин^{1,2*}, А. В. Иванчик^{1,2}

¹Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

*alexander.shchepkin5@gmail.com

Стандартная модель первичного нуклеосинтеза ставит ограничение на количество типов нейтрино ($N_\nu = 3,0 \pm 0,2$) [1] и на лептонную асимметрию - несовпадение концентраций нейтрино и антинейтрино во Вселенной $L_\nu = (n_\nu - n_{\bar{\nu}})/n_\gamma$, которая выражается через параметр $\xi_\nu = \mu_\nu/kT_\nu \leq 0,1$ [2], где μ_ν – химический потенциал нейтрино. Введение дополнительных типов нейтрино в этой модели увеличивает массовую долю первичного гелия-4 Y_p , что перестаёт согласоваться с результатами наблюдений. Однако увеличение параметра ξ_ν приводит к уменьшению Y_p , в результате чего два этих эффекта могут скомпенсировать друг друга. В данной работе была рассчитана массовая доля первичного гелия-4 как функция N_ν и асимметрии электронных нейтрино ξ_e . Поскольку Y_p наиболее чувствительна к лептонной асимметрии, то именно она и определяет значение ξ_e , соответствующее $N_\nu = 4$ (существование стерильных нейтрино). По результатам расчётов $\xi_e = 0,056 \pm 0,001$, что согласуется с другими оценками данного параметра [3,4].

Список литературы

1. Kurichin O. A., et al.: A new determination of the primordial helium abundance using the analyses of H II region spectra from SDSS // MNRAS. 2021. Vol. 502. P. 3045–3056.
2. Simha V., Steigman G.: Constraining the universal lepton asymmetry // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. 2008. Vol. 08. – 011.
3. Serpico P.D., Raffelt G.G.: Lepton asymmetry and primordial nucleosynthesis in the era of precision cosmology // Phys. Rev. D. 2005. Vol. 71. – 127301.
4. Escudero M., Ibarra A., Maura V.: Primordial lepton asymmetries in the precision cosmology era: Current status and future sensitivities from BBN and the CMB // Phys. Rev. D. 2023. Vol. 107. – 035024.

THE EFFECTS OF LEPTON ASYMMETRY AND STERILE NEUTRINOS ON THE BIG BANG NUCLEOSYNTHESIS

А. А. Shchepkin^{1,2*}, А. В. Ivanchik^{1,2}

¹ Ioffe Institute, 194021, 26 Politekhnicheskaya st., St. Petersburg

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

*alexander.shchepkin5@gmail.com

The standard model of the Big Bang Nucleosynthesis constrains the number of neutrino types ($N_\nu = 3,0 \pm 0,2$) [1] and the lepton asymmetry – the mismatch between the neutrino and antineutrino density in the Universe $L_\nu = (n_\nu - n_{\bar{\nu}})/n_\gamma$, which can be expressed with the parameter $\xi_\nu = \mu_\nu/kT_\nu \leq 0,1$ [2], where μ_ν is a chemical potential of neutrino. The addition of extra neutrino kinds in this model leads to the increase in the mass ratio of the primordial helium-4 abundance Y_p , that is not in agreement with its observational value. However, the increase in ξ_ν makes Y_p go down, therefore both these effects can compensate each other. In this work the primordial helium-4 abundance Y_p has been calculated as a function of N_ν and electron neutrino asymmetry parameter ξ_e . Since Y_p strongly depends on ξ_e , it determines ξ_e appropriate to $N_\nu = 4$ (the existence of sterile neutrino). According to our calculations, the best fit value of the lepton asymmetry is $\xi_e = 0,056 \pm 0,001$, which is in agreement with the previous estimations of this parameter [3, 4].

References

1. Kurichin O. A., et al.: A new determination of the primordial helium abundance using the analyses of H II region spectra from SDSS // MNRAS. 2021. Vol. 502. P. 3045–3056.
2. Simha V., Steigman G.: Constraining the universal lepton asymmetry // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. 2008. Vol. 08. – 011.
3. Serpico P. D., Raffelt G. G.: Lepton asymmetry and primordial nucleosynthesis in the era of precision cosmology // Phys. Rev. D. 2005. Vol.71. - 127301.
4. Escudero M., Ibarra A., Maura V.: Primordial lepton asymmetries in the precision cosmology era: Current status and future sensitivities from BBN and the CMB // Phys. Rev. D. 2023. Vol. 107. – 035024.

Секция 4

***РАДИАЦИОННЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ И ЯДЕРНО-
ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ***

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ КАЛОРИМЕТРИИ

Д. А. Аверьянов, Д. С. Блау

НИИЦ «Курчатовский Институт», +79165645470
daver99@yandex.ru

Гомогенные калориметры на основе сцинтилляционных монокристаллов широко используются в физике высоких энергий и смежных областях благодаря их хорошему энергетическому, пространственному и временному разрешениям. Сегодня активно обсуждается использование новых сцинтилляционных материалов в таких калориметрах, например, новый многообещающий материал $\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}$ (GAGG) [1]. В данной работе предлагается концепция составного калориметра с последовательно расположенными кристаллами GAGG и PWO для прецизионного измерения фотонов низких (до нескольких МэВ) и высоких энергий, соответственно. Показано возможное применение подобного калориметра на основе кристаллов GAGG для обнаружения скрытых веществ с помощью метода меченых нейтронов [2]. Данный калориметр позволяет с хорошей точностью идентифицировать такие элементы, как O, C, N и другие.

Список литературы

1. T. Furuno, A. Koshikawa, T. Kawabata et al. Journal of Instrumentation 2021, 16, P10012.
2. L. I. Ussery et al., Report LA12847MS (Los Alamos, 1994).

APPLICATION OF NEW INORGANIC SCINTILLATORS FOR ELECTROMAGNETIC CALORIMETRY

D. A. Averyanov, D. S. Blau

National Research Centre "Kurchatov Institute", +79165645470
daver99@yandex.ru

Homogeneous calorimeters based on scintillation monocrystals are widely used in high energy physics and related fields due to their good energy, spatial and timing resolution. Today, the use of new scintillation materials in such calorimeters is being actively discussed, for example, the promising new material $\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}$ (GAGG) [1]. In this paper, we propose the concept of a composite calorimeter with successively arranged GAGG and PWO crystals for precision measurement of photons of low (up to several MeV) and high energies, respectively. A possible application of such a calorimeter based on GAGG crystals for the detection of hidden substances using the tagged neutron method [2] is shown. This calorimeter allows to identify elements such as O, C, N and others with good accuracy.

References

1. T. Furuno, A. Koshikawa, T. Kawabata et al. Journal of Instrumentation 2021, 16, P10012
2. L. I. Ussery et al., Report LA12847MS (Los Alamos, 1994).

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УГЛЕРОДА В ПОЧВЕ

А. В. Андреев^{1,2*} и коллаборация “TANGRA”

¹141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6, тел. +7 (496) 216-50-59, факс. +7 (496) 216-51-46, e-mail: post@jinr.ru
²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет.
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

*andreev.av20@physics.msu.ru

Почва играет особую роль в производстве продуктов питания, а также принимает участие в регулировании химического состава атмосферы, поэтому точное определение концентрации различных химических элементов в почве сегодня является важной задачей для различных областей науки.

Современная наука обладает большим арсеналом методов изучения таких сложных систем как почва. В частности, наиболее распространенными способами определения концентрации углерода в почве являются химические методы, которые требуют предварительной подготовки образца.

На сегодняшний день представляется перспективным определение концентрации углерода в почве с помощью нейтрон-гамма анализа на быстрых нейтронах. Данный метод основан на нейтронном облучении материала и анализе спектров γ -квантов, испускаемых в результате нейтрон-ядерных реакций. По площади γ -пиков можно судить о количестве того или иного вещества в образце. Эти конфигурации состоят из источника нейтронов, гамма-детектора (детекторов), электроники и системы сбора данных.

Существуют два различных типа систем для нейтронно-гамма-анализа: мобильная установка [1], которая может перемещаться по полю для сбора данных, и стационарная установка для исследования образца[2].

Важной задачей при разработке прототипа устройства для анализа почв является создание качественной модели проектируемой системы. Расчёт установки может быть выполнен в пакете программ Geant4, представляющем из себя инструментарий для моделирования прохождения элементарных частиц через вещество с использованием метода Монте-Карло.[3] Спектры, полученные с помощью Geant4 иногда имеют заметные отклонения от экспериментальных данных. Однако эта проблема может быть решена путем раздельного моделирования транспорта нейтронов и генерации гамма-квантов. Эта работа посвящена компьютерному моделированию установки для анализа почвы в инструментарии Geant4.

1. A. Kavetskiy, G. Yakubova, S. A. Prior et al. //Applied Radiation and Isotopes. 2019. Vol. 150. P. 127–134.

2. Разинков Е. А., Алексахин В. Ю., Рогов Ю. Н. и др. // Горный журнал. No 2. 51. (2022).

3. Geant4 v. 10.01, p. 2. https://geant4.web.cern.ch/support/download_archive?page=3.

SIMULATION OF A SETUP FOR CARBON ANALYSIS OF SOIL SAMPLE

A. V. Andreev^{1,2*} and “TANGRA” collaboration

¹Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
tel. +7 (496) 216-50-59, fax. +7 (496) 216-51-46,
e-mail: post@jinr.ru

²Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University (MSU),
Leninskie gory, 1, b. 2, Moscow, Russia, 119991
* andreev.av20@physics.msu.ru

Soil plays important role in food production, as well as participates in regulating the chemical composition of the atmosphere, so accurate determining the concentration of different chemical elements in soil today remains an important task for various fields of science.

Modern science has a large arsenal of methods for studying such complex systems as soil. In particular, the most common ways determination of concentration in the soil sample are chemical methods. But they require specific preparations.

Nowadays, it seems promising to determine the concentration of different chemical elements in the soil using so-called neutron-gamma analysis on fast neutrons. This method is based on neutron irradiation of the material and analysis of the spectra of gamma quanta. By the area of the characteristic gamma peaks, it is possible to determine the amount of a particular substance in the sample. The system used for such analysis, consists of a neutron source, a gamma detector (detectors) and data collection systems.

There are two different types of typical system for neutron gamma analysis: mobile setup [1], which can move on field collecting data and stationary setup researching a specimen of material [2].

An important task in the development of a prototype device for analysis is to create a qualitative model of the designed system. This model can be done in the Geant4, a toolkit that models the passage of elementary particles through matter using the Monte Carlo method, developed at CERN.[3] Modeled spectra in Geant4 sometimes demonstrate notable deviation from the experimental data. However, this issue can be resolved by separately modeling neutron transport and generating gamma-quantum. This work involves computer modeling of the setup for analysis of soil sample in toolkit Geant4.

1. A. Kavetskiy, G. Yakubova, S. A. Prior et al. //Applied Radiation and Isotopes. 2019. Vol. 150. P. 127–134.

2. E. A. Razinkov, V. Y. Aleksakhin, Yu. N. Rogov et al // Mining Journal. 2022. No. 2. P. 51–56.

3. Geant4 v. 10.01, p. 2. https://geant4.web.cern.ch/support/download_archive?page=3.

ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗОВОГО ПОЛЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ КОМПТОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ

М. Р. Андреев, М. А. Долгополов, В. М. Вахтель

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1, Россия, vakhtel@phys.vsu.ru

Рассмотрим формирование распределений полей доз гамма-излучения в однородной среде на основе метода фильтров-конверторов путем преобразования первичного гамма-излучения во вторичное с помощью комптоновского рассеяния при энергия $E_\gamma > 1,5$ МэВ. Дозовое поле формировалось в фантоме воды с линейными размерами поля от 10x10 см до 1x1 см при энергиях гамма-квантов $\approx 2,3$ МэВ.

Фильтры-конверторы из алюминия толщиной до 0,3 см позволяют увеличивать дозу на 2–3 % в слое фантома толщиной 1,5 см, в указанных пределах поля, что согласуется с рассчитанной оценкой при однократном рассеянии в фильтре. Аналогичный результат обеспечивает фильтр из железа. Данный способ эффективен в радиационных технологиях органических материалов.

FORMATION OF GAMMA RADIATION DOSE FIELD USING THE METHOD OF COMPTON SCATTERING

M. R. Andreev, M. A. Dolgoplov, V. M. Vakhtel

Voronezh State University, 394018, Voronezh, University square, 1, Russia,
Vakhtel@phys.vsu.ru

Let us consider the formation of dose field distributions of gamma radiation in a homogeneous medium based on the method of filter-converters by transforming primary gamma radiation into secondary radiation using Compton scattering at energies. The dose field was formed in a water phantom with linear field dimensions ranging from 10x10 cm to 1x1 cm at gamma quantum energies of approximately 2.3 MeV.

Aluminum filter-converters up to 0.3 cm thick allow for an increase in dose by 2-3% in a phantom layer 1.5 cm thick, within the specified field limits, which is consistent with the calculated estimate for single scattering in the filter. A similar result is provided by an iron filter. This method is effective in radiation technologies for organic materials.

ДЕТЕКТОР ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ НА ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ.

С. Н. Апасов, В. М. Вахтель, М. И. Ляшенко, Д. Е. Костомаха

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет,
394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1, Россия, apasov@nwtatom.ru.

При радиационных авариях, связанных с потерей источников ионизирующего излучения или в случаях крупномасштабных выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду, основной задачей ликвидации последствий данной аварии является поиск источников ионизирующего излучения и загрязненных территорий. Соблюдение принципов радиационной безопасности (оптимизации, нормирования, обоснования) требует от организаторов данных видов работ постоянного совершенствования методов измерения и применения дистанционных методов обследования загрязненных территорий и поиска источников ионизирующего излучения.

Мероприятия по поиску источников и установления их характеристик в месте аварии называются радиационной разведкой. В настоящий момент радиационная разведка проводится вручную или с применением робототехнических комплексов, путем измерения мощности дозы гамма излучения, в данном случае, надо отметить что процесс поиска (локализации) может занимать достаточно длительное время, что влечет за собой увеличение дозовых нагрузок операторов-дозиметристов.

Используемые типы детекторов при радиационной разведке представляют собой стандартные устройства на основе сцинтилляторов или газоразрядных детекторов. Данные типы детекторов регистрируют точечные величины ионизирующего излучения (мощность дозы, плотность потока или скорость счета импульсов), для эффективного процесса поиска источника ионизирующего излучения необходимо применять детекторы или устройства детектирования, которые имеют возможность определения направления распространения гамма излучения. Современные средства радиационного контроля могут визуализировать поля гамма излучения, определять направление максимума мощности дозы, а, соответственно и направление распространения излучения, но в первом случае устройства имеют очень высокую цену, а во втором, как правило – это достаточно массивные устройства со свинцовыми коллиматорами.

Суть данной работы состоит в создании достаточно простого по конструкции и недорогого устройства, с помощью которого, с заданной точностью, можно регистрировать направление распространения гамма излучения, и тем самым достаточно быстро проводить локализацию источника гамма излучения.

Данное устройство можно отнести к комплексному детектору. Схема выбрана достаточно известная и ранее использовавшаяся в исследованиях космического мюонного излучения и поиска источников космического излучения. Устройство представляет собой два или несколько газоразрядных счетчиков, работающих в режиме счетчика Гейгера, включенных по схеме совпадений (гамма-телескоп). В данной схеме скорость электрических импульсов на выходе схемы совпадений зависит от взаимного расположения детекторов и источника гамма излучения, при том, когда исследуемое гамма излучения проходит через оба детектора и один гамма квант с очень малой временной задержкой возбуждает электрический импульс в обоих детекторах – наблюдается максимальное количество именно импульсов совпадений. Используя данный эффект можно получать азимут на источник гамма излучения и более быстро проводить их поиск и локализацию. В настоящий момент проходит испытание лабораторный стенд данного устройства, собранный на основе счетчиков типа ВС-8. В дальнейшем планируется построить подробные счетные характеристики данной схемы, а также различные геометрии расположения детекторов.

Достоинствами данной схемы, по сравнению с другими является то, что отсутствующие тяжелые коллиматоры и движущиеся элементы, обработка будет происходить полностью в автоматическом режиме на основании наработанных баз данных регистрации излучений, и конечно – относительная дешевизна установки.

GAMMA RADIATION DETECTOR WITH RADIATION SOURCE INDICATION CAPABILITIES

S. N. Apasov, V. M. Vakhtel, M. I. Lyashenko, D. E. Kostomakha

Voronezh State University, 394018, Voronezh, University square, 1, Russia, apasov@nwtatom.ru

In case of radiation accidents related to the loss of ionizing radiation sources or in case of large-scale release of radioactive substances into the environment, the main task of eliminating the accident consequences is to search for the ionizing radiation sources and contaminated areas. Compliance with the radiation safety principles (optimization, standardizing, justification) requires the organizers of these types of work to enhance the measurement methods constantly and implement remote methods of contaminated areas inspection and ionizing radiation sources determination.

Detection of the sources and their determination in the accident area are called radiation surveying. Nowadays radiation surveying is carried out manually or with the use of robotic systems by measuring gamma radiation dose rate. It should be noted that in this case the process of detection (confinement) can take quite a long time, which leads to an increase in radiation exposure of health-physicist operators.

The types of detectors used in radiation surveying are standard devices based on scintillators or gas discharge detectors. These types of detectors record point-source values of ionizing radiation (dose rate, flux density or pulse count rate). For effective determination of ionizing radiation source, it is necessary to use detectors or detection devices capable to identify the direction of gamma radiation propagation. Modern radiation monitoring means are able to visualize gamma radiation fields, determine the maximum dose rate direction and thus the direction of radiation propagation. However, the devices of the first type are very expensive and the second type ones are usually fitted with lead collimators and are rather massive.

The essence of this work is to create a structurally simple and inexpensive device that will make it possible to register the direction of gamma radiation propagation with a given accuracy and thereby quickly confine the source of gamma radiation.

This device can be classified as a complex detector. The operating principle is pretty well-known and was previously used for the researches of muons of cosmic radiation and for the searching of cosmic radiation sources. The device consists of two or more gas discharge detectors working in the Geiger counter mode and connected into a coincidence gate (gamma-ray telescope). The speed of electrical pulses at the output of this coincidence gate depends on the mutual position of the detectors and the gamma radiation source. Moreover, when the considered gamma radiation passes through both detectors and when one gamma quantum with a very small-time delay excites an electric impulse in both detectors, the maximum number of coincidence impulses is observed. Using this effect, it is possible to get the azimuth of gamma radiation source and thus searching and confining of such sources can be carried out more quickly. Development model of this device, assembled on the basis of VS-8 type counters is currently undergoing laboratory testing. It is planned to build detailed counter characteristics of this circuit, as well as various options of geometric arrangement of the detectors.

The advantage of this development in comparison with others is the absence of heavy collimators and moving components. Data processing will be carried out utterly automatically based on the radiation recording databases. One more advantage is relatively low price of the installation.

НОВЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НЕЙТРОННОЙ ТОМОГРАФИИ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Б. А. Бакиров

Объединенный институт ядерных исследований
Россия, 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6
+7 (496) 216-64-94
bulatbakirov@jinr.ru

Метод компьютерной томографии с использованием различных типов излучения (рентгеновские лучи, нейтроны, электромагнитное поле и т. д.) получил широчайшее распространение и продолжает набирать популярность в таких смежных с физикой областях как медицина, материаловедение, геология, археология и многие другие. Особое место в современном материаловедении занимает нейтронная томография [1]. Природа взаимодействия нейтронов с веществом определяет существенные преимущества данного метода: большая глубина проникновения, чувствительность к легким элементам, хороший контраст для элементов с близкими атомными номерами.

Однако, метод нейтронной томографии имеет ряд нерешенных проблем: большая длительность эксперимента, низкое качество изображений, вычислительная ресурсоемкость. Таким образом развитие метода нейтронной томографии требует применения новых математических алгоритмов обработки и реконструкции данных. Наиболее перспективными в данной области являются алгоритмы основанные на сверточных нейронных сетях и глубоком обучении [2].

В данной работе была реализована наиболее оптимальная архитектура сверточной нейтронной сети для предварительной обработки и томографической реконструкции нейтронных радиографических данных. Обучение нейронной сети проводилось с помощью набора данных, полученных на станциях нейтронной томографии в Лаборатории нейтронной физики имени И.М. Франка и НИЦ «Курчатовский институт». Результатом стала программа, эффективность работы которой сравнивалась с существующими методами обработки данных.

Работа выполнялась при финансовой поддержке гранта ОМУС № 23-402-02.

Список литературы

1. Podurets K. M. et al. Modern methods of neutron radiography and tomography in studies of the internal structure of objects // Crystallography Reports. 2021. Т. 66. С. 254–266.
2. Micieli D. et al. Accelerating neutron tomography experiments through artificial neural network based reconstruction // Scientific Reports. 2019. Т. 9. №. 1. С. 2450.

NEW ALGORITHMS FOR PROCESSING NEUTRON TOMOGRAPHY DATA BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

B. A. Bakirov

Joint Institute for Nuclear Research
Russia, 141980, Moscow Region, Dubna, 6 Joliot-Curie St
+7 (496) 216-64-94
bulatbakirov@jinr.ru

The method of computed tomography using various types of radiation (X-rays, neutrons, electromagnetic field, etc.) has become widespread and continues to gain popularity in such fields related to physics as medicine, materials science, geology, archeology and many others. Neutron tomography occupies a special place in modern materials science [1]. The nature of the interaction of neutrons with matter determines the significant advantages of this method: a large penetration depth, sensitivity to light elements, good contrast for elements with close atomic numbers.

However, the neutron tomography method has several unsolved problems: long duration of the experiment, low image quality, computational resource intensity. Thus, the development of the neutron tomography method requires the use of new mathematical algorithms for data processing and reconstruction. The most promising in this field are algorithms based on convolutional neural networks and deep learning [2].

In this work, the most optimal architecture of a convolutional neutron network for preprocessing and tomographic reconstruction of neutron radiographic data was implemented. The neural network was trained using a set of data obtained at neutron tomography stations at the Frank Laboratory of Neutron Physics and the National Research Centre “Kurchatov Institute”. The result was a program whose efficiency was compared with existing data processing methods.

The work was carried out with the financial support of the AYSS grant No. 23-402-02.

References

1. Podurets K. M. et al. Modern methods of neutron radiography and tomography in studies of the internal structure of objects //Crystallography Reports. 2021. V. 66. P. 254–266.
2. Micieli D. et al. Accelerating neutron tomography experiments through artificial neural network based reconstruction //Scientific Reports. 2019. V. 9. №. 1. P. 2450.

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОФИЛЯ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНОВ ПРОТОННЫМ ПУЧКОМ

Т. Л. Бобровский, М. В. Боховко, А. Ф. Гурбич, П. С. Прусаченко

Физико-энергетический институт им. Лейпунского (ФЭИ),
пл. Бондаренко 1, г. Обнинск, 249033, Россия;
timofeybobrovskiy@gmail.com

При оценке радиационной стойкости материалов, модификации поверхностей ионными пучками используются различные модели тормозных способностей, среди которых наибольшее распространение получил SRIM [1]. Согласно работе [2] тормозные способности модели SRIM-2013 для тяжелых ионов с энергией менее 1 МэВ/нуклон не обладают должной согласованностью и как следствие не обладают надёжностью. Поэтому существует потребность в экспериментальном определении профилей тяжелых имплантированных ионов в различных средах и при разной энергии ионов. В данной работе мы экспериментально определили профили распределения имплантированных ионов ^{58}Ni при помощи метода, описанного в работе [3]. В данном методе образец сканируется по глубине пучком протонов, при этом изменяется их пробег до достижения ими резонансной энергии в реакции $^{58}\text{Ni}(p,\gamma)^{59}\text{Cu}$. Измерение интенсивности γ -излучения из реакции $^{58}\text{Ni}(p,\gamma)^{59}\text{Cu}$ в зависимости от энергии протонов позволило восстановить продольное распределение имплантированных ионов. Было установлено, что полученные результаты для ^{58}Ni не воспроизводятся расчётами, получаемыми при помощи программы SRIM-2013.

1. James F. Ziegler, M.D. Ziegler, J.P. Biersack. “SRIM – The stopping and range of ions in matter (2010)”. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 268 (2010) 1818.
2. Klaus Wittmark, “Misconception impairing the validity of the stopping power tables in the SRIM library and suggestions for doing better in the future”. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 427 (2020) 44.
3. D. I. Porat, K. Ramavataram. A proposed method for measuring ranges of heavy ions in solid. Proc. Phys. Soc. 76 (1960). pp. 438-439.

MEASUREMENT OF IMPLANTED IONS DISTRIBUTION BY A PROTON BEAM

Bobrovsky T. L., Bokhovko M. V., Gurbich A. F., Prusachenko P. S.

I.I. Leypunsky Institute for Physics and Power Engineering (IPPE),
Bondarenko sq. 1, Obninsk, 249033, Russia
timofeybobrovskiy@gmail.com

When the radiation resistance of materials or surface modification by ion beams are calculated various stopping power models are used. Most widely SRIM [1] is used. According to [2], the stopping power of the SRIM-2013 model does not have the proper consistency and, as a result, is not reliable for heavy ions with an energy of less than 1 MeV/nucleon. Therefore, there is a need to experimentally determine the profiles of heavy implanted ions in various substances and for different ion initial energies. In this work, we experimentally determined the distribution of implanted ^{58}Ni ions using the method described in [3]. In this method, the target is scanned in depth by a proton beam, by changing their range until they reach the resonance energy in the $^{58}\text{Ni}(p,\gamma)^{59}\text{Cu}$ reaction. Measurement of the intensity of γ -radiation from the reaction $^{58}\text{Ni}(p,\gamma)^{59}\text{Cu}$ as a function of proton energy made it possible to reconstruct the longitudinal distribution of implanted ions. It was found that the results obtained for ^{58}Ni are not reproduced by the calculations obtained using the SRIM-2013 program.

1. James F. Ziegler, M.D. Ziegler, J.P. Biersack. "SRIM – The stopping and range of ions in matter (2010)". Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 268 (2010) 1818.

2. Klaus Wittmark, "Misconception impairing the validity of the stopping power tables in the SRIM library and suggestions for doing better in the future". Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 427 (2020) 44.

3. D. I. Porat, K. Ramavataram. A proposed method for measuring ranges of heavy ions in solid. Proc. Phys. Soc. 76 (1960). pp. 438-439

УПРАВЛЕНИЕ РЕГИСТРАЦИЕЙ ПРОТОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАДИОГРАФИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА УСКОРИТЕЛЕ У-70

**Э. Н. Братишка¹, А. А. Городнов¹, А. А. Жирунов¹, М. С. Ефремов¹,
А. Д. Решетняк¹, А. О. Пергаев², Е. В. Рыбакова²**

¹ Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира 37

²СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров Нижегородская обл.
otd4@expd.vniief.ru

На синхротронном ускорителе протонов У-70 (НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ г. Протвино) проводятся работы на протонном радиографическом комплексе (ПРГК) [1]. Основной задачей данного комплекса является регистрация протонных изображений при проведении радиографических экспериментов. Для выполнения данной задачи в состав комплекса входят три пункта регистрации протонных изображений (ПРПИ). Каждый ПРПИ оснащен программно-аппаратным комплексом для регистрации протонных изображений, включающим в себя систему управления генераторами задержек, систему управления осциллографами, систему управления контроллерами объективов, систему позиционирования объектов и систему управления питанием. Для разработки программного обеспечения систем управления использовался инструментальный программный пакет CRW-DAQ [2].

Система управления генераторами задержек позволяет производить подбор параметров для каждого из устройств, а именно: время задержки относительно сигнала синхронизации ускорителя, амплитуду и длительность сигнала для срабатывания затвора ПЗС-регистраторов. Система управления осциллографами позволяет удаленно получать данные об интенсивности

пучка с измерительного трансформатора тока (пояс Роговского) и о сигналах срабатывания затворов. При помощи системы управления контроллерами объективов производится подбор диафрагмы и настройка фокусировки изображения. Система позиционирования объектов дает возможность удаленно перемещать исследуемые объекты, управлять положением сцинтилляторов и реперных объектов. Система управления питанием обеспечивает бесперебойным питанием оборудование, позволяет удаленно управлять подачей питания на аппаратные подсистемы (осциллографы, генераторы, регистраторы и т. д.) и отслеживать состояние внешней электрической сети.

Список литературы

1. А. И. Андриянов и др. Ввод в эксплуатацию комплекса ПРГК на ускорителе У-70 ГНЦ ИФВЭ. – Препринт ИФВЭ 2015-3. – Протвино, 2015. – 13 с.
2. А. В. Курякин, Ю. И. Виноградов Программа для автоматизации физических измерений и экспериментальных установок (CRW-DAQ) // Свидетельство РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006612848 от 10.08.2006 г. URL: www.crw-daq.ru.

PROTON IMAGE REGISTRATION CONTROL DURING RADIOGRAPHIC EXPERIMENTS ON ACCELERATOR U-70

**E. N. Bratishka¹, A. A. Gorodnov¹, A. A. Zhirunov¹, M. S. Efremov¹,
A. D. Reshetnyak¹, A. O. Pergaev², E. V. Rybakova²**

¹ Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics», Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave, 37

²SarFTI NRNU MEPhI, Sarov, Nizhny Novgorod region
otd4@expd.vniief.ru

On proton synchrotron accelerator U-70 (SRC “Kurchatov Institute” - IHEP, Protvino) there are conducted works on proton radiography complex (PRGC) [1]. The main task of PRGC is proton image registering during radiographic experiments. To fulfill this task, the complex involves three proton image registering stations (PIRS). Each PIRS is equipped by a hardware-software complex for proton image registration, involving a delay generators control system, an oscillographs control system, a lens controllers’ control system, an objects positioning system and a power control system. Software package toolkit CRW-DAQ was employed to develop software of control systems.

A delay generator control system allows parameters’ seek for each device, namely: delay time relatively to an accelerator sync, signal amplitude and duration for triggering of a shutter of CCD-registers. Oscillograph control system allows a remote receiving data on beam intensity from a measuring current transformer (Rogowski loop) and on triggering signals of shutters. A diaphragm is selected and an image focus is regulated by the control system of lens controllers. The object positioning control system permits to remotely move studied objects, to control position of scintillators and reference objects. The power control system supplies equipment with no-break power, allows a remote control over power supply onto hardware subsystems (oscillographs, generators, registers et al.) and monitoring of a state of external electric circuit.

References

1. A. I. Andriyanov et al. Commissioning of PRC complex on accelerator U-70 SRC IHEP. – Preprint IHEP 2015-3. – Protvino, 2015. – 13 p.
2. A. V. Kuryakin, Yu. I. Vinogradov Program for physical measurements automation and experimental plants (CRW-DAQ) // RF certificate on official program registration for computer system №2006612848 dated by 10.08.2006 URL: www.crw-daq.ru.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОИСКА И ИДЕНТИФИКАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ НУКЛИДОВ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

И. С. Бредихин

ООО «Гамматек», Москва, 1-й Нагатинский проезд 2 строение 35БН, офис 19
+79057650009, ivan@gammatech.pro

В последние годы наблюдается тенденция на использование методов машинного и глубокого обучения для самых различных задач науки и техники. При этом, в ряде областей эти методы, несмотря на все возложенные на них ожидания, показывают весьма скромный результат. Предположение, что методы глубокого обучения смогут внести существенный вклад в решение задач идентификации в области спектрометрии, основывается на нескольких факторах:

По своей сути методы глубокого обучения пытаются имитировать работу человека и головного мозга (нейроны, нейронные связи, обучение и поиск паттернов). Поэтому эти методы особенно хорошо работают там, где в решаемой задаче помимо понятной расчетно-алгоритмической части (например, при решении ОДУ или уравнений в частных производных), имеется математически плохо формализованный поиск паттернов. Использование классического подхода идентификации, помимо формального алгоритмизованного процесса выделения пиков, применяет шаг сопоставления найденных пиков с имеющимися библиотеками нуклидов. При этом, для получения финального списка гамма-нуклидов, входящих в состав анализируемой смеси, используется достаточно большое количество эвристик [1]. Соответственно, у методов глубокого обучения есть потенциал для того, чтобы успешно научить машину этим эвристикам. Это в итоге продвигает нас к большей автоматизации процесса разбора гамма-спектров.

В области гамма-спектроскопии имеется потенциальная возможность с помощью машинного обучения построить человеко-ориентированные классификаторы и методы декомпозиции спектров. Даже если в этой области не будет достигнута 100% автоматизация, где машина полностью заменит человека, построение таких классификаторов уже будет существенным упрощением задачи. Функция машины – выполнить достаточное количество предварительной работы по выделению характеристик, по которым либо она сама, либо человек сможет сделать разбор и анализ спектра. Особенно это актуально для разбора сложносоставных спектров, с 4-мя и более нуклидами).

В данной работе мы представим результаты первого этапа разработки программно-аппаратного мобильного решения для проведения поиска и идентификации радионуклидных загрязнений с возможностью определения их активности. Одной из ключевых особенностей разрабатываемого ПАК является именно инновационный алгоритм обработки спектров, который использует методы машинного обучения. Мы показываем текущие результаты применения глубокого обучения на свёрточных архитектурах (CNN) и на архитектурах 1D U-Net. Мы анализируем, насколько эти архитектуры помогли продвинуться вперед в решении задач разбора спектров, а также делаем вывод, как можно улучшить текущий подход и архитектуры в соответствии с задачей построения интерпретируемых человеком классификаторов, как описано выше.

Список литературы

[1] Kamuda, M., Zhao, J., & Huff, K. (2020). A comparison of machine learning methods for automated gamma-ray spectroscopy. In Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment (Vol. 954, p. 161385). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.10.063>

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE/HARDWARE INSTRUMENTATION FOR THE SEARCH AND IDENTIFICATION OF GAMMA-EMITTING NUCLIDES BASED ON MACHINE LEARNING

I. S. Bredikhin

Gammatech LLC, Moscow, 1st Nagatinskiy proezd 2 building 35BN, office 19
+79057650009, ivan@gammatech.pro

There has been a trend towards the use of machine learning and deep learning methods for a wide variety of tasks in science and technology recently. Despite all the expectations, in a number of areas, these methods, show very modest results. The assumption that deep learning methods can make a significant contribution in identification in the field of spectrometry is based on several factors:

At its core, deep learning methods try to imitate the work of a person and the brain (neurons, neural connections, learning and pattern searching). Therefore, these methods work especially well where understandable computational-algorithmic part (for example, when solving ODEs or partial differential equations) is combined with a mathematically poorly formalized search for patterns. The use of the classical identification approach, in addition to the formal algorithmized peak extraction process, uses the step of comparing the found peaks with the available nuclide libraries. At the same time, a sufficiently large number of heuristics are used to obtain the final list of gamma nuclides that make up the analyzed mixture [1]. Accordingly, deep learning methods have the potential to successfully teach these heuristics to a machine. This eventually moves us towards greater automation of the process of parsing gamma spectra.

In the field of gamma spectroscopy, there is a potential opportunity to build human-oriented classifiers and spectral decomposition methods using machine learning. Even if 100% automation is not achieved in this area, where a machine will completely replace a person, the construction of such classifiers will already be a significant simplification of the task. The function of the machine is to perform a sufficient amount of preliminary work on the selection of characteristics, according to which either it itself or a person can analyze and analyze the spectrum. This is especially true for the analysis of complex spectra, with 4 or more nuclides.

In this paper, we present the results of the first stage of developing a software and hardware mobile instrumentation for searching and identifying radionuclide contamination with the ability to determine their activity. One of the key features of the developed HSS is the innovative spectrum processing algorithm that uses machine learning methods. We show the current results of applying deep learning on convolutional architectures (CNN) and on 1D U-Net architectures. We analyze how these architectures have helped advance the spectrum analysis problem and conclude how the current approach and architectures can be improved in accordance with the task of building human-interpretable classifiers, as described above.

References

[1] Kamuda, M., Zhao, J., & Huff, K. (2020). A comparison of machine learning methods for automated gamma-ray spectroscopy. In Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment (Vol. 954, p. 161385). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.10.063>

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ ВЕКТОРОВ МЕТОДОМ КОМПЛЕКСНЫХ МОМЕНТОВ

В. М. Вахтель, Д. Е. Костомаха, В. А. Работкин

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет,
394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1, Россия
E-mail: vakhtel@phys.vsu.ru

Показано, что каждому случайному вектору $(CBP)_j : \nu(\cdot)_j = (\nu_0, \nu_1, \dots, \nu_l)_j, 0 \leq \nu_j, \sum_{i=0}^l \nu_i = n, 0 < n = 2, 3, \dots$ представляющему эмпирическое дискретное распределение случайной выборки объемом n из случайных отсчетов $k_i = i, i = 0, 1, \dots, l$, однозначно соответствуют дробные центральные комплексные моменты $\mu(S)$ порядка $S = r + \alpha, r = 1, 2, \dots; 0 \leq \alpha \leq 1$, $\mu(S) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})^S = \text{Re}(\mu(S)) + i \text{Im}(\mu(S)), i^2 = -1, [1]$.

Проекции фазовых траекторий $\mu(S)_j$ на плоскость $(\text{Re}(S); \text{Im}(S))$ закономерно меняют свои характеристики при переходе от $\nu(\cdot)_j$ к $\nu(\cdot)_{j+m}$ в их последовательности между близкими CBP в распределении $C(I(\nu(\cdot)_j))$ их идентификатора $I(\nu(\cdot)_j): 1 < I(\nu(\cdot)_j) = a(\cdot) \cdot \nu(\cdot)_j; a(\cdot) = (a_0, \dots, a_l)$.

Проекция на плоскость $\text{Im}(\mu(S), S)$ мнимой составляющей $\mu(S)$ и реальной составляющей $\text{Re}(\mu(S))$ на плоскость $\text{Re}(\mu(S), S)$ представляет гармонические затухающие при $\bar{k} < 1$ или возрастающие при $\bar{k} > 1$ колебания функции S , позволяющие прогнозировать ожидаемые значения $\text{Im}(S > S_0), \text{Re}(S > S_0)$, и, в частности, в особых точках $\alpha = 0; 0,5$:

$$\begin{cases} \text{Im}(S > S_0) = \text{Im}(S_0) e^{y \cdot (S - S_0)} (-1)^r \sin(\pi \cdot S), & r > 2 \\ \text{Re}(S) = \mu_0 e^{-y \cdot S_0} \cos(y \cdot S). \end{cases}$$

По характеристикам фазовых траекторий $\mu(S)$, включая проекции, можно классифицировать отдельные CBP и их упорядоченные по $I(\cdot)_j$ совокупности подобно траекториям дифференциальных уравнений [2].

Список литературы

1. Bliznyakov N. M., et. al., in NUCLEUS-2022, Book of Abstracts, 303, (2022).
2. Арнольд В. И., Обыкновенные дифференциальные уравнения, М: МЦНМО, 2018, 244.

ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF RANDOM DISCRETE VECTORS BY THE METHOD OF COMPLEX MOMENTS

V. M. Vahtel, D. E. Kostomakha, V. A. Rabotkin

Voronezh State University, 394018, Voronezh, University square, 1, Russia,
E-mail: vakhtel@phys.vsu.ru

It is demonstrated that for each random vector $(RV) 0 \leq \nu_j, \sum_{i=0}^l \nu_i = n, 0 < n = 2, 3, \dots$ representing the empirical discrete distribution of a random sample volume of random counts $k_i = i, i = 0, 1, \dots, l$, explicitly correspond to fractional central complex moments $\mu(S)$ of order $S = r + \alpha, r = 1, 2, \dots; 0 \leq \alpha \leq 1, \mu(S) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})^S = \text{Re}(\mu(S)) + i \text{Im}(\mu(S)), i^2 = -1, [1]$.

Projections of the phase trajectories $\mu(S)_j$ on the plane $(\text{Re}(S); \text{Im}(S))$ tend to change their characteristics in the transition from $\nu(\cdot)_j$ к $\nu(\cdot)_{j+m}$ in their sequence between close RV in distribution $C(I(\nu(\cdot)_j))$ of their identifier $I(\nu(\cdot)_j): 1 < I(\nu(\cdot)_j) = a(\cdot) \cdot \nu(\cdot)_j; a(\cdot) = (a_0, \dots, a_l)$.

Projection on the plane $\text{Im}(\mu(S), S)$ of the virtual component $\mu(S)$ and the actual component $\text{Re}(\mu(S))$ on the plane $\text{Re}(\mu(S), S)$ represent harmonic damping at $\bar{k} < 1$ or increasing at $\bar{k} > 1$ variations of function S , enabling us to predict the expected values of $\text{Im}(S > S_0)$, $\text{Re}(S > S_0)$, and, in particular, in specific points $\alpha = 0; 0,5$:

$$\begin{cases} \text{Im}(S > S_0) = \text{Im}(S_0) e^{y \cdot (S - S_0)} (-1)^r \sin(\pi \cdot S), & r > 2 \\ \text{Re}(S) = \mu_0 e^{-y \cdot S_0} \cos(y \cdot S). \end{cases}$$

According to the characteristics of the phase trajectories $\mu(S)$, including the projections, we can classify the individual RVs and their ordered $I(\cdot)_j$ totality similarly to the trajectories of differential equations [2].

References

1. Bliznyakov N. M., et. al., in NUCLEUS-2022, Book of Abstracts, 303, (2022)
2. V.I. Arnold. The Ordinary Differential Equations, M: MTsNMO, 2018, 244

РАЗРАБОТКА КРИОСТАТА ДЛЯ РАДИАЦИОННЫХ ТЕСТОВ ПРИЕМНИКОВ СУБТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ

**А. В. Вдовин, А. А. Гунбина, А. М. Красильников, М. А. Мансфельд,
М. А. Маркина, К. В. Минеев, Е. Л. Певзнер, М. А. Тарасов, Н. В. Тятюшкин,
А. Н. Черников, В. С. Эдельман, В. Ф. Вдовин**

Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН
им. А. В. Гапонова-Грехова (ИПФ РАН). 603600, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46.
Тел. +7 (831) 436-62-02, факс +7 (831) 416-06-16, e-mail: dir@ipfran.ru

Высококочувствительные приемники субтерагерцового (субТГц) диапазона частот для космических и баллонных миссий требует глубокого криогенного охлаждения до субкельвинных (субК) уровней. Эти миссии предъявляют жесткие требования к радиационной стойкости аппаратуры. Космические лучи могут драматически повлиять на чувствительную приемную аппаратуру, и требуется наземная проверка приборов на источниках, имитирующих радиационное воздействие. Уникальные источники и ускорители ВНИИЭФ дают такую возможность. В 2022 были сделаны первые тесты с приемными субТГц структурами [1]. Они показали актуальность задачи и эффективность инструмента. Облучённые приемники тестировались в стационарных лабораторных субК криостатах растворения ^3He в ^4He и сорбционных криостатах на выживаемость и оценку степени повреждения облученных приемных структур после радиационного воздействия. Оценки влияния на чувствительность в таком эксперименте выполнить невозможно. Для этого и создается мобильный субК криостат для проведения «горячих» тестов работающих приемных структур в режиме приема тестового субТГц сигнала эталона. Создание отечественного субК криостата имеет очень широкое значение: квантовый компьютеринг, квантовые коммуникации и т. д. В связи с санкциями, коммерческие субК криостаты Oxford Instr., Blue Force и т. п.) недоступны, российских аналогов нет, и криостат будет востребован.

В докладе представлен проект такого криостата и уже созданные ключевые элементы прототипа криостата. Разработка начата в апреле 2023 г в рамках совместного с сотрудниками ВНИИЭФ изучения на месте возможностей и требований помещений и действующих установок. Авторы выражают благодарность сотрудникам ВНИИЭФ А. Грунину, Д. Юнину и

Е. Голихиной, а также руководству проекта «Ядерная и радиационная физика» Национального Центра Физики и Математики за поддержку.

Список литературы

[1] A. Atepalikhin, A. Grunin, M.T arasov, D.Y unin, et al. First Results on Irradiation of Superconducting Elements for Terahertz Receivers in Deep Space. 2022 IEEE 8th All-Russian Microwave Conference (RMC), 2023, DOI 10.1109/rmc55984.2022.10079335

DEVELOPMENT OF A CRYSTAT THE RADIATION TESTS OF SUBTERAHERTZ RECEIVERS

**A. V. Vdovin, A. A. Gunbina, A. M. Krasilnikov, M. A. Mansfeld,
M. A. Markina, K. V. Mineev, E. L. Pevzner, M. A. Tarasov, N. V. Tyatyushkin,
A. N. Chernikov, V. S. Edelman, V. F. Vdovin**

Federal Research Center A.V. Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics RAS (IAP RAS).
603600, Nizhny Novgorod, Ulyanov street, 46.
Tel. +7 (831) 436-62-02, fax +7 (831) 416-06-16, e-mail: dir@ipfran.ru

High sensitive subterahertz (subTHz) receivers for space and balloon missions require deep cryogenic cooling to subkelvin (subK) levels. These missions impose stringent requirements on the radiation resistance of the equipment. Cosmic rays can dramatically affect sensitive receiving equipment, and ground-based verification of instruments at sources simulating radiation forcing are required. The unique sources and accelerators of VNIIEF provide such an opportunity. In 2022, the first tests with receiving subTHz structures were made [1]. They demonstrated the relevance of the task and the effectiveness of the tool. Irradiated receivers were tested in stationary laboratory subK cryostats for dissolving ^3He in ^4He and sorption cryostats for survival and assessment of the degree of damage to irradiated receiving structures after radiation exposure. It is impossible to estimate the effect on sensitivity in such an experiment. For this, a mobile subK cryostat is being created to conduct "hot" tests of operating receiving structures in the mode of receiving a test sub-THz signal of the standard. Development of Russian subK cryostat has a very wide meaning: quantum computing, quantum communications, etc. Due to sanctions, commercial subK cryostats (Oxford Instr., Blue Force, etc.) are unavailable, there are no Russian analogues, and the cryostat will be in demand.

The report presents the project of such a cryostat and already fabricated elements of the cryostat prototype. Development began in April 2023 as part of a joint on-site study of the capabilities and requirements of the premises and existing installations with VNIIEF employees. The authors express their gratitude to VNIIEF staff members A. Grunin, D. Yunin and E. Golikhina, as well as to the management of the project "Nuclear and Radiation Physics" of the National Center for Physics and Mathematics for their support.

References

[1] A. Atepalikhin, A. Grunin, M. Tarasov, D. Yunin, et al. First Results on Irradiation of Superconducting Elements for Terahertz Receivers in Deep Space. – 2022 IEEE 8th All-Russian Microwave Conference (RMC), 2023, DOI 10.1109/rmc55984.2022.10079335.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО СОСТАВЛЯЮЩИХ АМПЛИТУДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ДЕТЕКТОРЕ ПРОТОНОВ ОТДАЧИ

И. С. Вершинин, А. В. Долгополов, В. В. Гаганов

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный
центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира 37
otd4@expd.vniief.ru

Одним из основных детекторов нейтронов, применяемых на генераторе НГ-11И, является детектор протонов отдачи, образующихся при взаимодействии быстрых нейтронов с водородосодержащим конвертором. Конструктивно детектор представляет собой вакуумный герметичный цилиндрический бокс, выполненный из нержавеющей стали, внутри которого соосно располагаются тонкий полиэтиленовый диск (конвертер) и цилиндрический кристалл CsI (сцинтиллятор). Во внутреннем объеме детектора поддерживается вакуум, что обеспечивает беспрепятственный пролёт протонов отдачи от конвертера к сцинтиллятору. В ходе измерений регистрируется распределение амплитуд импульсов детектора, которое соответствует энергетическому спектру регистрируемых частиц.

В ходе эксплуатации детектора было обнаружено, что заряженные частицы, образующиеся при взаимодействии нейтронов с конструктивными элементами детектора, вносят существенный вклад в регистрируемый спектр. В рамках данной работы методом Монте-Карло в программном комплексе PHITS 2.88 было выполнено моделирование переноса частиц внутри детектора и изучен вклад, вносимый протонами отдачи, образующимися в конвертере и другими частицами, образующимися в конструктивных элементах в регистрируемый спектр.

Получена оценка вклада электронов и альфа-частиц в амплитудные распределения протонов отдачи, регистрируемых детектором при работе генератора НГ-11И. Определено влияние конструкционных материалов детектора на амплитудное распределение протонов, электронов и альфа-частиц. Представлены результаты сравнения расчётных и экспериментальных амплитудных распределений.

MONTE-CARLO METHOD SIMULATION OF AMPLITUDE DISTRIBUTION COMPONENTS IN PROTON RECOIL DETECTOR

I. S. Vershinin, A. V. Dolgoplov, V. V. Gaganov

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute
of Experimental Physics» Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave 37
otd4@expd.vniief.ru

One of the main neutron detectors, applied on generator NG-11I, is a proton recoil detector, being formed under interaction between fast neutrons and a hydrogenous converter. Structurally, the detector represents a vacuum sealed cylindrical box, made of stainless steel, inside of which a thin polyethylene disk (converter) and a cylindrical crystal CsI (scintillator) are located in alignment. Vacuum is maintained in the inner detector volume, what provides a free path of recoil protons from the converter to the scintillator. In measurements registered is distribution of detector's pulse amplitudes, which corresponds to energy spectrum of registered particles.

During detector operation it was detected that charged particles, being formed under interaction between neutrons and structural components of the detector, contribute significantly to the registered spectrum. Within the framework of these efforts by Monte-Carlo method in software package PHITS 2.88 there was simulated particles' transport inside detector, and studied a contribution, made by recoil protons, being formed in converter, and other particles, forming a registered spectrum in structural components.

Obtained was evaluation of electron and alpha-particle contribution to amplitude distributions of recoil protons, registered by detector under operation of generator NG-11I. Specified is an effect of detector's structural components on amplitude distribution of protons, electrons and alpha-particles. Presented are comparison results of calculation and experimental amplitude distributions.

ШЕСТИДЕТЕКТОРНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С РАЗДЕЛЕНИЕМ ИХ ВИДА МЕТОДОМ $\Delta E-E$

**О. П. Вихлянцев, Н. В. Завьялов, Л. Н. Генералов, А. В. Курякин, И. А. Карпов,
Н. Е. Гурин, А. Д. Тумкин, С. В. Фильчагин, Д. С. Дроздова**

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский
институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира 37
otd4@expd.vniief.ru

На электростатическом тандемном ускорителе ЭГП-10 (РФЯЦ-ВНИИЭФ) [1] используется аппаратно-программный комплекс [2] для регистрации заряженных частиц с разделением их вида методом $\Delta E-E$. С течением времени комплекс получил свое дальнейшее развитие: выполнена замена всех шести $\Delta E-E$ телескопов и проведена модернизация спектрометрических каналов регистрации сигналов. Шестидетекторный спектрометр на базе новых телескопов и ядерно-физической аппаратуры позволил улучшить качество регистрации первичных данных и увеличить скорость набора.

Новые $\Delta E-E$ телескопы производства «Физико-Технического Института имени А. Ф. Иоффе» РАН, г. Санкт-Петербург включают в себя зарядочувствительные предварительные усилители, расположенные в корпусе телескопа в непосредственной близости к кремниевым детекторам. Данная компоновка телескопов позволила уменьшить шумы и повысить энергетическое разрешение спектрометрических каналов.

Модернизация спектрометрического измерительно тракта заключалась в замене усилительной и измерительной аппаратуры. Используемые усилители были заменены на специальные 8-канальные спектрометрические усилители-формирователи типа 8-Chann SA-MUX производства ООО «ТехИнвест» г. Дубна. Используемый аналого-цифровой преобразователь был заменен на двухканальный аналого-цифровой преобразователь типа RA27n производства ООО «ТехИнвест» г. Дубна. Спектрометрические измерительные каналы, построенные на данной аппаратуре, имеют большее быстродействие, что позволило повысить скорость набора спектрометрической информации.

Список литературы

1. С. Н. Абрамович // ВАНТ, Физика ядерных реакторов, спец. выпуск, ТИЯС-XI, 1997. с. 4.
2. О. П. Вихлянцев, Л. Н. Генералов, А. В. Курякин, И. А. Карпов, Н. Е. Гурин, А. Д. Тумкин, С. В. Фильчагин // Ядерная физика и инжиниринг, 2016, том 7, № 4, с. 326–335.

SIX-DETECTOR SPECTROMETER OF CHARGED PARTICLES WITH THEIR TYPE SEPARATION BY METHOD $\Delta E-E$

**O. P. Vikhlyantsev, N. V. Zavyalov, L. N. Generalov, A. V. Kuryakin, I. A. Karpov,
N. Ye. Gurin, A. D. Tumkin, C. V. Fil'chagin, D. S. Drozdova**

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of
Experimental Physics» Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave 37
otd4@expd.vniief.ru

On electrostatic tandem accelerator EGP-10 (RFNC-VNIIEF) [1] a hardware-software complex [2] is used to register charged particles with their type separation by method $\Delta E-E$. With time the complex has come into its further development: all six $\Delta E-E$ telescopes have been changed and spectrometer signal-recording channels have been modernized. A six-detector spectrometer based on new telescopes and nuclear physics equipment allows improvement of quality of initial data recording and collection rate increase.

New ΔE -E telescopes, produced by «A.F. Ioffe Physical-Technical Institute» RAS, St. Petersburg involve charge-sensitive preamplifiers, placed in a telescope body in immediate proximity to silicon detectors. The given arrangement of telescopes has allowed decrease of noises and heightening of spectrometry channel energy resolution.

To update a spectrometer measuring channel, amplifying and gaging equipment was changed. Used amplifiers were changed for special 8-channel spectrometer amplifiers of 8-Chann SA-MUX type, produced by LLC “TekhInvest”, Dubna. Applied analog-digital converter was replaced for two-channel analog-digital converter of PA27n type by production of LLC “TekhInvest”, Dubna. Spectrometer measuring channels, built on this equipment, have a high performance that made it possible to increase the speed of the spectrometric information collection.

References

1. S. N. Abramovich // VANT, Nuclear Reactors Physics, Special issue TIYaS-XI, 1997. p.4
2. O. P. Vikhlyantsev, L. N. Generalov, A. V. Kuryakin, I. A. Karpov, N. Ye. Grunin, A. D. Tumkin, S.V. Fil’chagin // Nuclear Physics and Engineering, 2016, volume 7, № 4, p. 326–335.

ПОИСК ТОЧЕЧНЫХ ЭМИССИОННЫХ ЦЕНТРОВ МЕТОДАМИ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ НА КАТОДЕ МНОГОПРОВОЛОЧНОЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ КАМЕРЫ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТА НА БАК

М. Э. Бузоверя¹, И. А. Карпов¹, А. Ю. Архипов¹, Г. Е. Гаврилов^{2*},
А. А. Дзюба², О. Е. Маев², М. В. Суясова²

¹ Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира 37

² Петербургский институт ядерной физики НИЦ «Курчатовский институт»,
188300, Ленинградская область, г. Гатчина, Орлова роща 1, Россия

* gavrilov_ge@pnpi.nrcki.ru

На сегодняшний день единственной проблемой, связанной с радиационной стойкостью, многопроволочных пропорциональных камер (МПК), работающих на БАК [1, 2], являются спонтанные самоподдерживающиеся токи, вызывающие аварийное отключение или понижение высоковольтного питания в детекторах. Исследования МПК, демонтированных из экспериментальных установок из-за постоянного возникновения таких токов, показали, что причиной эффекта являются точечные центры эмиссии электронов на поверхности катодных плоскостей [3]. Оценка величины тока эмиссии на катоде по величине наблюдаемых скачков тока в МПК показала 0.1–2 нА, что совпадает с токами при низкопороговой эмиссии углеродных наноструктур, специально получаемых в лабораториях [4, 5].

Появление подобных структур вполне реально и в МПК. Рабочие газовые смеси в мюонных МПК из CMS и LHCb обычно содержат углеродосодержащие молекулы ($\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{CF}_4$), которые диссоциируют в газоразрядной плазме у анодных проволочек. В представленной работе показано, что продукты этих реакций вызывают островковую карбонизацию медной фольги на катоде. В итоге, эмиссия таких точечных углеродных наноструктур из-за газового усиления на анодных проволочках дает макроскопический эффект в МПК: всплеск тока на десятки микроампер.

С целью обнаружения на катоде наноструктур, обладающих способностью к эмиссии электронов в электрическом поле детектора ($E_{\text{кат}} \sim 5000 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$), была исследована МПК, демонтированная из экспериментальной установки LHCb. Поиск проводился путем последовательного применения методов атомно-силовой микроскопии, начиная с полуконтактных фазовых и топографических измерений, и заканчивая измерениями токовых характеристик на предварительно выделенных участках поверхности. Особенностью исследования было стабильное несменяемое положение образцов в микроскопе и использование одного кантилевера во всех фазах исследований.

Список литературы

1. The LHCb collaboration et. al. // JINST. 2008. 3 S08005.
2. The CMS collaboration et. al. // Nucl. Instrum. Meth. A494:504-508, 2002.
3. Albicocco F.P., Anderlini L., Anelli M. et al. // JINST. 2019. V.14. Art. P11031.
4. Obraztsov A.N., Zolotukhin A.A., Ustinov A.O.// Carbon. 2003. V. 41. No. 4. P. 836.
5. Иванов А.И., Небогатикова Н.А. и др. // ФТП. 2017. Т. 51. № 10. С. 1357.

SEARCH FOR THE CENTERS OF POINT EMISSION BY ATOMIC FORCE MICROSCOPY AT THE CATHODE OF A MULTIWIRE PROPORTIONAL CHAMBER FROM THE EXPERIMENT AT THE LHC

**M. E. Buzoverya¹, I. A. Karpov¹, A. Yu. Arkhipov¹, G. E. Gavrilov²,
A. A. Dzyuba², O. E. Maev², M.V. Suyasova²**

¹ Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics» Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave 37

² Petersburg Nuclear Physics Institute, National Research Center “Kurchatov Institute,” Gatchina, Leningrad. oblast, 188350 Russia

* gavrilo_v_ge@pnpi.nrcki.ru

To date, the only problem associated with the radiation resistance of the multiwire proportional chambers (MWPC) operating at the LHC [1, 2] are spontaneous self-sustaining currents, the appearance of which leads to an emergency shutdown or a decrease of the high-voltage power supply at the detectors. Studies of MWPCs dismantled from experimental facilities due to the constant occurrence of such currents showed that the effect is caused by the pointlike centers of electron emission on the surface of the cathode planes [3]. According to estimates based on the magnitude of the observed current jumps in the MWPC, the emission current at the cathode ranges from 0.1 to 2 nA, which coincides with the currents of the low-threshold emission from carbon nanostructures produced in the laboratory [4, 5].

The appearance of such structures is quite real in the MWPC. Working gas mixtures in the muon MWPC from CMS and LHCb usually contain carbon-containing molecules ($\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{CF}_4$), which dissociate in the gas-discharge plasma near the anode wires. The present work shows that the products of these reactions lead to island carbonization of the copper foil on the cathode. As a result, the emission from such pointlike carbon nanostructures due to the gas amplification in vicinity of the anode wires gives a macroscopic effect in the MWPC: a current surge of tens of microamperes.

In order to detect the nanostructures capable of emitting electrons in the electric field on the cathode ($E_{\text{cath}} \sim 5000 \text{ V}\cdot\text{cm}^{-1}$), we studied the MWPC dismantled from the LHCb experiment. The search was carried out by successive application of the atomic force microscopy methods, starting with semi-contact topographic and phase measurements and ending with measurements of current characteristics at the pre-selected areas of the sample surface. A feature of the study was the stable unchangeable position of the samples at the microscope and using only one cantilever in all phases of the search.

References

1. The LHCb collaboration et. al. // JINST. 2008. 3 S08005.
2. The CMS collaboration et. al. // Nucl. Instrum. Meth. A494:504-508, 2002.
3. Albicocco F. P., Anderlini L., Anelli M. et al. // JINST. 2019. V.14. Art. P11031.
4. Obraztsov A. N., Zolotukhin A. A., Ustinov A. O. // Carbon. 2003. V. 41. No. 4. P. 836.
5. Ivanov A. I., Nebogatikova N. A. et al. // FTP. 2017. V. 51.No 10. P. 1357.

ДЕТЕКТОРЫ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАССЕЙВАТЕЛЕМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ И ВЫСОКОДОЗНЫХ ПОЛЕЙ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**О. А. Горелова, А. В. Грунин, А. Н. Залялов, К. Н. Ковшов,
С. А. Лазарев, А. Г. Малькин, М. С. Миронов, Н. К. Миронов**

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный
центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира 37
otd4@expd.vniief.ru

Проблема обеспечения функционирования аппаратуры в условиях воздействия ионизирующих актуализировалась в 60-е годы прошлого века. Интенсивно исследуются различные физические процессы в полупроводниках и диэлектриках, изделиях электронной компонентной базы, приборах и в сложных технических системах. В последние годы произошли существенные изменения в метрологическом обеспечении измерений, и как частный случай, испытаний. Эти изменения связаны, во-первых, с расширением круга задач испытаний и повышенными требованиями к точности результатов, во-вторых, с совершенствованием действующих и созданием новых испытательных установок и средств измерений и, в-третьих с изменениями нормативной базы метрологии в сторону их ужесточения. Возникает необходимость обобщить имеющийся опыт разработки детекторов высокоинтенсивных излучений и определить перспективы их использования в современных условиях.

В докладе на примере оптимизации сферического детектора для регистрации амплитудно-временных характеристик тормозного излучения (ТИ) установки ЛИУ-30 демонстрируются возможности по расчетам методом Монте-Карло по программе СМК энергетической зависимости чувствительности моделей сферического детектора при различных конструктивных размерах и материалах его составных частей.

Перспективным вариантом практического применения детекторов с диэлектрическим рассеивателем [1] является использование простых и надежных детекторов-компараторов для обеспечения передачи размера единицы экспозиционной дозы от статического эталонного γ -источника к рабочим средствам измерений и к мощным источникам ТИ, работающим в импульсном режиме. Это позволит повысить точность измерений экспозиционной дозы в полях мощных импульсных источников ТИ.

DETECTORS WITH DIELECTRIC SCATTERER FOR CHARACTERISTICS MEASURING OF HIGH-INTENSITY AND HIGH-DOSE BREMSSTRAHLUNG FIELDS

**O. A. Gorelova, A. V. Grunin, A. N. Zalyalov, K. N. Kovshov, S. A. Lazarev,
A. G. Mal'kin, M. S. Mironov, N. K. Mironov**

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of
Experimental Physics» Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave 37
otd4@expd.vniief.ru

The problem of supplying equipment operation under ionizing effect was acute in the 1960-s of the last century. Various physical processes in semi-conductors and dielectrics, products of electronic component base (ECB), apparatuses and those in complex engineering systems are studied strongly. Recently significant changes have taken place in metrological assurance of measurements, and, particularly, tests. These changes are related to, firstly, extension of scope of test functions and raised standards of results' accuracy, secondly, improvement of active and development of new test units and measuring instruments and, thirdly, changes of metrology regulatory system towards their toughening. A necessity arises to summarize available experience of development of high-intensity radiation detectors and to determine prospects for their employment under present-day conditions.

By the example of optimization of spherical detector meant for recording amplitude-time characteristics of LIU-30 installation bremsstrahlung, the report shows capabilities based on Monte-Carlo method calculations by program SMK of energy dependence of models' sensitivity of spherical detector at different structural dimensions and materials of its component parts.

Promising variant for practice of detectors with dielectric scatterer [1] is application of simple and reliable comparator detectors to supply transfer of a unit value of exposure dose from static standard γ - source to ordinary measuring instruments and to high-power bremsstrahlung sources, operating in a pulsed operation. This allows measurement precision rise of exposure dose in fields of high-power pulsed bremsstrahlung sources.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРВИЧНЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АДРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКИХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЙ

**И. И. Дегтярев, Ф. Н. Новоскольников, О. А. Ляшенко,
Р. Ю. Синюков, Д. А. Цветков, А. Р. Селезнева**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт физики высоких энергий имени А. А. Логанова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», 142281, Московская область, город Протвино, площадь Науки, дом 1, Тел.: (4967) 71-36-23, Факс: (4967) 74-28-24, Email: fgbu@ihep.ru, Igor.Degtyarev@ihep.ru

В работе приводится описание физических основ математической модели первичных радиационных повреждений твердых тел, облучаемых адронным излучением низкого и промежуточного диапазона энергий. Рассмотрены следующие этапы генерации дефектов: первично выбитые атомы, каскады атом-атомных столкновений (динамическая стадия формирования повреждений) на основе 6 типов каскадных функций. Программная реализация описанной модели включена в состав программного комплекса RTS&T [1, 2], предназначенного для статистического моделирования связанного переноса многокомпонентного (200 типов частиц, и ионов) излучения в гетерогенных пространственно-неоднородных геометриях произвольной степени сложности в диапазоне энергий 10^{-11} эВ – 20 ТэВ. В докладе приведено сравнение результатов численного моделирования характеристик облучения боросиликатного стекла, предназначенного для иммобилизации радиоактивных отходов, с экспериментальными данными.

Список литературы

[1] I. I. Degtyarev, F. N. Novoskoltsev, O. A. Liashenko, E. V. Gulina, L. V. Morozova // RTS&T-2014 code status, Nuclear Energy and Technology, Volume 1, Issue 3, November 2015, Pages 222-225.

[2] И. И. Дегтярев, Ф. Н. Новоскольников, О. А. Ляшенко, Р. Ю. Синюков, Е. В. Алтухова, А. И. Блохин, П. А. Блохин, А. А. Пряничников // RTS&T-2021 — Обновленный комплекс программ статистического моделирования связанного переноса многокомпонентного излучения в гетерогенных пространственно-неоднородных средах, Сборник трудов XI Российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях», Москва, 26–29 октября 2021 года, т. 3, с. 148.

MATHEMATICAL MODEL OF PRIMARY RADIATION DAMAGES OF SOLIDS IRRADIATED BY LOW- AND INTERMEDIATE ENERGY HADRONS

**I. I. Degtyarev, F. N. Novoskoltsev, O. A. Liashenko, R. Yu. Sinyukov,
D. A. Tzvetkov, A. R. Selezneva**

Institute for High Energy Physics named by A.A. Logunov of NRC “Kurchatov Institute”, 142281,
Moscow reg., Protvino, Nauki sq. 1, E-mail: fgbu@ihep.ru, Igor.Degtyarev@ihep.ru

The report describes the physical foundations of the mathematical model for primary radiation damages of solids irradiated by low- and intermediate energy hadrons. The following stages of defect generation are considered: primarily knocked-out atoms, atomic-atomic collision cascades (dynamic stage of damage formation) based on 6 types of cascade functions. The software implementation of the described model is included in the RTS&T code system [1,2], designed for statistical modelling of the associated transport of multicomponent (200 types of particles and ions) radiation in heterogeneous spatially heterogeneous geometries of arbitrary degree of complexity in the energy range of 10^{-11} eV - 20 TeV. The report compares the results of numerical modelling of the radiation characteristics of borosilicate glass intended for immobilization of radioactive waste with experimental data.

References

[1] I. I. Degtyarev, F. N. Novoskoltsev, O. A. Liashenko, E. V. Gulina, L. V. Morozova // RTS&T-2014 code status, Nuclear Energy and Technology, Volume 1, Issue 3, November 2015, Pages 222-225.

[2] I. I. Degtyarev, F. N. Novoskoltsev, O. A. Lyashenko, R. Yu. Sinyukov, E. V. Altukhova, A. I. Blokhin, P. A. Blokhin, A. A. Pryanichnikov // The RTS&T-2021 – updated code for statistical modeling of coupled transport of multicomponent radiation in heterogeneous spatially inhomogeneous media, Proceedings of the XI Russian Scientific Conference "Radiation Protection and Radiation Safety in Nuclear Technologies", Moscow, October 26-29, 2021, vol. 3, p. 148.

К ТЕСТИРОВАНИЮ ПОРОГОВЫХ SiO_2 АЭРОГЕЛЕВЫХ ЧЕРЕНКОВСКИХ ДЕТЕКТОРОВ НА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ (МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИЗМЕРЕНИЯ)

**А. Л. Полонский, А. М. Лапик, Л. З. Джилавян*, В. П. Лисин,
В. Н. Пономарёв, Н. В. Руднев, А. В. Русаков**

Институт ядерных исследований Российской академии наук,
117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а
т. (499)1352112, ф. (499)1352268
*E-mail: dzhil@inr.ru

Пороговые SiO_2 аэрогелевые черенковские детекторы с выбранными показателями преломления широко используются для разделения заряженных пионов и каонов [1]. Необходимые для таких детекторов тестирования и калибровки, определяющие их существенные характеристики (полную эффективность регистрации, распределение числа просматривающих детектор «активированных» фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) и др.), можно проводить и на пучках ускорителей, и на космических лучах [2]. В предыдущей нашей работе [3] предложен метод тестирования таких детекторов на космических лучах, использующий минимальное количество добавочной «электроники» и не требующий массивные слои Pb- поглотителя [2]. В настоящей работе сопоставляются данные экспериментов и моделирования, учитывающего: описание дифференциального по энергии и углам потока мюонов в космических лучах; образование, отражение, поглощение черенковских фотонов и их вылет из облучаемой мишени; квантовую эффективность фотокатодов в используемых ФЭУ.

Список литературы

1. S. Alef *et al.* // Eur. Phys. J. 2020. Vol. 56. Issue 4. P. 104.
2. A. R. Buzykaev. Development of Cherenkov ASHPH counters for the KEDR detector. The candidate of sciences (physics – mathematics) dissertation. G. I. Budker Institute of Nuclear Physics. Novosibirsk. 2017.
3. A. M. Lapik *et al.* // Moscow University Physics Bull., 2023, No. 1.

TO TESTS OF THRESHOLD SILICA AEROGEL CHERENKOV DETECTORS ON COSMIC RAYS (SIMULATION AND MEASUREMENTS)

**A. L. Polonski, A. M. Lapik, L. Z. Dzhilavyan *, V. P. Lisin,
V.N. Ponomarev, N.V. Rudnev, A.V. Rusakov**

Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences.
7a, 60th October Anniversary Prospect, Moscow 117312, Russia
phone: (499)1352112, fax: (499)1352268
*E-mail: dzhil@inr.ru

Threshold SiO₂ aerogel Cherenkov detectors with chosen refractive indices are widely used to separate charged pions and kaons [1]. The tests and calibrations necessary for such detectors, which determine their essential characteristics (total detection efficiency, distribution of the number of "activated" photomultiplier tubes (PMTs) viewing the detector, etc.), can be carried out both on accelerator beams and on cosmic rays [2]. In our previous work [3], we proposed a method for testing such detectors on cosmic rays, which uses a minimum amount of additional "electronics" and does not require massive layers of Pb- absorber [2]. In this work, the data of experiments and simulations are compared, taking into account: the description of the muon flux in cosmic rays differential in energy and angles; formation, reflection, absorption of Cherenkov photons and their escape from the irradiated target; quantum efficiency of photocathodes in the used PMTs.

References

1. S. Alef *et al.* // Eur. Phys. J. 2020. Vol. 56. Issue 4. P. 104.
2. A. R. Buzykaev. Development of Cherenkov ASHPH counters for the KEDR detector. The candidate of sciences (physics – mathematics) dissertation. G.I. Budker Institute of Nuclear Physics. Novosibirsk. 2017.
3. A. M. Lapik *et al.* // Moscow University Physics Bull., 2023, No. 1.

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛЮЕНСА НЕЙТРОНОВ И МОЩНОСТИ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ ГАММА - ИЗЛУЧЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ЗАЛЕ ГЕНЕРАТОРА НГ-11И

А. В. Долгополов, В. В. Гаганов

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный
центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира 37
otd4@expd.vniief.ru

Выполнено детальное моделирование работы генератора НГ-11И при использовании мишени с дейтериевым насыщением. Получены расчетные оценки энергетического спектра DD-нейтронов, исходящих из мишенного узла нейтронного генератора при ускоряющем напряжении 160 кВ. Показано влияние элементов конструкции мишенного узла, стен и

дополнительного оборудования экспериментального зала на формирование спектра нейтронов и гамма излучения в экспериментальном зале НГ-11И. Представлены результаты расчёта пространственного распределения флюенса нейтронов и мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в экспериментальном зале генератора НГ-11И.

CALCULATION STUDIES OF SPATIAL DISTRIBUTION OF NEUTRON FLUENCE AND POWER OF GAMMA-RAY EQUIVALENT DOSE IN GENERATOR NG-11I EXPERIMENTAL HALL

A. V. Dolgoplov, V. V. Gaganov

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics», Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave 37
otd4@expd.vniief.ru

Generator NG-11I operation was simulated in detail, using targets with deuterium saturation. Obtained were calculation estimates of DD-neutron energy spectrum, exiting the neutron generator target unit at accelerating voltage 160 kV. The paper describes an effect of structural target unit elements, walls and auxiliary equipment of experimental hall on formation of neutron and gamma-radiation spectra in experimental hall. Here are presented calculation results of spatial distribution of neutron fluence and equivalent gamma-ray dose rate in the generator NG-11I experimental hall.

РАДИАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ SiC-ДЕТЕКТОРОВ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ НЕЙТРОНАМИ

**С. А. Евсеев ^{а,1}, Ю. Б. Гуров ^{а,6}, М. С. Довбненко^а, Н. И. Замятин ^а, Ю. А. Копылов ^а,
С. В. Розов ^а, В. Г. Сандуковский ^а, Е. А. Стрелецкая ^а, Л. Грубчин ^{а,в}, Б. Затько ^в**

^аОбъединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ),
141980, Россия, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6,
тел.: +7 (496) 216-40-40, факс: +7 (496) 216-51-46, e-mail: post@jinr.ru

^бНациональный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва,

^вЭлектротехнический институт, Словацкая академия наук, Братислава, Словакия

¹E-mail: evseevsa@jinr.ru

Представлены результаты исследования детекторов из карбида кремния (SiC) при облучении нейтронами. SiC-детекторы были изготовлены на основе эпитаксиального слоя 4H-SiC n-типа проводимости [1, 2]. Толщина эпитаксиального слоя n-типа составляла 50 мкм. Контакты Шоттки диаметром 3,0 мм были изготовлены путем вакуумного испарения двойного слоя Ni и Au толщиной 10 и 30 нм соответственно. Исходное энергетическое разрешение детекторов составляло < 25 кэВ для α -частиц.

Радиационная стойкость SiC-детекторов исследовалась на основе анализа характеристик этих приборов до и после облучения быстрыми нейтронами с интегральными потоками 5.1×10^{13} , 5.4×10^{14} , 3.4×10^{15} н/см². Облучение проводилось на импульсном реакторе ИБР-2М (ОИЯИ). Для калибровки и контроля спектрометрических характеристик SiC-детекторов использовался α -источник ²²⁶Ra.

Показано, что после нейтронного облучения наблюдалась значительная деградация: пики от α -частиц сместились в сторону меньших каналов и стали значительно шире. Установлено, что с увеличением нейтронного потока энергетическое разрешение ухудшается в два, десять и двадцать раз соответственно. При этом эффективность сбора заряда (CSE) снизилась с 100% до 96%, 70% и 1% (рабочее напряжение 350 В) при потоках нейтронного излучения 5.1×10^{13} , 5.4×10^{14} , 3.4×10^{15} н/см² соответственно.

Работа поддержана грантом ОИЯИ для молодых специалистов № 23-202-03.

Список литературы

1. Yu. B. Gurov et al. // Instrum. Exp. Tech. 2015. V. 1. P. 22.
2. Yu. B. Gurov et al. // JINST. 2018. V. 13. P11005.

RADIATION DAMAGE OF SiC DETECTORS UNDER NEUTRON IRRADIATION

Evseev S.^{a,1}, Gurov Yu.^{a,b}, Dovbnenko M.S.^a, Kopylov Yu.^a, Rozov S.^a, Sandukovsky V.^a, Streletskaia E.^a, Zamyatin N.^a, Hrubcin L.^{a,c}, Zat'ko B.^c

^a Joint Institute for Nuclear Research (JINR), 6 Joliot-Curie St, Dubna, Moscow Region, Russia, 141980, phone: +7 (496) 216-40-40, fax: +7 (496) 216-51-46, e-mail: post@jinr.ru

^b National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia

^c Institute of Electrical Engineering, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia

¹ E-mail: evseevsa@jinr.ru

The results of an investigation of silicon carbide (SiC) detectors when irradiated with neutrons are presented. SiC detectors were manufactured on the basis of the epitaxial layer of 4H-SiC n-type conductivity [1, 2]. The thickness of n-type epitaxial layer was 50 μm . Schottky barrier contacts with a diameter of 3.0 mm were made by vacuum evaporation of a double layer of Ni and Au 10 and 30 nm thick. The initial energy resolution of detectors was < 25 keV for α -particles.

The radiation resistance of SiC detectors was studied experimentally by analyzing their characteristics before and after fast neutron irradiation with integral fluxes of 5.1×10^{13} , 5.4×10^{14} , 3.4×10^{15} n/cm². The irradiation was carried out at the pulse reactor IBR-2M (JINR, Dubna). The α -source ²²⁶Ra that was used for calibration and control of spectrometric characteristics of SiC detectors.

It is shown that after neutron irradiation, significant degradation was observed: the peaks from the alpha particles shifted towards smaller channels and became much wider; with an increase in the flux, the energy resolution degrades by two, ten and twenty times; the charge collection efficiency (CCE) decreased from 100% to 96%, 70% and 1% (operating voltage 350 V) at the neutron irradiation fluxes of 5.1×10^{13} , 5.4×10^{14} , 3.4×10^{15} n/cm², respectively.

The work was supported by the JINR grant for young specialists № 23-202-03.

References

1. Yu. B. Gurov et al. // Instrum. Exp. Tech. 2015. V. 1. P. 22.
2. Yu. B. Gurov et al. // JINST. 2018. V. 13. P11005.

КИНЕТИКА СИГНАЛА КРЕМНИЕВОГО ДЕТЕКТОРА ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ДЛИННОПРОБЕЖНЫХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

В. К. Еремин, Н. Н. Фадеева, Е. М. Вербицкая, И. В. Еремин, Д. Д. Митина

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук

194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

Телефон: (812) 292-7953, факс: (812) 297-1017

vladimir.eremin@mail.ioffe.ru

Кремниевые планарные детекторы как универсальные сенсоры ионов широко используются для трекинга ионов, их спектрометрии и определения массы. В то же время известный эффект замедления роста электрического сигнала при регистрации тяжелых ионов, называемый плазменным эффектом, существенно ограничивает временные характеристики детекторов. В работе представлены результаты исследования формы импульсного токового

сигнала, генерируемого в кремниевом планарном детекторе при регистрации тяжелого иона, пробег которого превышает толщину чувствительной области детектора (Long-Range Heavily Particle, LRHP), и электронно-дырочная плазма образуется на всей толщине прибора. Моделирование динамики распределения электрического поля вдоль оси трека, выполненное в предположении, что трек LRHP подобен цилиндру с однородной концентрацией носителей заряда, показало, что она включает быструю и медленную стадии. Быстрая стадия длительностью ~ 100 пикосекунд связана с поляризацией трека, и ей соответствует пик тока с предельно резким фронтом. Время нарастания тока в пике определяется временем пролета LRHP через чувствительную область детектора, т. е. временем образования плазмы, что составляет единицы пикосекунд. Форма и амплитуда токового сигнала может быть описана аналитически, что важно для и обработки результатов. Медленная стадия определяет спад тока в отклике детектора и поэтому не влияет на временное разрешение. Процессы в треке тяжелого иона иллюстрируются результатами математического моделирования и согласуются с ранее опубликованными данными по наблюдению кинетики сигнала кремниевых детекторов при регистрации тяжелых ионов.

KINETICS OF THE SILICON DETECTOR SIGNAL IN REGISTERING LONG-RANGE HEAVY IONS

V. Eremin, N. Fadeeva, E. Verbitskaya, I. Eremin, D. Mitina

Ioffe Institute
194021, 26 Politekhnikeskaya st., St. Petersburg
(812) 292-7953, fax: (812) 297-1017
vladimir.eremin@mail.ioffe.ru

Silicon planar detectors are widely used as universal ion sensors for ion tracking, spectrometry, and mass definition. At the same time, the well-known effect of slowing down the signal rise during the detection of heavy ions, so-called the plasma effect, significantly limits the detector timing characteristics. The paper presents the results of studying the shape of a current pulse signal generated in a silicon planar detector while registering a heavy ion whose range exceeds the thickness of the detector sensitive region (Long-Range Heavy Particles, LRHP), and electron-hole plasma arises over the entire device thickness. The simulation of the dynamics of the electric field distribution along the track axis performed with the assumption that the LRHP track is similar to a cylinder with a uniform concentration of charge carriers showed that it includes fast and slow stages. The fast stage with duration of about 100 ps is associated with the track polarization, and it corresponds to a current peak with an extremely sharp rise. The rise time of the peak current is determined by the time of LRHP traversing of the detector sensitive region, i.e. plasma formation time, which is a few picoseconds. The shape and the amplitude of the current signal can be described analytically, which is important for processing the results. The slow stage controls a current decay in the detector response and therefore does not affect time resolution. The processes in the track of heavy ions are illustrated by the results of mathematical modeling and agree with previously published data on the signal kinetics of silicon detectors in the heavy ions registration.

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ОЯТ

К. В. Ершов^{1,2}, С. Е. Белов¹

¹ АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина»

²Петербургский институт ядерной физики НИЦ «Курчатовский институт», 188300,
Ленинградская область, г. Гатчина, Орлова роща 1, Россия
Ershov.k@khlopin.ru

Настоящая работа касается разработки и апробации опытной установки (средства измерения), предназначенной для контроля гидрометаллургического передела ОЯТ с помощью неразрушающих методов анализа. В установке используются ядерно-физические методы регистрации ионизирующих излучений и математической обработки полученных сигналов.

Создана многопараметрическая система регистрации, состоящая из анализатора импульсов (на четыре входа), детекторов ионизирующего альфа-, бета-, гамма- и рентгеновского излучения, компьютера и специализированного программного обеспечения для анализа получаемых данных. Анализатор импульсов содержит четыре независимых канала регистрации: импульсы, приходящие от детекторов по каждому из каналов, анализируются по их амплитуде и времени поступления в анализатор. Программное обеспечение позволяет визуализировать и анализировать амплитудные спектры по каждому из каналов, вычислять число совпадений между любыми двумя каналами, временное окно схемы совпадений регулируемое. Из полученной совокупности данных определяется состав и удельные концентрации радионуклидов.

На настоящий момент система укомплектована двумя сцинтилляционными гамма детекторами с кристаллами *NaI(Tl)* толщиной 20мм, β -детектором на основе пластикового сцинтиллятора, сцинтилляционным рентгеновским детектором с кристаллом *NaI(Tl)* толщиной 3мм, и PIPS-детектором для регистрации α -излучения. В различных конфигурациях система может регистрировать, как α -, β -, γ - и рентгеновские спектры, так и α - γ , β - γ и γ - γ совпадения, в том числе в рентгеновской области энергий.

Как сообщалось ранее авторами в [1], система будет использоваться в составе программно-аппаратного комплекса, использующего различные методы контроля, что позволит получить более широкий набор параметров технологического контроля гидрометаллургического передела ОЯТ.

Литература

[1] Агафонова-Мороз М. С. и др. Новые комплексные системы для технологического контроля растворов при переработке ОЯТ и обращении с РАО. Тезисы конференции Радиохимия 2022.

RECORDING MULTIPARAMETRIC SYSTEM IONIZING RADIATION TO DETERMINE THE COMPOSITION OF SNF

S. E. Belov¹, K. V. Ershov^{1,2}

¹V. G. Khlopin Radium Institute

²PNPI

This work concerns the development and testing of a pilot plant (measuring instrument) designed to control the hydrometallurgical process of SNF using non-destructive analysis methods. The installation uses nuclear physics methods for recording ionizing radiation and mathematical processing of the received signals.

A multiparametric registration system has been created, consisting of a pulse analyzer (with four inputs), detectors of ionizing alpha, beta, gamma and X-ray radiation, a computer and specialized software for analyzing the received data. The pulse analyzer contains four independent recording channels: the pulses coming from the detectors on each of the channels are analyzed by their amplitude and time of arrival in the analyzer. The software allows you to visualize and analyze the

amplitude spectra for each of the channels, calculate the number of matches between any two channels, the time window of the coincidence scheme is adjustable. From the obtained data set, the composition and specific concentrations of radionuclides are determined.

At the moment, the system is equipped with two scintillation gamma detectors with a 20 mm thick NaI(Tl) crystal, a beta detector based on a plastic scintillator, a scintillation X-ray detector with a 3 mm thick NaI(Tl) crystal, and a PIPS detector for recording alpha radiation. In various configurations, the system can register both α -, β -, γ - and X-ray spectra, as well as α -, β -, and γ - γ coincidences, including in the X-ray energy region.

As previously reported by the authors in [1], the system will be used as part of a hardware and software complex using various control methods, which will allow obtaining a wider set of parameters for technological control of hydrometallurgical conversion of SNF.

References

[1] Agafonova-Moroz M. S. et al. New integrated systems for technological control of solutions during SNF processing and RW management. Abstracts of the Radiochemistry 2022 conference.

ТРАНСМУТАЦИЯ Am-241 НА СИНХРОТРОНЕ ПИЯФ

И. Е. Алексеев¹, К. В. Ершов^{1,2}

¹ АО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина»

²Петербургский институт ядерной физики НИЦ «Курчатовский институт», 188300,

Ленинградская область, г. Гатчина, Орлова роща 1, Россия

Ershov.k@khlopin.ru

В отработанном ядерном топливе (ОЯТ) содержатся десятки радионуклидов. Часть из них может быть использована после переработки топлива, часть попадает в отходы. При этом отходы, содержащие короткоживущие изотопы, представляют наибольшую опасность, но быстро распадаются, долгоживущие радиоизотопы – малоактивны. Изотоп америция Am-241, обладает периодом полураспада в 432,6 года и достаточно активен 3,5 Кюри/г. В этой работе описан эксперимент по трансмутации (превращению) Am-241 в другие элементы при облучении нейтронами различных энергий. В качестве источника нейтронов использовался синхротрон ПИЯФ, где на установке ГНЕЙС нейтроны образуются в реакции спалейшн. Подробное описание нейтронного спалейшн-источника приведено в статье [1]

Ранее авторами была опубликована статья [2], где описывался эксперимент по мониторингу нейтронных потоков между контейнерами, заполненными водой и установленными под камерой ускорителя, вблизи внутренней свинцовой мишени установки ГНЕЙС. Контейнеры с водой использовались для замедления нейтронов, а между контейнерами устанавливались мониторы из нержавеющей стали. Эксперимент позволил оценить «температуру» нейтронов для различных толщин замедлителя и экспериментально определить точку максимального потока тепловых нейтронов. В данном эксперименте на подложку из нержавеющей стали был нанесен Am-241 (активность мишеней 1356-2535 Бк – 10.3–18.7 нг соответственно). Подложки из нержавеющей стали использовались в качестве мониторов потока. Для регистрации фактов трансмутации и определения потока нейтронов применялись методы альфа- и гамма-спектрометрии.

При облучении Am-241 нейтронами различных энергий возможен следующий спектр ядерных реакций [3] – см. табл. ниже.

Принимая во внимание малое время активации мишеней, разницу в сечениях ядерных реакций, в облученных образцах были обнаружены лишь характеристические альфа-линии (6069 и 6113 кэВ), сопровождающие распад ²⁴²Cm, при этом максимальное количество ²⁴²Cm, 0.0159% (в процентах от активности ²⁴¹Am) было обнаружено в мишени, где поток тепловых и эпитепловых нейтронов был максимальным.

Реакция	Энергетический порог, МэВ	Сечение, барн	Целевой продукт
n, γ	0	более 7000	$^{242}\text{Am} \rightarrow ^{242}\text{Cm}$ (83%) $^{242}\text{Am} \rightarrow ^{242}\text{Pu}$ (17%)
n, 2n	6.675	менее 0.3	$^{240}\text{Am} \rightarrow ^{240}\text{Pu}$
n, ^4He	0	менее 1	$^{238}\text{Np} \rightarrow ^{238}\text{Pu}$
n, $^4\text{He} + \text{n}$	0	данные отсутствуют	$^{237}\text{Np} \rightarrow ^{233}\text{Pa}$
n, p	0	данные отсутствуют	$^{241}\text{Pu} \rightarrow ^{241}\text{Am}$
n, d	2.265	данные отсутствуют	$^{240}\text{Pu} \rightarrow ^{236}\text{U}$
n, f	0	более 50	Z = 40-63 ($^{95}\text{Zr} \dots ^{156}\text{Eu}$)

Литература

1. Shcherbakov O. A., Vorobyev A. S., Ivanov E. M., et al., *Phys. Part. Nuclei*, 2018, vol. 49, p. 81–83.
2. Alekseev I. E., Belov S. E., Ershov K. V. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics volume 86, p. 1088–1091 (2022).
3. Brookhaven National Laboratory. National Nuclear Data Center. www.nndc.bnl.gov.

NUCLEAR TRANSMUTATION OF Am-241 ON THE PNPI SYNCHROTRON

I. E. Alekseev¹, K. V. Ershov^{1,2}

¹V. G. Khlopin Radium Institute

²PNPI

Spent nuclear fuel (SNF) contains dozens of radionuclides. Some of them can be used after fuel processing, some of the end up in nuclear waste. Wastes containing short-lived isotopes pose the greatest danger, but they decay quickly, long-lived radioisotopes are inactive. The isotope americium Am-241 has a half-life of 432.6 years and is quite active 3.5 Curies/g. This paper describes an experiment on the transmutation of Am-241 into other elements when irradiated with neutrons of various energies. A synchrocyclotron of the PNPI was used as a neutron source, where neutrons are formed in the spallation reaction at the internal target. A detailed description of the neutron source on the base spallation reaction is given in the article [1]

Earlier, the authors published an article [2] describing an experiment on monitoring neutron fluxes between containers filled with water and installed under the accelerator chamber, near the internal lead target. Containers with water were used to slow down neutron, and stainless steel monitors were installed between the containers. The experiment allowed us to estimate the "temperature" of neutrons for different thicknesses of the moderator and experimentally determine the point of the maximum flow of thermal neutrons. In this experiment, Am-241 was deposited on a stainless steel substrate (activity of targets 1356-2535 Bq – 10.3–18.7 ng, respectively). Stainless steel substrates were used as fluence monitors. Alpha and gamma spectrometry methods were used to register the facts of transmutation and determine the neutron flux.

When Am-241 is irradiated with neutrons of various energies, the following spectrum of nuclear reactions is possible [3] – see Table. below.

Reaction	reaction threshold, MeV	Cross section, B	The aim producte
n, γ	0	> 7000	$^{242}\text{Am} \rightarrow ^{242}\text{Cm}$ (83%) $^{242}\text{Am} \rightarrow ^{242}\text{Pu}$ (17%)
n, 2n	6.675	< 0.3	$^{240}\text{Am} \rightarrow ^{240}\text{Pu}$
n, ^4He	0	< 1	$^{238}\text{Np} \rightarrow ^{238}\text{Pu}$
n, $^4\text{He} + \text{n}$	0	Data absent	$^{237}\text{Np} \rightarrow ^{233}\text{Pa}$
n, p	0	Data absent	$^{241}\text{Pu} \rightarrow ^{241}\text{Am}$
n, d	2.265	Data absent	$^{240}\text{Pu} \rightarrow ^{236}\text{U}$
n, f	0	> 50	Z=40-63 ($^{95}\text{Zr} \dots ^{156}\text{Eu}$)

Taking into account the short activation time of the targets, the difference in the cross sections of nuclear reactions, only characteristic alpha lines (6069 and 6113 keV) accompanying the decay of ^{242}Cm were detected in the irradiated samples. The maximum amount of ^{242}Cm , 0.0159% (as a percentage of ^{241}Am activity) was detected in the target, where the flow of thermal and epithermal neutrons were the maximum.

References

- [1] Shcherbakov, O.A., Vorobyev, A.S., Ivanov, E.M., et al., *Phys. Part. Nuclei*, 2018, vol. **49**, p. 81–83
- [2] Alekseev I. E., Belov S. E., Ershov K. V. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics volume 86, p. 1088–1091 (2022)
- [3] Brookhaven National Laboratory. National Nuclear Data Center. www.nndc.bnl.gov

ФОТОАКТИВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОИЗОТОПОВ, РАСПАДАЮЩИХСЯ БЕЗ ИСПУСКАНИЯ ГАММА-КВАНТОВ, В ОБЛУЧЕННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ РЕАКТОРОВ

М. В. Желтоножская, Д. А. Юсюк, Ю. О. Балаба, А. П. Черняев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
* zhelton@yandex.ru, +7 (905) 579-87-83

В процессе штатной эксплуатации АЭС происходит активация нейтронами конструкционных материалов активной зоны и биологической защиты реактора. При снятии станции с эксплуатации перед осуществлением демонтажа, критически важными являются характеристика и паспортизация накопленных радиоактивных отходов в облученных конструкционных материалах АЭС. Естественный кальций в значительных количествах содержится в биологической защите реактора. В составе бетона кальций образует 55–65 % массы в зависимости от марки и типа бетона. Во время работы реактора из ^{40}Ca в результате (n, γ) реакции нарабатывается радиоизотоп ^{41}Ca с периодом полураспада 10^5 лет. Традиционно для определения активности ^{41}Ca используются радиохимические методы, однако для характеристики большой массы облученной нейтронами биологической защиты реактора осуществление работ этим способом будет крайне трудоемким и дорогостоящим.

Мы предлагаем использовать фотоактивационный подход для оценки активности ^{41}Ca в облученных бетонах биологической защиты реактора по активности ^{60}Co с периодом полураспада 5,27 лет. Для реализации предлагаемого подхода предлагается использование фотоядерной реакции $^{44}\text{Ca}(\gamma, p)^{43}\text{K}$. Расчетная погрешность предлагаемого метода составляет 5%. Его чувствительность составляет 0,5 Бк/г при использовании полупроводниковой гамма-спектрометрии. Предложенный подход упрощает идентификацию, контроль и сертификацию ^{41}Ca в облученных бетонах биологической защиты ядерных энергоблоков и различных типах радиоактивных отходов. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-29-01013).

PHOTOACTIVATION APPROACH TO DETERMINATION OF LONG-LIVED RADIOISOTOPES DECAYING WITHOUT GAMMA-QUANT EMISSION, IN REACTOR IRRADIATED STRUCTURAL MATERIALS

M. V. Zheltonozhskaya, D. A. Yusyuk, Yu. O. Balaba, A. P. Chernyaev

Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory 1, b. 2

* zhelton@yandex.ru, +7 (905) 579-87-83

During normal operation of a nuclear power plant, neutrons activate the reactor core's structural materials and the reactor biological shield. During the decommissioning of a nuclear facility, the characterization and certification of the accumulated radioactive waste in the irradiated NPP structural materials is of crucial importance. Natural calcium is present in significant amounts in the reactor's biological shield. In the composition of concrete, calcium accounts 55–65 % of the mass, depending on the brand and type of concrete. During reactor operation a ^{41}Ca radioisotope with a half-life of 10^5 years is formed from ^{40}Ca by the (n, γ) reaction. Traditionally, radiochemical methods are used to determine the activity of ^{41}Ca . However, to characterize a large mass of the neutron-irradiated biological reactor shield, carrying out work by this method will be extremely laborious and expensive.

We propose to use a photoactivation approach to assess the activity of ^{41}Ca in irradiated concretes of the reactor biological shield according to the activity of ^{60}Co with a half-life of 5.27 years. To implement the proposed approach, it is proposed to use the $^{44}\text{Ca}(\gamma, p)^{43}\text{K}$ photonuclear reaction. The estimated uncertainty of the proposed method is 5%. Its sensitivity is 0.5 Bq/g when using semiconductor gamma spectrometry. The proposed approach simplifies the identification, control and certification of ^{41}Ca in irradiated biological shielding concretes of nuclear power plants and various types of radioactive waste. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (Project No. 22-29-01013).

УЧЁТ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ В ОЦЕНКЕ СТОЙКОСТИ ЭКБ К ВОЗДЕЙСТВИЮ НЕЙТРОНОВ

А. В. Грунин, С. А. Захарова, А. Е. Здарьев

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»

607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, 37

otd4@expd.vniief.ru

Широкое применение высоко интегрированных изделий электронной техники в различных объектах космической и ядерной техники сделало актуальным обеспечение устойчивости аппаратуры к действию ионизирующих излучений [1], в частности, к действию тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ). ТЗЧ вызывают не только одиночные, но и многократные сбои в интегральных схемах с топологическими нормами менее 90 нм.

Проведен анализ и обобщение литературных данных по моделям трекообразования от ТЗЧ в полупроводниковых и диэлектрических материалах (Si, Ge, SiO₂, GaAs) и характерным размерам трека. Например, радиус сердцевины трека в Si составляет 4-5 нм, длина трека определяется пробегом ТЗЧ. Рассмотрена эволюция трека ТЗЧ в полупроводниковых структурах при локальном выделении энергии от ТЗЧ, рождаемых в результате ядерных реакций от нейтронов различного происхождения. В приближении Ми-Грюнрайзена проведены оценки давления и температуры, возникающих в треках рассматриваемых ТЗЧ. Температура вещества в треке за времена порядка 10^{-12} с достигает 10^3 К, что приводит к возникновению в треке теплового давления до 10^{10} Па. Локальное выделение энергии от ТЗЧ и нагрев трека приводят к возникновению акустических волн разгрузки, которые распространяются по веществу с начальной скоростью, равной скорости звука. Возникшее в треке давление может привести к динамическому разрушению некоторых полупроводниковых материалов (например,

германия). При остывании сердцевины трека происходит аморфизация кристаллической решетки, что может уменьшить дрейфовую подвижность и время жизни носителей заряда.

Показано, что при анализе процесса возникновения однократных и многократных сбоев в интегральных схемах помимо диффузионно-дрейфовой модели кинетики неравновесных носителей необходимо учитывать гидродинамический канал разгрузки трека, обусловленный движением акустической волны разгрузки. Для объяснения возможного вклада динамического разрушения материалов при воздействии нейтронов предложено рассматривать гидродинамическую модель разгрузки треков вторичных ТЗЧ.

Список литературы

1. Чумаков А. И. Действие космической радиации на интегральные схемы. – М.: Радио и связь, 2004. 320 с.

ACCOUNT OF NUCLEAR REACTIONS IN ESTIMATION OF ECB RESISTANCE TO NEUTRON EFFECTS

A. V. Grunin., S. A. Zakharova, A. E. Zdaryev

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics», Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave 37
otd4@expd.vniief.ru

Equipment hardening to ionizing radiation effect [1], in particular, to the effect of heavy charged particles (HChP) has become a topical question due to a wide application of high-integrated electronics products in different objects of space and nuclear engineering. HChP cause not only single but also multiple faults in integrated circuits with layout rules less than 90 nm.

Conducted were analysis and generalization of literature data on models of track formation from HChP in semi-conductor and dielectric materials (Si, Ge, SiO₂, GaAs) as well as characteristic track dimensions. For example, the track core radius in Si is 4-5 nm, the track length is determined by HChP range. Addressed is evolution of HChP track in semiconductor structures at local energy release from HChP, born as a result of nuclear reactions of different origin neutrons. Pressure and temperature, emerging in studied HChP tracks were evaluated in Mie-Grüneisen approximation. For times of 10⁻¹² s order the track matter temperature approaches 10³ K, what leads to occurrence of thermal pressure up to 10¹⁰ Pa in the track. HChP local energy release and track heating lead to emerging of acoustic unloading waves, which are spreading over the matter with initial velocity, equaling to sound velocity. Pressure, arising in the track, can lead to dynamic failure of some semiconductor materials (for example, germanium). When track core cooling-down, amorphization of crystal lattice occurs, what can diminish drift mobility and lifetime of a charge carrier.

It is shown, that when analyzing emergence process of single and multiple failures in integrated circuits besides diffusion-drift model of non-equilibrium carriers' kinetics, one should take into account a flow dynamics channel of track unloading, conditioned by acoustic unloading wave motion. To explain possible contribution of dynamic materials failure under neutron action, it has been suggested that the flow dynamics unloading model of secondary HChP tracks be contemplated.

References

1. Chumakov A. I. Space radiation effect on integrated circuits. – М.: Radio i Svyaz, 2004. 320 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ПЛОТНОМЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ПРОЦЕССОВ ЭКСТРАКЦИОННОГО АФФИНАЖА

Е. П. Зеленецкая, А. Б. Тогузбаева

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Россия, 634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30, тел. +79059922999
e-mail: zeka@tpu.ru

Работы по замыканию ядерного топливного цикла через реакторные установки на быстрых нейтронах (БН) привели к необходимости разработки технологий экстракционного аффинажа нового поколения применимых при переработке отработанного уран-плутониевого ядерного топлива (ОЯТ).

В силу высокой активности ОЯТ с БН аппараты технологических линий экстракционного аффинажа имеют ядерно-безопасную геометрию, что снижает радиационную нагрузку на технологические растворы. Но при этом возникают существенные затруднения в управлении потоками с «микрорасходами». Подобные трудности приводят к необходимости решения проблем с поддержанием высокой степени извлечения целевых компонентов, таких как уран, плутоний и др. из технологических растворов, и обеспечением ядерной чистоты конечных химических концентратов. Обозначенные проблемы можно решить за счёт жесткого контроля концентрации целевых компонент в растворах на всех технологических этапах.

Исследования в [1] показали, что профиль концентрационного распределения по технологическому объекту не равномерен. Поэтому определение концентрации целевых компонент должно проводиться не только в «головных» аппаратах, но и на потоке. Учитывая ядерную опасность производства в основу количественного и качественного анализа необходимо заложить методы неразрушающего анализа (НРА).

Одним из наиболее информативных методов, относящихся к НРА является плотнометрия. Но, несмотря на широкое распространение, данный метод имеет собственные существенные ограничения. Наличие ограничений привело к необходимости дополнительных лабораторных и компьютерных исследований возможности применения плотнометрии для контроля технологических растворов процессов экстракционного аффинажа на потоке не только в статическом, но и в динамическом режимах.

Список литературы

1. Зеленецкая, Е. П. Модель системы управления экстракционным блоком аффинажного стенда / Е. П. Зеленецкая, А. Г. Горюнов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 9. – С. 54-58. – ISSN 2079-5920.

APPLICABILITY RESEARCH OF DENSITOMETRY TO PROCESS SOLUTIONS CONTROL OF EXTRACTION REFINING PROCESSES

E. P. Zelenetskaya, A. B. Toguzbaeva

National Research Tomsk Polytechnic University, Lenin Avenue, 30, Tomsk, Tomsk region,
mob. +79059922999, e-mail: zeka@tpu.ru

The work on closing the nuclear fuel cycle through fast neutron reactor (FNR) facilities led to the need to develop new generation extraction refining technologies applicable to reprocessing of spent uranium plutonium nuclear fuel (SNF).

Due to the high activity of SNF from FNR, the apparatuses of the extraction refining process lines have a nuclear-safe geometry, which reduces the radiation load on the process solutions.

However, at the same time, there are significant difficulties in flows control with «micro-flow rates». Complexities of that nature lead to the need to solve problems, not only with maintaining a high degree of target components extraction, such as uranium, plutonium, etc. from technological solutions, but also with ensuring the nuclear purity of the final chemical concentrates. These specified problems can be solved by strictly controlling the concentration of the target components in the solutions in all technological phase.

Studies in [1] have shown that the concentration distribution profile across the process facility is not uniform. Concentrations of the target components must therefore be determined not only in the «head» apparatus, but also on the flow. Given the nuclear hazard of the production, non-destructive analysis (NDA) methods should be the basis for quantitative and qualitative analysis.

One of the most informative methods related to NDA is densitometry. Nevertheless, despite its widespread use, this method has its own significant limitations. The presence of limitations has led to the necessity of additional laboratory and computer-aided research of application possibility of densitometry to process solutions control of extraction refining processes on a flow not only in static, but also in dynamic modes.

References

1. Zelenetskaya E. P. Computer-aided model of extruction unit management system of refinery plant / E. P. Zelenetskaya, A. G. Goryunov // Scientific and Technical Volga region Bulletin. – 2019. – №9. – P. 54-58. – ISSN 2079-5920.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ИЗМЕРЕННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ В ОПОРНОМ МАТЕРИАЛЕ

С. А. Золотов, А. П. Черняев, У. А. Близнюк, Ф. Р. Студеникин, П. Ю. Борщеговская, А. Д. Никитченко, Н. А. Антипина, А. А. Николаева, Н. Д. Кречетов, С. А. Соколов

Московский Государственный Университет имени М. В. Ломоносова, 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, +7 (495) 939-41-60, zolotov.sa15@physics.msu.ru

Сегодня дозиметрическое планирование промышленной радиационной обработки (*PO*) осуществляется с помощью пленочной дозиметрии, погрешность которой достигает 15 % [1]. Из-за этого данный подход может быть неприменим для планирования *PO* объектов, чувствительных к точности измерения глубинного распределения поглощенной дозы *PDD* [2]. Альтернативой выступает применение компьютерного моделирования для планирования *PO*, но данный метод критически зависит от точности знания энергетического спектра ускорителя.

В данной работе предлагается алгоритм восстановления энергетического спектра ускорителя по экспериментально измеренному *PDD* в эталонном материале. Основная идея алгоритма заключается в подборе взвешенной комбинации *PDD* от моноэнергетических электронов в эталонном материале, максимально близкой к экспериментально измеренному распределению. Для проверки алгоритма на медицинском ускорителе Varian TrueBeam с помощью ионизационных камер Semiflex 3D и Roos Chamber, обеспечивающих точность 0.5 %, были экспериментально измерены *PDD*, создаваемые электронами с энергией 6 и 9 МэВ в воде, твердой воде и алюминии. Опорные данные, необходимые для работы алгоритма, были рассчитаны с помощью компьютерного моделирования с использованием инструментария Geant4.

Верификация алгоритма проводилась путем сравнения восстановленных *PDD* в целевых материалах, рассчитанных с помощью разработанного алгоритма по экспериментально измеренным глубинным дозовым распределениям в опорных материалах, с экспериментально измеренными распределениями в целевых материалах. Расхождение между рассчитанными и экспериментальными данными составило не более 5 %, что говорит о корректной работе алгоритма. Также алгоритм показал устойчивость решения при искусственном внесении в экспериментальные данные погрешности до 30 %.

Список литературы

1. Радиационно-чувствительные пленочные композиции для измерения поглощенных доз в диапазоне 100–1000 Гр / Тенишев В. П., Емельяненко И. А. // Стандартные образцы. 2019. Т. 15. № 3. С. 33–40. DOI 10.20915/2077-1177-2019-15-3-33-40.

RECONSTRUCTION OF ELECTRON ACCELERATOR ENERGY SPECTRUM FROM EXPERIMENTALLY MEASURED ABSORBED DOSE DISTRIBUTIONS IN BASE MATERIAL

S. A. Zolotov, A. P. Chernyaev, U. A. Bliznyuk, F. R. Studenikin, P. Yu. Borshevskaya, A. D. Nikitchenko, N. A. Antipina, A. A. Nikolaeva, N. D. Krechetov, S. A. Sokolov

M. V. Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory Moscow 119991, Russian Federation, +7 (495) 939-41-60, zolotov.sa15@physics.msu.ru

Today, industrial radiation treatment (RT) dosimetry planning is performed using film dosimetry, which has an error rate of up to 15 % [1]. Because of this, this approach may be inapplicable for planning the RT of objects sensitive to the accuracy of PDD depth distribution measurements [2]. An alternative is the application of computer simulation for RT planning, but this method critically depends on the accuracy of knowledge of the accelerator energy spectrum.

In this paper, an algorithm is proposed to reconstruct the accelerator energy spectrum from experimentally measured PDD in a reference material. The basic idea of the algorithm is to select a weighted combination of PDDs from monoenergetic electrons in the reference material that is as close as possible to the experimentally measured distribution. To test the algorithm on the Varian TrueBeam medical accelerator, PDDs generated by 6 and 9 MeV electrons in water, solid water and aluminium were experimentally measured using Semiflex 3D and Roos Chamber ionisation chambers providing 0.5 % accuracy. The reference data required for the algorithm were calculated by computer simulations using the Geant4 toolkit.

Verification of the algorithm was performed by comparing the reconstructed PDDs in the target materials calculated using the developed algorithm from experimentally measured depth dose distributions in the reference materials with experimentally measured distributions in the target materials. The discrepancy between the calculated and experimental data was not more than 5%, which indicates the correct operation of the algorithm. Also the algorithm showed stability of the solution in case of artificial inclusion of an error up to 30% in the experimental data.

References

1. Radiation-sensitive film compositions for measuring of absorbed doses in the range of 100-1000 Gy / Tenishev V.P. P., Emelianenko I. A. // Standard Samples. 2019. T. 15. № 3. С. 33-40. DOI 10.20915/2077-1177-2019-15-3-33-40.

ДЕФЕКТЫ В YBCO-GdBCO ЛЕНТАХ, НАВЕДЕННЫЕ 18 МэВ ПРОТОНАМИ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ НАМАГНИЧИВАНИЯ

Э. М. Ибрагимова¹, С. В. Артемов¹, О. О. Бахранов¹, Н. Э. Искандаров², Х.Т. Назаров²,
М.А. Муссаева¹, О.Т. Турсункулов², О.Р. Тожибоев¹, У.Т. Курбанов¹, Б.С. Юлдашев¹,
М.С. Новиков³, С.И. Тютюнников³

¹Институт ядерной физики, п. Улугбек, Ташкент, Узбекистан,

²Центр передовых технологий, ул. Талабалар 2а, Ташкент, Узбекистан,

³ 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области,
ул. Жолио-Кюри, д. 6
ibragimova@inp.uz

Кроме применений ВТСП кабелей в энергетике, актуально создание ВТСП магнитов для ускорителей заряженных частиц. Компанией S-Innovations, РФ, изготовлены SuperOx ленты 2-поколения (YBaCuO или GdBaCuO микрослой нанесен на сталь С276 и покрыт Ag-Cu-PbSn), которые должны пропускать ток >200 А в поле выше 10 Тесла. Для этого необходимо создать систему центров пиннинга магнитного потока либо химическим введением наночастиц оксидов металла в ВТСП, либо радиационным созданием наноразмерных дефектов анизотропной структуры. При размере Куперовской пары $\xi \sim 2$ нм, оптимальное расстояние между центрами пиннинга должно быть $\sim \lambda_L$ более двух диаметров Абрикосовских вихрей тока.

Цель эксперимента – создать упорядоченные центры пиннинга из треков быстрых протонов вдоль ВТСП-ленты, исследовать их микро-наноструктуру и магнитосопротивление ρ_m в окрестности T_c и до 300 К. Отрезки лент крепили на медной охлаждаемой мишени и облучали в вакууме пучком 18,5 МэВ протонов $\varnothing$ 2 см вдоль лент под углом 7° к поверхности при токе 1–2 μ А до флюенса $(1-5) \times 10^{14}$ см⁻² 10 мин. Расчетное расстояние между треками протонов 0,2–1 μ м.

Результаты. Облучение индуцировало в ВТСП радионуклиды с β - γ -эмиссией по доминирующим ядерным реакциям $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{N}(\beta^+)^{13}\text{C}$, $^{65}\text{Cu}(p,n)^{65}\text{Zn}$, $^{138}\text{Ba}(p,2pn)^{136}\text{Cs}$, $^{89}\text{Y}(p,n)^{89}\text{Zr}$ и $^{155-160}\text{Gd}(p,n)^{155-160}\text{Tb}$. На поверхности обнаружены параллельные треки протонов на расстоянии ~ 1 μ м и гребни ударных волн 5 μ м, а также концентрические и спиральные волны 10-200 μ м. Локальный элементный анализ треков подтвердил генерацию этих нуклидов. Произошло частичное разложение $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x} \rightarrow 0.5\text{Y}_2\text{O}_3 + 2\text{BaCuO}_2 + \text{CuO}$. До облучения пики $\rho_m(0,55 \text{ Т})$ при 140 и 300 К в YBCO и 240 и 280 К в GdBCO (химический пиннинг), а после облучения – другие пики. Несверхпроводящие фазы имеют пара-ферро-магнитную природу центров пиннинга. Локализация носителей или конденсация поляронов характеризуется минимумом подвижности носителей при 160 и 250 К. По мере распада радионуклидов намагничивание и подвижность изменяются, что подтверждает радиационный пиннинг.

DEFECTS IN YBCO-GdBCO TAPES GENERATED BY 18 MeV PROTONS FOR ENHANCING MAGNETIZATION

E. M. Ibragimova¹, S. V. Artemov¹, O. O. Bahranov¹, N. E. Iskandarov², Nazarov Kh. T.²,
M. A. Mussaeva¹, O. T. Tursunkulov, O. R. Tojiboev¹, U. T. Kurbanov¹, B. S. Yuldashev¹,
M. S. Novikov³, S. I. Tyutyunnikov³

¹Institute of nuclear physics, p. Ulugbek, Tashkent, Uzbekistan;

²Center for advanced technologies, str. Talabalar 2a, Tashkent, Uzbekistan;

³ Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
ibragimova@inp.uz

Besides implementations of HTSC cables in power engineering, it is actual designing HTSC magnets for charged particles accelerators. Company S-Innovations, RF, produced SuperOx tapes of 2-generation (YBaCuO or GdBaCuO microlayer is deposited on steel-276 and coated with Ag-Cu-PbSn microlayers), which should pass current >200 А in H field > 10 Tesla. For such goal, it is

necessary to form a net of magnetic flux pinning centers either by chemical introducing of metal-oxide nanoparticles in HTSC or by generation of nano-size anisotropic structure defects by irradiation. Having the size of Cooper pair $\xi \sim 2$ nm, the optimal distance between pinning centers should be $\sim \lambda_L > 2$ diameters of Abrikosov current vortices.

Aim of experiment – to generate ordered pinning centers from fast proton tracks along HTSC tape, to study their micro-nanostructure and magnetoresistance R_m nearby T_c and up to 300 K. Cuts of tapes were fixed on cooled copper target in vacuum and irradiated by 18.5 MeV protons beam of $\varnothing 2$ cm across along the tapes at the angle 7° to their surface at current 1–2 μA to achieve a fluence $(1-5) \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ for 10 min. The distance between proton tracks was estimated 0.2–1 μm according to radial distribution.

Results. The irradiation induced radionuclides in HTSC with β - γ -emission over dominating nuclear reactions $^{16}O(p,\alpha)^{13}N(\beta^+)^{13}C$, $^{65}Cu(p,n)^{65}Zn$, $^{138}Ba(p,2pn)^{136}Cs$, $^{89}Y(p,n)^{89}Zr$ and $^{155-160}Gd(p,n)^{155-160}Tb$. Parallel proton tracks spaced $\sim 1 \mu m$, shock waves 5 μm , and concentric/spiral waves 10–200 μm were found on the beam exposed surface. SEM and local element analysis of the tracks confirmed generation of these radionuclides. XRD showed partial disintegration $YBa_2Cu_3O_{7-x} \rightarrow 0.5Y_2O_3 + 2BaCuO_2 + CuO$ after irradiation. Prior irradiation peaks of $R_m(0.55 \text{ T})$ are at 140 and 300 K in YBCO, and 240 and 280 K in GdBCO (chemical pinning), but after irradiation other peaks appeared. Non-superconducting phases have para-ferro-magnetic pinning centers. Localization of charge carriers or polarons condensation is characterized by the minima of carrier mobility at 160 and 250 K. During the radionuclide decay the magnetization and carrier mobility is changing, that confirms the radiation origin of pinning.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ ПОСЛЕ ИХ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ

В. С. Ипатова, У. А. Близнюк, П. Ю. Борщевская, Т. А. Болотник, А. В. Браун,
И. А. Родин, А. П. Черняев, М. К. Беклемишев, Д. С. Юров, Ф. Р. Студеникин,
С. А. Золотов, А. Д. Никитченко, О. Ю. Хмелевский, Я. В. Зубрицкая,
И. Т. Межетова, В. С. Иванцова

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, 119991, ГСП-1,
Москва, Ленинские горы, дом 1, стр. 2, Россия; +74959394946
Телефон: +74959394946
E-mail: ipatova.vs15@physics.msu.ru

Радиационная обработка продуктов питания используется с целью контроля микробиологической и патогенной безопасности пищевой продукции, а также для продления ее сроков годности. С практической точки зрения важным является установление технологических диапазонов доз для различных категорий продукции, которые, с одной стороны, продлевают сроки хранения продуктов, с другой стороны, не приводят к существенным изменениям в их химическом составе.

На кафедре физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ ведутся исследования по выявлению физико-химических закономерностей, происходящих в пищевых продуктах, после их радиационной обработки различными физическими, химическими и микробиологическими методами. Исследования проводятся совместно с химическим факультетом МГУ, НИИЯФ МГУ, ФГБНУ ВИЛАР, СФНЦА РАН, Сеченовским университетом и Роспотребнадзором.

Методом газовой хромато-масс-спектрометрии для ряда продуктов обнаружены и количественно оценены низкомолекулярные летучие органические соединения (спирты, альдегиды, кетоны и др.), которые в большинстве своем ответственны за специфический запах продукции, а также специфично реагируют на дозу ионизирующего излучения [1].

Разработан способ идентификации и количественной оценки структурных повреждений белковых молекул с использованием методов трипсинолиза и жидкостной хроматографии [2].

Ведется разработка спектрофотометрического метода количественной оценки содержания метгемоглобина в образцах продукции, который может быть использован как индикатор интенсивности окислительных процессов после радиационной обработки.

Исследования выполняются при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №22-63-00075.

Список литературы

1. U. A. Bliznyuk et al. Scientific reports. V. 12, № 1 (2022).
2. А. В. Браун и др. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. Т. 89, № 3, 14-24 (2023).

PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES IN FOODS AFTER IRRADIATION

Ipatova V. S., Bliznyuk U. A., Borshchegovskaya P. Yu., Bolotnik T. A., Braun A. V., Rodin I. A., Chernyaev A. P., Beklemishev M. K., Yurov D. S., Studenikin F. R., Zolotov S. A., Nikitchenko A. D., Khmelevsky O. Yu., Zubritskaya Ya. V., Mezhetova I. T., Ivantsova V. S.

¹ Lomonosov Moscow State University,
GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation;
Phone: +74959394946
E-mail: ipatova.vs15@physics.msu.ru

Radiation processing of food products is used to control their microbiological and pathogenic safety as well as to extend their shelf life. From a practical standpoint, it's critical to set technological dose ranges for different product categories that, on the one hand, increase shelf life while, on the other, not changes in chemical composition of foods.

Research to identify the physical and chemical patterns that appear in foods after irradiation is currently being conducted at the Department of Physics of Accelerators and Radiation Medicine of the Faculty of Physics of MSU. Research is done in collaboration with the Faculty of Chemistry, SINP MSU, FGBNU VILAR, SFNTSA RAS, Sechenov University, and Rospotrebnadzor.

Low molecular weight volatile organic compounds (alcohols, aldehydes, ketones, etc.), which are primarily responsible for the specific smell of foods and also react specifically to the dose of ionizing radiation, were found and quantified using gas chromatography-mass spectrometry for a variety of products [1].

A method for identifying and quantifying structural damage to protein molecules using trypsinolysis and liquid chromatography methods has been developed [2].

A spectrophotometric method for quantifying the content of methemoglobin in product samples is being developed, which can be used as an indicator of the intensity of oxidative processes after irradiation.

This research was funded by the Russian Science Foundation, grant number 22-63-00075.

References

1. U. A. Bliznyuk et al. Scientific reports. V. 12, № 1 (2022).
2. A. V. Braun et al. Industrial laboratory. materials diagnostics. V. 89, № 3, 14-24 (2023).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ШЕСТРАНДА НА КОМПЛЕКСЕ ФКБН-3 ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РЕАКТИВНОСТИ РАЗМНОЖАЮЩИХ СИСТЕМ

А. А. Кайгородов, Э. А. Гуменных, С. П. Котков, С. В. Финогеев

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный
центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г.Саров, пр. Мира 37
otd4@expd.vniief.ru

При проведении работ на комплексе ФКБН-3 [1] наиболее многочисленными и опасными с точки зрения ядерной безопасности являются операции по сборке критических систем различного состава, которые, как правило, производятся вручную. Поэтому методики измерения реактивности должны обеспечивать контроль за подкритичностью размножающих систем (РС) непосредственно в процессе набора критической массы. Такой контроль позволяют осуществлять методы Шестранда, «стреляющего» источника и обратного умножения [2]. В экспериментах на комплексе широко используются сборки с составными активными зонами (АЗ) из разных делящихся материалов, поэтому в определении степени подкритичности таких сборок предпочтительней использовать метод Шестранда или импульсный метод, не требующий знания параметров запаздывающих нейтронов.

В основу метода Шестранда положено измерение интегралов от быстрой части спада плотности нейтронов утечки из РС после короткого импульса (последовательности коротких импульсов) от внешнего нейтронного генератора и медленной части, обусловленной размножением запаздывающих нейтронов. Отношение интегралов является искомой величиной реактивности в единицах $\beta_{эф}$. Длительность импульса должна быть много меньше характерного времени спада плотности мгновенных нейтронов, а частота их следования такой, чтобы переходной процесс закончился до поступления следующего импульса.

Выражение для определения реактивности в общем случае имеет вид [3]:

$$-\rho/\beta_{эф} = (N_p - M)/N_d, \quad (1)$$

где N_p и N_d – число отсчетов нейтронного детектора в быстрой и запаздывающей частях спада плотности нейтронов после начала действия импульсного источника, M – число отсчетов детектора, обусловленных регистрацией прямопролетных нейтронов источника (нейтронов, которые не испытывают взаимодействия с РС на пути от источника к детектору).

Апробация метода Шестранда проведена на РС с АЗ из урана и плутония без отражателя. Проведенные исследования позволили аттестовать методику измерения реактивности $\rho/\beta_{эф}$ в диапазоне от глубоких подкритичностей: минус $30 \beta_{эф}$ до околоскритического состояния РС: минус $1 \beta_{эф}$, что является новым достижением в практике измерений на комплексе ФКБН-3.

Список литературы

1. Панин А. В., Воронцов С. В., Девяткин А. А., Завьялов Н. В., Кувшинов М. И. История развития критмассовых экспериментов в РФЯЦ-ВНИИЭФ. // Импульсные реакторы: история создания и перспективы использования. Труды межотраслевой научной конференции. Т. 1. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2015. С. 196–210.
2. Казанский Ю. А., Матусевич Е. С. Экспериментальные методы физики реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1984. 272с.
3. Измерение реактивности быстрых реакторов методом площадей. П. Ф. Чередник, И. З. Сибгатуллин, М. И. Кувшинов. // ВАНТ. Сер. Импульсные реакторы и простые критические сборки. 1978. Вып. 2. С. 46–52.

SJÖSTRAND METHOD APPLICATION ON COMPLEX FKBN-3 FOR MEASURING MULTIPLYING SYSTEMS' REACTIVITY

A. A. Kaigorodov, Eh. A. Gumennykh, S. P. Kotkov, S. V. Finogeev

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics», Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave, 37
otd4@expd.vniief.ru

When working on complex FKBN-3 [1] from the point of view of nuclear safety the most multiple and dangerous are operations on assembly of critical systems of different composition, which, as a rule, are manufactured manually. That is why reactivity measurement techniques must provide control over multiplying system subcriticalities (MS) directly during critical mass gain. Such a control allows fulfilling of methods of *Sjöstrand*, «shooting» source and backward multiplication [2]. Assemblies with composite cores made of different fissile materials are widely applied in the complex's experiments, that is why when determining a degree of such assembly subcriticalities it is more preferable to use *Sjöstrand* method or a pulse method, not requiring knowledge of delayed neutron parameters.

A basis for *Sjöstrand* method is measuring of integrals of a fast part of leakage neutron density decay from MS after short pulse (sharp pulse train) from an external neutron generator and those of a slow part, conditioned by multiplication of delayed neutrons. An integral relation is a reactivity sought quantity in units of β_{ef} . A pulse length must be much smaller than characteristic prompt neutron decay time, and their repetition rate - such that a transient process should have finished, before the next pulse comes.

Expression for reactivity determination in the common case has a view [3]:

$$-\rho/\beta_{\text{ef}} = (N_p - M)/N_d, \quad (1)$$

where N_p and N_d – a number of neutron detector counts in fast and delayed parts of neutron density decay after the pulsed source starts operating, M – a number of detector counts, conditioned by registering of source straight flight neutrons (neutrons, which do not interact with MS on the way from the source to the detector).

The *Sjöstrand* method is approved on MS with a core made of uranium and plutonium with no reflector. Conducted studies have allowed certification of reactivity measurement procedure ρ/β_{eff} in the range starting from deep subcriticalities: minus $30 \beta_{\text{ef}}$ up to near-critical state MS: minus $1 \beta_{\text{ef}}$, what is a new progress in measurement practice on complex FKBN-3.

References

1. Panin A. V., Vorontsov S. V., Devyatkin A. A., Zavyalov N. V., Kuvshinov M. I. Development history of critmass experiments in RFNC-VNIIEF. // Pulsed reactors: development history and application prospects. Inter-Branch Scientific Conference Proceedings. Vol. 1. – Sarov: RFNC-VNIIEF, 2015. P. 196–210.
2. Kazanskii Yu. A., Matusevich Ye. S. Experimental methods of reactor physics. Moscow: Energoatomizdat, 1984. 272p.
3. Fast reactors' reactivity measurement by an area method. P. F. Cherednik, I. Z. Sibgatullin, M. I. Kuvshinov // VANT. Ser. Pulsed reactors and simple critical assemblies. 1978. Issue 2. P. 46–52.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МЕЧЕНЫХ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ПРИКЛАДНЫХ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В. Ф. Батяев, С. Г. Беличенко, М. Д. Каретников, А. Д. Мазницин, А. Ю. Пресняков

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова»
Россия, 101000, Москва, Моспочтамт, а/я 918, +7(495) 730-1282, доб. 4-86
MDKaretnikov@vniia.ru

Наносекундный метод меченых нейтронов (ММН) основан на пространственно-временном анализе событий, возникающих при движении 14 МэВ нейтрона, время вылета, энергия и направление движения которого известны за счет регистрации сопутствующей

нейтрону альфа-частицы. Появление интенсивного генератора меченых нейтронов с альфа-детектором ИНГ-27, разработанного во ФГУП ВНИИА, привело к существенному расширению области применения меченых нейтронов. В настоящее время ММН находит применение для нейтронного анализа состава вещества, а также является удобным инструментом для прикладных и фундаментальных ядерно-физических исследований. Этому способствуют следующие особенности:

- измерение нейтронного потока с абсолютной погрешностью менее 5 % и относительной менее 1% в широком диапазоне потока нейтронного генератора;
- измерение угла вылета 14 МэВ нейтронов с погрешностью до 0,02 рад и пространственных координат места взаимодействия меченых нейтронов с ядрами вещества;
- высокое отношение эффект/фон за счет пространственно-временной дискриминация событий, обусловленных взаимодействием с веществом «немеченых» нейтронов и вторичного излучения;
- возможность калибровки гамма-детекторов непосредственно в экспериментах с помощью специальных объектов-калибраторов при прохождении в которых меченых нейтронов испускаются гамма-линии, которые легко интерпретируются на спектре ММН (альфа-гамма совпадений), а также с помощью эталонных радиоизотопов по спектру без совпадений с минимально значимым присутствием пиков от этих радиоизотопов на спектре ММН.

В работе рассмотрены примеры использования ММН для некоторых актуальных задач:

- определение отклика гамма-детекторов при воздействии 14 МэВ нейтронов;
- измерение угловой анизотропии выхода гамма-квантов и эффекта Доплера при неупругом рассеянии нейтронов.

Приводится описание устройств с мечеными нейтронами, особенности проведения и результаты экспериментов. Полученные данные находятся в хорошем соответствии с расчетами и экспериментальными результатами других авторов.

APPLICATION OF TAGGED NEUTRON TECHNOLOGY FOR APPLIED AND FUNDAMENTAL NUCLEAR PROBLEMS

V. F. Batyaev, S. G. Belichenko, M. D. Karetnikov, A. D. Maznitsyn, A. Ju. Presnyakov

FSUE All-Russian Scientific Research Institute of Automation, Moscow,
101000 Russia, Moscow P.O. 918, +7(495) 730-1282, ext. 4-86
MDKaretnikov@vniia.ru

A nanosecond tagged neutron technology (NTNT) is based on the space-time analysis of events produced by the 14 MeV neutron which time of escape, energy, and direction of movement is known by the recording of the accompanying alpha-particle. The development by FSUE VNIIA of the high-intensity generator of tagged neutrons promoted the extension of the applications of tagged neutrons. Currently, the NTNT is used for the neutron activation analysis as well as for applied and fundamental nuclear problems due to the following advancements:

- Measuring the neutron flux with the absolute inaccuracy less than 5 % and relative inaccuracy less than 1 % in the high range of neutron generator intensity.
- Directional reading of the angle of the tagged neutron escape with the accuracy up to 0.02 rad, and measuring the coordinates of nuclear reactions stipulated by tagged neutrons.
- High effect/background ratio provided by the space-time discrimination of events stipulated by interaction of “untagged” neutrons and secondary radiation with the matter.
- Possibility of gamma-detector calibration while measurement by special object-calibrators when tagged neutrons are passing through them, the emitted gamma-lines can be easily interpreted on the TNT spectrum (alpha-gamma coincidences);
- Possibility of gamma-detector calibration while measurement by reference isotope sources, the gamma-lines can be defined by the gamma-spectrum without coincidences and they practically do not affect the TNT spectrum.

The several applications of NTNT are considered in the report:

- Determination of gamma-detectors response to 14 MeV neutrons.
- Measuring the angle distribution and Doppler effect of gamma-rays emitted at the inelastic neutron scattering.

The experimental technique and results are considered. The obtained data are in a good agreement with the numerical calculations and experimental data by other authors.

ИТОГОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВЫХ ПУЧКОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРОТОТИПА ДЕТЕКТОРНОЙ ЧАСТИ СТАНЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБЛУЧЕНИЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ ПУЧКАМИ ИОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

**О. А. Васильев, Д. Е. Карманов, И. М. Ковалев, А. А. Курганов,
А. Д. Панов, Д. М. Подорожный, А. Н. Турундаевский**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»,
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Почтовый адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, стр. 2.
Телефон: +7(495)939-18-18, Факс: +7(495)939-08-96
press@sinp.msu.ru

В данной работе представлены результаты обработки банка данных, полученного в ходе первых пучковых испытаний прототипа ДЧС на выведенном пучке ускорителя НУКЛОТРОН 7-8 декабря 2022 г. В ходе сеанса был определен рабочий режим установки, и было набрано более 2 млн. событий, пригодных для обработки. Анализ амплитудных распределений и траекторный анализ позволяют оценить технические характеристики прототипа, предварительно проверить работу методик, разработанных для облучения микросхем, и определить направление работ по разработке опытного образца ДЧС.

FINAL RESULTS OF THE FIRST BEAM TEST OF THE DETECTOR PART OF THE STATION FOR INVESTIGATION AND IRRADIATION OF SEMICONDUCTOR MICRO- AND NANOELECTRONICS USING HIGH ENERGY ION BEAMS

**O. A. Vasiliev, D. E. Karmanov, I. M. Kovalev, A. A. Kurganov, A. D. Panov,
D. M. Podorozhnyy, A. N. Turundaevskiy**

This paper presents the results of processing the databank obtained during the first beam tests of the DPS prototype on the extracted beam of the NUCLOTRON accelerator on December 7-8, 2022. During the session, the operating mode of the prototype was determined, and more than 2 million events were collected for processing. The analysis of amplitude distributions and trajectory analysis make it possible to evaluate the technical characteristics of the prototype, to preliminarily check the operation of the methods developed for irradiating microcircuits, and to determine the direction of work on the development of the DPS preproduction model.

МОДЕЛЬ ПОЛЯ ГАММА-НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВБЛИЗИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ НА ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ ВИР-2М

**В. А. Кузнецов, С. И. Козырева, Р. О. Банин, Н. Г. Данченко,
А. В. Силаев, А. А. Кубасов, С. О. Табаков**

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный
центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира 37
otd4@expd.vniief.ru

Предложен расчетно-экспериментальный способ определения параметров поля гамма-нейтронного излучения реактора ВИР-2М вблизи крупногабаритных объектов в развитие подхода, изложенного в [1]. Способ основан на проведении расчетов характеристик поля методом Монте-Карло для системы «источник излучения – объект испытаний» с коррекцией параметров модели объекта испытаний по результатам измерений функционалов поля гамма-нейтронного излучения.

Практическое применение данной модели позволяет проводить количественные оценки влияния крупногабаритного объекта на равномерность поля излучения вблизи его поверхности. По результатам расчетов и анализа экспериментальных данных определена зависимость неравномерности поля гамма-нейтронного излучения ядерного реактора ВИР-2М вблизи поверхности объектов испытаний от их габаритно-массовых характеристик.

Список литературы

1. Кузнецов В. А., Силаев А. В., Козырева С. И., Бартев Н. О., Жирнов А. В., Тесаловский Н. А., Пичугин А. М., Кожевников К. В. Расчетно-экспериментальная оценка распределения поглощенной дозы в объекте при проведении испытаний на исследовательском ядерном реакторе БИГР // ВАНТ Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру, 2022 № 3, С. 38-43.

MODEL OF GAMMA-NEUTRON RADIATION FIELD NEAR LARGE-SCALE OBJECTS UNDER TEST ON VIR-2M NUCLEAR REACTOR

**V. A. Kuznetsov, S. I. Kozyreva, R. O. Banin, N. G. Danchenko, A. V. Silaev,
A. A. Kubasov, S. O. Tabakov**

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of
Experimental Physics» Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave 37
otd4@expd.vniief.ru

Here is proposed an experiment-calculated method for determining parameters of a gamma-neutron radiation field of VIR-2M reactor near large-scale objects in development of approach, presented in [1]. The method is based on performance of field characteristic calculations by Monte-Carlo method for system «radiation source – test object» with corrected parameters of object under test model by the results of measurements of field functionals of gamma-neutron radiation.

Practical application of the given model allows performance of quantitative assessments of large-scale object effect on radiation field uniformity near its surface. As a result of experimental data calculations and analysis, determined was a dependence of field inhomogeneity of gamma-neutron radiation of VIR-2M nuclear reactor near the test objects' surface on their overall-mass characteristics.

References

1. Kuznetsov V. A., Silaev A. V., Kozyreva S. I., Bartev N. O., Zhirnov A. V., Tesalovskii N. A., Pichugin A. M., Kozhevnikov K. V. Experiment-calculated estimate of absorbed dose distribution in the object under test on BIGN research nuclear reactor // VANT. Physics of radiation effect on electronic radio equipment, 2022 № 3, P. 38-43.

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ ДОЧЕРНИХ ПРОДУКТОВ РАСПАДА РАДОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ГАММА-СПЕКТРОМЕТРА

В. Н. Кононов, Г. А. Игнатьева, К. А. Петрова, С. Н. Мамаева

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный государственный университет имени М. К. Аммосова»,
677000, г. Якутск, ул. Кулаковского, 48, ауд. 118,
+79143009258, vladlenkononov@mail.ru

Ранее авторами был разработан и апробирован метод определения объемной активности (ОА) ^{222}Rn в водных средах методами жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии (ЖСС) [1]. В данной работе представляется метод измерения ОА ^{222}Rn с применением гамма-спектрометрии с полупроводниковым детектором (ППД) водного раствора тех же образцов, рассмотренных методом ЖСС. Т.е. для определения ОА ^{222}Rn были подготовлены образцы горных пород с ^{226}Ra , которые настаивались в герметичном сосуде с водой в течение длительного промежутка времени, достаточного для достижения векового равновесия ^{226}Ra и ^{222}Rn . Из подготовленной пробы были отобраны 2 образца объемами 100 и 10 мл, которые одновременно измерялись методами ППД и ЖСС, соответственно. Полученные результаты отражены в таблице.

	GEM-40 (ППД)		Hidex SL-300 (ЖСС)
Радионуклид	Rn-222 (Pb-214)	Rn-222 (Bi-214)	Rn-222
ОА, Бк/л	739,37 ± 48,8	727,21 ± 49,45	712,56 ± 43,47

ОА ^{222}Rn на ППД определяется по дочерним продуктам распада (ДПР) – ^{214}Pb , ^{214}Bi . Как видно из таблицы, ОА ^{214}Pb и ^{214}Bi равны (в пределах погрешностей), т. е. для рассматриваемого случая соблюдается вековое равновесие.

Результаты, полученные на гамма-спектрометре, совпадают с данными, полученными методом жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии. Исходя из этого можно утверждать, что эксперименты по определению значения объемной активности ^{222}Rn и его концентрации в пробах воды можно выполнять с применением гамма-спектрометрии с полупроводниковым детектором.

Список литературы

1. LXXII Международная конференция «ЯДРО-2022: Фундаментальные вопросы и приложения» (Москва, 11–16 июля 2022): Сборник тезисов / Под. ред. К. А. Стопани, Н. С. Зеленской. – Саратов: Амирит, 2022. С. 388.

STUDY OF ACTIVITY OF RADON DECAY DAUGHTER PRODUCTS USING SEMICONDUCTOR GAMMA SPECTROMETRY

V. N. Kononov, G. A. Ignateva, K. A. Petrova, S. N. Mamaeva

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "M. K. Ammosov North-Eastern Federal University", 48 Kulakovsky str. Yakutsk, 677000,
+79143009258, vladlenkononov@mail.ru

Previously, the authors developed and tested a method for determining the volumetric activity (VA) of ^{222}Rn in aqueous media by liquid scintillation spectrometry (LSS) [1]. This paper presents the method of measuring VA of ^{222}Rn using gamma spectrometry with a semiconductor detector (SCD) of an aqueous solution of the same samples considered by the LSS method. That is, to determine the VA of ^{222}Rn , rock samples with ^{226}Ra were prepared, which were infused in a sealed vessel with water for a long period of time sufficient to achieve an age-old equilibrium of ^{226}Ra and ^{222}Rn . From the prepared sample, two samples were taken in volumes of 100 and 10 mL, then simultaneously measured on SCD and LSS. The results obtained are shown in the table.

	GEM-40 (SCD)		Hidex SL-300 (LSS)
Radionuclide	Rn-222 (Pb-214)	Rn-222 (Bi-214)	Rn-222
VA, Bq/L	739,37 ± 48,8	727,21 ± 49,45	712,56 ± 43,47

VA of ^{222}Rn on SCD is determined by the decay daughter products - ^{214}Pb , ^{214}Bi . Obviously, VA of ^{214}Pb and ^{214}Bi are equal (within errors), i.e. an age-old equilibrium is maintained for the case in question.

The results obtained on the gamma spectrometer coincide with the data obtained by liquid scintillation spectrometry. Based on this, it can be argued that experiments to determine the value of VA of ^{222}Rn and its concentration in water samples can be carried out using liquid scintillation spectrometry, because the reliability of the results is shown by data obtained by SCD gamma spectrometry.

References

1. LXXII International conference “NUCLEUS-2022: Fundamental problems and applications” (Moscow, July 11–16, 2022): Book of abstracts / Ed. by K. A. Stopani and N. S. Zelenskaya. Saratov: Amirit, 2022. 388 p.

ПРОЦЕССЫ ПРЕВРАЩЕНИЯ ЯДЕР ДЛЯ ТОЧЕЧНОГО РЕАКТОРА В РАМКАХ МОДЕЛИ РОЖДЕНИЯ И ГИБЕЛИ ЧАСТИЦ

Т. Н. Корбут, С. В. Рыбчак

Государственное научное учреждение
«Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны»
223063, Республика Беларусь, Минская обл., Минский р-н, Луговослободской с/с, 47/22,
р-н д. Прилесье, лабораторно-технический корпус, т. +375-29-365-80-17
E-mail: rybchak@sosny.bas-net.by

Теория Марковских ветвящихся процессов часто используется для моделирования процессов, связанных с рассеянием потока нейтронов в активной зоне реактора. Эта теория позволяет описать вероятность поглощения и эмиссии нейтронов, а также вероятность превращения ядер.

Авторами в ранних работах была предложена модель рождения и гибели частиц для описания процесса размножения нейтронов в делящейся среде [1]. Полученный аппарат использовался для получения основных нейтронно-физических характеристик для теплового реактора. Результаты были апробированы для результатов экспериментов на ряде сборок: Ялина-тепловая, KUCA, MASURCA и KURPI [2, 3].

В настоящей работе в рамках модели рождения и гибели частиц описан математический аппарат для описания физического процесса превращения ядер за счет реакций деления и захвата нейтрона в приближении точечного реактора. С помощью модели рождения и гибели определены основные характеристики, связанные с числом делений, такие как энерговыделение и активность продуктов деления.

Список литературы

1. Korbut T. N., Kuz'min A. V. & Rudak, E.A. A thermal nuclear reactor as an analog of ADS systems with internal sources of neutrons. Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 79, 461–469 (2015).
2. Korbut, T.N. and et al. Neutron and Neutron-Breeding Medium Interaction Process Description Within the Physical Birth-and-Death Model. Nonlinear Phenomena in Complex Systems, vol.23, no.4(2020), pp.428-434.
3. Korbut T. N., Zubareva M. V. Calculating the Neutronics of a Yalina-Thermal Subcritical Assembly Using the Physical Birth-and-Death Model. Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 86, 1115–1118 (2022).

NUCLEAR TRANSFORMATION PROCESSES FOR A POINT REACTOR IN THE FRAMEWORK OF THE PARTICLE BIRTH AND DEATH MODEL

T. N. Korbut, S. V. Rybchak

State scientific institution «Joint Institute for Energy and Nuclear Research – Sosny»
223063, Republic of Belarus, Minsk region, Minsk district, Lugovoslobodskoy s/s, 47/22,
district of the village of Prilesie, laboratory and technical building, t. +375-29-365-80-17
E-mail: rybchak@sosny.bas-net.by

The theory of Markov branching processes is often used to model the processes associated with neutron flux scattering in the reactor core. This theory makes it possible to describe the probability of absorption and emission of neutrons, as well as the probability of nuclear transformation.

In early works, the authors proposed a model for the birth and death of particles to describe the process of neutron multiplication in a fissile medium [1]. The resulting apparatus was used to obtain the main neutron-physical characteristics for a thermal reactor. The results were tested for the results of experiments on a number of assemblies: Yalina-thermal, KUCA, MASURCA and KURPI [2, 3].

In the present work, within the framework of the particle creation and death model, a mathematical apparatus is described for describing the physical process of nuclear transformation due to fission and neutron capture reactions in the approximation of a point reactor. Using the birth death model, the main characteristics associated with the number of fissions, such as energy release and activity of fission products, are determined.

References

1. Korbut T. N., Kuz'min A.V. & Rudak E. A. A thermal nuclear reactor as an analog of ADS systems with internal sources of neutrons. Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 79, 461–469 (2015).
2. Korbut T. N. and et al. Neutron and Neutron-Breeding Medium Interaction Process Description Within the Physical Birth-and-Death Model. Nonlinear Phenomena in Complex Systems, vol. 23, no.4(2020), pp.428-434.
3. Korbut T. N., Zubareva M. V. Calculating the Neutronics of a Yalina-Thermal Subcritical Assembly Using the Physical Birth-and-Death Model. Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 86, 1115–1118 (2022).

УЧЕТ ВЫГОРАНИЯ ТОПЛИВА В МОДЕЛИ РОЖДЕНИЯ И ГИБЕЛИ ЧАСТИЦ

Т. Н. Корбут, С. В. Рыбчак

Государственное научное учреждение
«Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны»
223063, Республика Беларусь, Минская обл., Минский р-н, Луговослободской с/с, 47/22,
р-н д. Прилесье, лабораторно-технический корпус, т. +375-29-365-80-17
E-mail: rybchak@sosny.bas-net.by

В работе представлен подход для описания размножения нейтронов и превращения ядер в активной зоне реактора в теории ветвящихся процессов. Физический процесс, состоящий из отдельных взаимодействий нейтронов и ядер, приводит к делению с испусканием нейтронов. В теории ветвящихся процессов размножение нейтронов описывается исходя из независимости эволюции нейтронов и ядер. Процесс размножения нейтронов можно считать независимым, если концентрация нейтронов значительно выше концентрации делящихся ядер и изменением концентрации нейтронов можно пренебречь. В других случаях рассматривается процесс с учетом двух типов частиц, и расчет становится намного сложнее. В настоящей работе предложен альтернативный подход – в рамках модели рождения и гибели частиц, испускаемых при делении нейтронов, рассматриваются как внутренний источник. Представлены результаты оценки выгорания топлива для реакторов типа ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200.

ACCOUNT FOR FUEL BURNUP IN A MODEL OF THE BIRTH AND DEATH OF PARTICLES

T.N. Korbut, S.V. Rybchak

State scientific institution «Joint Institute for Energy and Nuclear Research – Sosny»
223063, Republic of Belarus, Minsk region, Minsk district, Lugovoslobodskoy s/s, 47/22,
district of the village of Prilesie, laboratory and technical building, t. +375-29-365-80-17
E-mail: rybchak@sosny.bas-net.by

The paper presents an approach for describing neutron multiplication and nuclear transformation in the reactor core in the theory of branching processes. The physical process, consisting of separate interactions of neutrons and nuclei, leads to fission with the emission of neutrons. In the theory of branching processes, neutron multiplication is described based on the independence of the evolution of neutrons and nuclei. The process of neutron multiplication can be considered independent if the neutron concentration is much higher than the concentration of fissile nuclei and the change in the neutron concentration can be neglected. In other cases, the process is considered taking into account two types of particles and the calculation becomes much more complicated. In the present work, an alternative approach is proposed: in the framework of the model of the birth and death of particles emitted during neutron fission, they are considered as an internal source. The results of fuel burnup evaluation for VVER-1000 and VVER-1200 reactors are presented.

РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НИТРИДА ГАЛЛИЯ

Д. Е. Костомаха, В. М. Вахтель, П. В. Середин

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет,
394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1, Россия,
E-mail: danilkostomaha@gmail.com

Нитрид галлиевого (Далее – GaN) структуры давно стали интересовать как исследователей, так и исполнителей полупроводниковых приборов. Гетероструктуры на основе GaN обеспечивают электронным приборам на их основе оптические, мощностные и частотные характеристики, позволяющие применять их в разных областях полупроводниковой электроники. Так же GaN структуры показали, что они более стойкие к воздействию ионизирующего и нейтронного излучения, в отличие от структур на основе кремния. В данной работе проводится исследование следующих образцов, представленных в таблице.

№	Подложка	Буферный слой	Основной слой	T °C, осаждения	Толщина h
1	Al ₂ O ₃	AlN – h~150 nm	GaN	1050	~ 5 mkm
2	Al ₂ O ₃ (11-20), Al ₂ O ₃ (10-12)	AlN – h~300 nm	GaN	1034	~3 -5 mkm
3	SiC/Si (111)-4 ⁰	-	AlGaN	1033	~ 6 mkm
4	AlN/Si(111)	-	AlGaN	1033	~ 6 mkm
5	AlGaN/ Al ₂ O ₃ (11-20)	-	AlN	982	~ 5 mkm
6	Al ₂ O ₃	AlN/AlGaN – h~2 mkm	GaN	987	~ 1 mkm
7	Al ₂ O ₃ (11-20)	AlN – h~200 nm	AlGaN	1036	~5 mkm
8	Al ₂ O ₃ (11-20) Al ₂ O ₃ (10-12)	AlN – h~200 nm	GaN	1034	~ 4 mkm

Проведение испытаний электронных изделий необходимо для контроля их качества, так и для прогнозирования надежности. Как показывают эксперименты с разными видами излучения, GaN структуры могут работать в более тяжелых условиях (ссылки). Задача данной работы – это увидеть фундаментальные закономерности изменений в эпитаксиальных структурах GaN под воздействием тяжелых заряженных частиц и протонов, влияние больших доз облучения рентгеновским и гамма-излучением, так же это влияние потоков нейтронного облучения.

Первый этап: проведение нейтронного облучения образцов, получение вольтамперных характеристик (ВАХ) и зависимости ЭДС Холла в полупроводниках от концентрации и подвижности носителей заряда.

Второй этап: облучение образцов тяжелыми заряженными частицами, получение ВАХ и зависимости ЭДС Холла в полупроводниках от концентрации и подвижности носителей заряда, структурный анализ.

Третий этап: облучение образцов рентгеновским, гамма – излучением, получение ВАХ характеристик и зависимости ЭДС Холла в полупроводниках от концентрации и подвижности носителей заряда, получение зависимости времени релаксации от поглощенной дозы.

Список литературы

1. Hazdra P., et al., Phys. Status Solodi A 1-8 (2016)
2. S. J. Pearton et al 2016 ECS J. Solid State Sci. Technol. 5 Q35

RADIATION EFFECT ON THE CHARACTERISTICS OF EPITAXIAL STRUCTURES BASED ON GALLIUM NITRIDE

Kostomaha D. E., Vakhtel V. M., Seredin P. V.

Voronezh State University, 394018, Voronezh, University square, 1, Russia,
E-mail: danilkostomaha@gmail.com

Gallium nitride (GaN) structures have long been of interest to both researchers and users of semiconductor devices. Heterostructures based on GaN provide electronic devices based on them with optical, power and frequency characteristics that allow them to be used in various fields of semiconductor electronics. GaN structures have also shown to be more resistant to ionizing and neutron radiation, unlike silicon-based structures (Si). In this study, the following specimens are considered, presented in table.

№	Back	Buffer layer	Main layer	Refrigeration temperature, °C	Thickness h
1	Al ₂ O ₃	AlN – h~150 nm	GaN	1050	~ 5 mkm
2	Al ₂ O ₃ (11-20), Al ₂ O ₃ (10-12)	AlN – h~300 nm	GaN	1034	~3 -5 mkm
3	SiC/Si (111) -4 °	-	AlGaN	1033	~ 6 mkm
4	AlN/Si(111)	-	AlGaN	1033	~ 6 mkm
5	AlGaN/ Al ₂ O ₃ (11-20)	-	AlN	982	~ 5 mkm
6	Al ₂ O ₃	AlN/AlGaN – h~2 mkm	GaN	987	~ 1 mkm
7	Al ₂ O ₃ (11-20)	AlN – h~200 nm	AlGaN	1036	~5 mkm
8	Al ₂ O ₃ (11-20) Al ₂ O ₃ (10-12)	AlN – h~200 nm	GaN	1034	~ 4 mkm

Testing of electronic equipment products is necessary to control their quality and to predict reliability. As experiments with different types of radiation show, that GaN structures can work under more severe conditions (references). The objective of this work is to see the fundamental patterns of changes in the epitaxial structures of GaN, to study the formation of defects and their nature, to study

the effects of heavy charged particles, the effect of high doses of X—ray and gamma radiation, to consider the change in structures after irradiation with neutrons and protons.

The first stage: conducting neutron irradiation of specimens, obtaining the VAC characteristics and the dependence of the Hall EMF in semiconductors on the concentration and mobility of charge carriers.

The second stage: irradiation of samples with heavy charged particles, obtaining the VAC characteristics and the dependence of the Hall EMF in semiconductors on the concentration and mobility of charge carriers, structural analysis.

The third stage: irradiation of samples with X—ray, gamma radiation, obtaining the VAC characteristics and the dependence of the EMF Hall in semiconductors on the concentration and mobility of charge carriers, obtaining the dependence of the relaxation time from the absorbed dose.

References

1. Hazdra P., et al., Phys. Status Solodi A 1-8 (2016).
2. S. J. Pearton et al 2016 ECS J. Solid State Sci. Technol. 5 Q35.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ, МАГНИТНУЮ СТРУКТУРУ И КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

О. Н. Лис*, Д. П. Козленко, С. Е. Кичанов, Е. В. Лукин, И. Ю. Зель

141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области,
ул. Жолио-Кюри, д. 6 +79656061008 *e-mail: olis@jinr.ru

Ван-дер-ваальсовы соединения в настоящее время являются одними из самых интересных объектов исследования в области физики конденсированного состояния за счёт недавно открытых магнитных свойств в их двумерных формах. Особенности структуры приводят к значительной чувствительности физических свойств в этих соединениях к внешним воздействиям, которые могут вызвать множество необычных явлений: зарядовое, орбитальное и спиновое упорядочения, сверхпроводимость, различные фазовые переходы, также важные для разработки широкого спектра спинтронных устройств.

Воздействие высокого давления является прямым методом контролируемого изменения магнитных взаимодействий за счет вариации межатомных расстояний и углов. Проведение исследований при высоких давлениях дает уникальную возможность изучения взаимосвязи изменений структурных параметров и магнитной структуры, что необходимо для понимания природы и механизмов физических явлений, наблюдаемых в исследуемых объектах.

Настоящая работа посвящена исследованию кристаллической, магнитной структуры CrBr_3 и Fe_3GeTe_2 в широких диапазонах температур и давлений с помощью нейтронной дифракции на дифрактометре ДН-6 реактора ИБР-2 (ЛНФ, ОИЯИ, Дубна, Россия). Было обнаружено отрицательное тепловое объемное расширение в CrBr_3 ниже $T_C = 37$ К, связанное со спин-решеточной связью. Воздействие высокого давления приводит к подавлению магнитного упорядочения, и переход из исходного ФМ-состояния ожидается при $P \sim 8,4$ ГПа. Наши результаты также демонстрируют изоструктурный фазовый переход в ферромагнетике CrBr_3 (2,5 - 7 ГПа). Также аномалии в поведении частот колебательных мод, обнаруженные при $P \sim 15$ ГПа, указывают на другое фазовое превращение, предположительно связанное с процессом металлизации. Исследования Fe_3GeTe_2 при высоких давлениях также позволили выявить изоструктурный переход при $P \sim 7$ ГПа. Наблюдаемое аномальное поведение параметров элементарной ячейки, межатомных расстояний и углов, и колебательных мод могут свидетельствовать о конкурирующем характере внутрислойных (ab) и внеплоскостных (вдоль c) взаимодействий.

HIGH PRESSURE EFFECT ON CRYSTAL, MAGNETIC STRUCTURE AND VIBRATIONAL SPECTRA OF VAN DER WAALS COMPOUNDS

O. N. Lis*, D. P. Kozlenko, S. E. Kichanov, E. V. Lukin, I. Yu. Zel

Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
+79656061008 *e-mail: olis@jinr.ru

Van der Waals compounds are currently one of the most interesting objects of research in the field of condensed matter physics due to the recently discovered magnetic properties in their two-dimensional forms. The structural features lead to a significant sensitivity of the physical properties in these compounds to external influences, which can cause many unusual phenomena: charge, orbital and spin ordering, superconductivity, various phase transitions, also important for the development of a wide range of spintronic devices.

High pressure investigation is a direct method of controlled change in magnetic interactions due to variations in interatomic distances and angles. Investigations at high pressures provides a unique opportunity to study the relationship between changes in structural parameters and magnetic structure, which is necessary to understand the nature and mechanisms of physical phenomena observed in the objects under study.

This work is devoted to the study of the crystal and magnetic structure of CrBr_3 and Fe_3GeTe_2 in wide temperature and pressure ranges using neutron diffraction at DN-6 diffractometer of the IBR-2 reactor (FLNP, JINR, Dubna, Russia). A negative thermal volume expansion in CrBr_3 below $T_C = 37$ K was observed, associated with spin-lattice coupling. The effect of high pressure leads to the suppression of magnetic ordering, and the transition from the initial FM state is expected at $P \sim 8.4$ GPa. Our results also demonstrate an isostructural phase transition in a CrBr_3 ferromagnet (2.5–7 GPa). Also, anomalies in the behavior of vibrational mode frequencies detected at $P \sim 15$ GPa indicate another phase transformation, presumably associated with the metallization process. Studies of Fe_3GeTe_2 at high pressures also revealed an isostructural transition at $P \sim 7$ GPa. The observed anomalous behavior of the unit cell parameters, interatomic distances and angles, and vibrational modes may indicate the competing nature of in-plane (*ab*) and out-of-plane (along *c*) interactions.

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ТЕСТИРОВАНИЕ 4-Х КАНАЛЬНОГО БЫСТРОГО ДЕТЕКТОРА НА МКП

Ф. Ф. Валиев, Н. И. Калинин, Н. А. Макаров*, Г. А. Феофилов

Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. 7-9
*E-mail: n.a.makarov@mail.spbu.ru

Создан 4-х каналный детектор на МКП на основе быстродействующих компараторов и FPGA EPM240 фирмы ALTERA.

В рамках программной среды Quartus [1] проведено моделирование временных измерений для быстрого монитора столкновений пучков частиц на основе шевронных сборок микроканальных пластин (МКП) [2]. Алгоритм измерений основан на методе задержанных совпадений с использованием термометрического кода. Проверка тестового прототипа проведена с использованием 4 канального генератора наносекундных импульсов, с регулируемой задержкой между каналами.

Полученные следующие результаты измерений:

1. Вероятность ложной регистрации по одному из 4-х каналов за счет электромагнитной наводки между каналами не более 0.01 %.
2. При использовании данных компараторов и FPGA установлена возможность определения времени регистрации частиц детектором с погрешностью 100 пс. При этом расчетное быстродействие схемы считывания совпадает с измеренным и составляет для 4 канальной системе не более 6 нс на каждое событие.

Исследование проведено при финансовой поддержке Санкт-Петербургского государственного университета (ID: 94031112).

Список литературы

1. Программное обеспечение Altera Quartus Web Edition, http://altera.ru/soft_quartus.html.
2. G. Feofilov, N. Makarov, F. Valiev. Simulation of the fast readout system for mcp based beam beam collisions monitor for nica experiments // Abstract of report at LXXII-th International Conference "Nucleus-2022: Fundamental problems and applications". 2022. P. 326–327.

HARDWARE IMPLEMENTATION AND TESTING 4-CHANNEL FAST DETECTOR ON MCP

F. F. Valiev, N. I. Kalinichenko, N. A. Makarov*, G. A. Feofilov

St. Petersburg State University, 199034, St. Petersburg, Universitetskaya emb., 7-9

*E-mail: n.a.makarov@mail.spbu.ru

A 4-channel MCP detector based on high-speed comparators and FPGA EPM240 from ALTERA was created.

Simulation of time measurements for fast monitoring of particle beam collisions based on chevron assemblies of microchannel plates (MCPs) was carried out [1] within the framework of the Quartus software environment [2].

The measurement algorithm is based on the delayed coincidence method using a thermometric code. The prototype was tested using a 4-channel nanosecond pulse generator with an adjustable delay between channels.

The obtained results of possible measurements:

1. The probability of false registration in 4 passes due to an electromagnetic wave between flows is not more than 0.01%.

2. When collecting data from comparators and FPGAs, it is possible to determine the time of registration of a sample by a detector with an error of 100 ps.

The study was supported by St. Petersburg State University (ID: 94031112).

References

1. G. Feofilov, N. Makarov, F. Valiev. Simulation of the fast readout system for mcp based beam beam collisions monitor for nica experiments// Abstract of report at LXXII-th International Conference "Nucleus-2022: Fundamental problems and applications". 2022. P.326-327.
2. Altera Quartus Web Edition software, http://altera.ru/soft_quartus.html.

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ СМК ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА ИОНОВ

А. Н. Иванов, А. Г. Малькин, Е. О. Митянин, Е. В. Артемьева

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г.Саров, пр. Мира 37
staff@vniief.ru

Комплекс программ СМК [1] предназначен для моделирования переноса частиц методом Монте-Карло. В последнее время возможности комплекса существенно расширены,

что позволяет кроме основных четырех типов частиц – нейтронов, гамма-квантов, электронов и позитронов моделировать также перенос ионов.

В комплексе реализованы два типа источников ионов – независимые источники, задаваемые пользователем, а также источником легких ионов могут являться столкновения нейтронов с ядрами вещества при совместном моделировании переноса нескольких типов частиц. В последнем случае для розыгрыша параметров рожденных частиц используются табличные данные библиотеки Jeff-3.3.

Моделирование переноса ионов проводится в приближении непрерывного замедления с использованием таблиц потерь энергии, полученных с помощью свободно распространяемой программы SRIM [2]. Реализован ряд моделей учета флуктуации потерь энергии, используемых в комплексе Geant4 [3].

Кроме непрерывного замедления в комплексе CMK реализованы два способа учета процесса упругого рассеяния ионов в среде – аналитическая модель, используемая в комплексе Geant4, и с помощью построения интеграла столкновений Фоккера-Планка.

Также в комплексе CMK расширены возможности задания геометрии. Был введен новый тип геометрического блока – блок-решетка, что позволило задавать в постановках расчетов микросхемы, состоящие из большого числа ячеек.

Приводится сравнение результатов расчетов модельных задач, полученных в комплексах CMK и Geant4.

Список литературы

[1] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011610500 CMK от 11.01.2011 г. Авторы: Житник А. К., Залялов А. Н., Малькин А. Г. и др.

[2] J. F. Ziegler, J. P. Biersack, M. D. Ziegler. // SRIM – The Stopping and Range of Ions in Matter. SRIM Co. ISBN 978-0-9654207-1-6 (2008).

[3] J. Allison, K. Amako, J. Apostolakis, H. Araujo, et al // Geant4 developments and applications. IEEE Transactions on Nuclear Science v.53 No. 1 (2006) pp270-278.

EXPANDING POSSIBILITIES OF CMK SOFTWARE PACKAGE TO SIMULATE ION TRANSPORT

A. N. Ivanov, A. G. Malkin, E. O. Mityanin, E. V. Artemyeva

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics» Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave 37
staff@vniief.ru

CMK software package [1] is designed for simulating particle transport with Monte-Carlo method. Possibilities of the package have been expanded considerably, and that allows simulating ion transport in addition to the simulation of the four basic types of particles – neutrons, photons, electrons and positrons.

CMK realizes two types of ion sources – independent sources set by the user and the source of light ions in the form of neutron collisions of neutrons with the nuclei of the material in case of the mixed simulation of the transport of several types of particles. In the last case, we use table data of Jeff-3.3 library to simulate the parameters of the originated particles.

Ion transport simulation is carried out in approximation of continuous stopping using the tables of energy loss produced with freely available SRIM program [2]. A number of models to account for energy loss fluctuations used in Geant4 [3] is realized.

Besides continuous stopping, CMK realizes two ways of accounting for the elastic scattering process for ions in the medium – an analytical model used in Geant4 and the one using the integral construction for Fokker-Planck collisions.

CMK also expands the possibilities of setting the geometry. A new type of the geometric block has been introduced – it is a block-mesh; this allows setting the computations of an integrated circuit comprising a big number of cells.

The computation results of model problems produced in CMK and Geant4 are compared.

References

- [1] Certificate of state registration for the CMK computer program №2011610500 dated 11.01.2011. Authors: Zhitnik A. K., Zalyalov A. N., Malkin A. G. et al.
- [2] J. F. Ziegler, J. P. Biersack, M. D. Ziegler. // SRIM – The Stopping and Range of Ions in Matter. SRIM Co. ISBN 978-0-9654207-1-6 (2008).
- [3] J. Allison, K. Amako, J. Apostolakis, H. Araujo, et al // Geant4 developments and applications. IEEE Transactions on Nuclear Science v.53 No. 1 (2006) pp270-278.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ ФОРМИРОВАНИЯ p^+ -СЛОЯ В КРЕМНИЕВЫХ ДИФфуЗИОННЫХ СТРУКТУРАХ НА СКОРОСТЬ ВВЕДЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Махкамов Ш.¹, Эрдонов М. Н.¹, Ташметов М. Ю.¹, Саидов Р. П.¹, Холмедов Х. М.²

¹ 100214, Институт ядерной физики АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

² 100084, Ташкентский университет информационных технологий имени аль-Хорезми,

ул. Амира Тимура 10, г. Ташкент, Узбекистан

e-mail: makhkamov@inp.uz

muzaffarerdonov1978@yandex.ru

Управление свойствами полупроводниковых кристаллов и характеристиками изделий на их основе воздействием радиации является одним из перспективных технологических направлений полупроводниковой микроэлектроники. Возможность использования в технологических целях наведенных радиационных дефектов требует изучения эффективности их формирования в зависимости от вида и параметра воздействующих частиц, температуры облучения, степени легирования базового кристалла и конструкционной особенности изготавливаемого изделия. Одним из широко применяемых способов управления быстродействия полупроводниковых диодных структур является введение в базовые области изделий рекомбинационных дефектных центров путем радиационного воздействия. Однако анализ литературных данных показывает, что на эффективность формирования радиационных дефектов (РД) влияют способ и технологические режимы изготовления диодных структур.

Настоящая работа посвящена исследованию глубины залегания p^+ – слоя в диффузионных кремниевых $p^+ - n - p^+$ структурах на скорость введения радиационных дефектных центров при облучении электронами с энергией 4 МэВ и определению оптимальных дефектных центров рекомбинации, влияющих на быстродействие диодов. Диффузионные диоды изготавливались из $n-Si$ с удельным сопротивлением $0,3 - 4,5 \Omega \cdot cm$ путем легирования Al при температуре $1150^\circ C$. Толщина базы всех изготовленных образцов составляла 400 мкм. Глубина формирования p^+ – слоя регулировалась изменением времени диффузии от 0,5 до 10 ч, что позволяло получить p^+ – слой с глубиной залегания от 10 до 60 мкм. Облучение образцов проводилось электронами с энергией 4 МэВ в интервале флюенсов $10^{13} - 10^{15} cm^{-2}$. Контроль радиационных дефектных центров осуществлялся методом DLTS, а быстродействие – измерением времени восстановления обратного сопротивления диодов.

Установлено, что в образцах после облучения электронами в указанном интервале флюенсов в спектре DLTS появляются пики, связанные с глубокими рекомбинационными уровнями $E_c - 0,17$ эВ, $E_c - 0,23$ эВ, $E_c - 0,39$ эВ и $E_c - 0,44$ эВ, которые приписываются к РД (A , V_2 и E центры соответственно). При сопоставлении концентрации указанных центров в зависимости от глубины p^+ – слоя выявлено, что возрастание глубин p^+ – слоя приводит к повышению скорости введения РД и доходит до максимума при глубинах p^+ – слоя 25 мкм. Дальнейшее повышение глубины приводит к понижению скорости введения уровней $E_c - 0,23$ эВ и $E_c - 0,44$ эВ. В отличие от указанных центров РД, обусловленных уровнем $E_c - 0,39$ эВ (дивакансия), при глубинах p^+ – слоя > 30 мкм возрастает и становится больше суммарного значения концентрации уровней $E_c - 0,23$ эВ и $E_c - 0,44$ эВ. Установлено, что во всех диодных структурах вне зависимости от глубины залегания p^+ – слоя и флюенса электронного облучения основную

концентрацию РД составляет рекомбинационный центр $E_c-0,17$ эВ. Показано, что при глубинах $p^+ - \text{слоя} > 60$ мкм время восстановления обратного сопротивления радиационно-обработанных диффузионных $p^+ - n - n^+$ структур понижается на порядок и определяется концентрацией центров $E_c-0,17$ эВ и $E_c-0,39$ эВ. Предложена квазихимическая реакция с участием Al, O и V на границе раздела $p^+ - \text{слоя}$, позволяющая объяснить изменение скорости введения РД в кремниевых диффузионных диодных структурах.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE DEPTH OF P^+ - LAYER FORMATION IN SILICON DIFFUSION STRUCTURES ON THE INTRODUCTION RATE OF RADIATION DEFECTS UNDER ELECTRON IRRADIATION

Sh. Makhkamov¹, M. Yu. Tashmetov¹, M. N. Erdonov¹, R. P. Saidov¹, Kh. M. Kholmedov²

¹ Institute of Nuclear Physics, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
100214 Tashkent, Uzbekistan

²Tashkent Al-Khwarizmi University of Information Technologies, 10 Amir Timur str.,
100084, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: makhkamov@inp.uz
muzaffarerdonov1978@yandex.ru

Controlling the properties of semiconductor crystals and the characteristics of products based on them by exposure to radiation is one of the promising technological areas of semiconductor microelectronics. The possibility of using induced radiation defects for technological purposes requires studying the efficiency of their formation depending on the type and parameter of the acting particles, the irradiation temperature, the degree of doping of the base crystal, and the design features of the manufactured product. One of the widely used methods for controlling the speed of semiconductor diode structures is the introduction of recombination defect centers into the base regions of products by radiation exposure. However, an analysis of the literature data shows that the efficiency of the formation of radiation defects (RD) is affected by the method and technological modes of fabrication of diode structures.

This work is devoted to the study of the depth of the $p^+ - \text{layer}$ in diffusion silicon $p^+ - n - n^+$ structures on the rate of introduction of radiation defect centers upon irradiation with electrons with an energy of 4 MeV and to the determination of the optimal defect recombination centers that affect the performance of diodes. Diffusion diodes were made of $n - \text{Si}$ with a specific resistance of $0.3 - 4.5 \Omega \cdot \text{cm}$ by doping with Al at a temperature of 1150°C . The base thickness of all fabricated samples was $400 \mu\text{m}$. The formation depth of the p^+ layer was controlled by changing the diffusion time from 0.5 to 10 h, which made it possible to obtain a $p^+ - \text{layer}$ with a depth of 10 to $60 \mu\text{m}$. The samples were irradiated with electrons with an energy of 4 MeV in the fluence range $10^{13} - 10^{15} \text{ cm}^{-2}$. The control of radiation defect centers was carried out by the DLTS method, and the speed was measured by measuring the recovery time of the reverse resistance of the diodes.

It has been established that in the samples after irradiation with electrons in the indicated range of fluences, peaks appear in the DLTS spectrum associated with deep recombination levels $E_c-0.17$ eV, $E_c-0.23$ eV, $E_c-0.39$ eV, and $E_c-0.44$ eV, which are attributed to the RD (A, V^2 and E centers, respectively). When comparing the concentration of these centers depending on the depth of the $p^+ - \text{layer}$, it was found that an increase in the depth of the $p^+ - \text{layer}$ leads to an increase in the rate of introduction of RD and reaches a maximum at a depth of the $p^+ - \text{layer}$ of $25 \mu\text{m}$. A further increase in depth leads to a decrease in the rate of introduction of the levels $E_c-0.23$ eV and $E_c-0.44$ eV. In contrast to the indicated centers, the RD, caused by the level of $E_c-0.39$ eV (divacancy), at depths of the $p^+ - \text{layer} > 30 \mu\text{m}$ increases and becomes greater than the total concentration of the levels $E_c-0.23$ eV and $E_c-0.44$ eV. It has been established that in all diode structures, regardless of the depth of the $p^+ - \text{layer}$ and the electron irradiation fluence, the main concentration of RD is the recombination center $E_c-0.17$ eV. It is shown that at depths of the $p^+ - \text{layer} > 60 \mu\text{m}$, the recovery time of the reverse resistance of radiation-treated diffusion $p^+ - n - n^+$ structures decreases by an order of magnitude and is determined by the concentration of centers $E_c-0.17$ eV and $E_c-0.39$ eV. A quasi-chemical reaction involving Al, O, and V at the interface of the $p^+ - \text{layer}$ is proposed, which makes it possible to explain the change in the rate of introduction of RD in silicon diffusion diode structures.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ БОРСОДЕРЖАЩИЕ ПЛАСТМАССОВЫЕ СЦИНТИЛЛЯТОРЫ

И. И. Камнев¹, И. Б. Немченко^{1,2}, И. А. Суслов^{1,2}, А. Д. Быстрыakov^{1,2}

¹141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области,
ул. Жолио-Кюри, д. 6

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Университет «Дубна» (государственный университет «Дубна»)
ул. Университетская 19, г. Дубна, Московская обл., Россия, 141980
8 (926) 340-90-28, e-mail: potre_@mail.ru

В настоящей работе описывается технология получения композиционных борсодержащих пластмассовых сцинтилляторов на основе сополимеров метакриловой кислоты (МК) и метилметакрилата (ММА) со стиролом (Ст). В качестве борсодержащего соединения использовался порошок нитрида бора (BN), а в качестве сцинтиллирующей добавки – порошок сульфида цинка, допированный серебром (ZnS(Ag)).

В результате работы были получены серии образцов с разным соотношением мономеров в полимерной матрице и с разным соотношением нитрида бора и сульфида цинка. Исследуемые образцы представляли собой диски диаметром 25 мм и толщиной 1 или 2 мм.

Для всех серий образцов была измерена относительная эффективность регистрации тепловых нейтронов.

COMPOSITE BORON-LOADED PLASTIC SCINTILLATORS

I. I. Kamnev¹, I. B. Nemchenok^{1,2}, I. A. Suslov^{1,2}, A. D. Bystryakov^{1,2}

¹Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

²Dubna State University, 19 Universitetskaya St, Dubna, Moscow Region, Russia, 141980
8 (926) 340-90-28, e-mail: potre_@mail.ru

This document presents the technology for producing composite boron-loaded plastic scintillators based on copolymers of methacrylic acid (MA) and methyl methacrylate (MMA) with styrene (St). Boron nitride was used as a boron-containing compound and silver-doped zinc sulfide powder (ZnS(Ag)) was used as a scintillating additive.

As a result, the series of samples were produced with different ratios of monomers in the polymer matrix and with different ratios of boron nitride and zinc sulfide. The experimental samples were 25 mm diameter and 1 or 2 mm thickness.

The relative efficiency of thermal neutron detection was measured for all series of samples.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СТЕРИЛИЗАЦИИ И КОНСЕРВАЦИИ ИСКОПАЕМЫХ БИООБЪЕКТОВ

Н. А. Николаева, В. В. Розанов, И. В. Матвейчук, А. П. Черняев, С. Н. Мамаева

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,
677013, г. Якутск, ул. Кулаковского, д. 48, СВФУ имени М.К. Аммосова,
Тел. 8(914)2793336, e-mail: larsoon696@mail.ru

Рассматривается возможность использования нового метода обработки и стерилизации биологических образцов мамонта и других древних животных с применением озона и облучения электронами высокой энергии для длительного хранения и исследований. В

дополнение к решению вопросов обеспечения безопасности, такая обработка значительно улучшает сохранность образца. На сегодняшний день музеи в основном используют химические методы стерилизации. Исследователи неоднократно отмечали высокую токсичность окиси этилена, его канцерогенные свойства и возможность мутагенного воздействия на растения, бактерии и лабораторных животных. Наиболее эффективным методом стерилизации является лучевая обработка. Однако радиация при величине поглощенной дозы в 20-40 кГр может вызывать серьезные изменения как в структуре, так и в свойствах ископаемых фрагментов, что приводит к потере важной информации при их дальнейшем изучении.

Комбинированное воздействие (озон + радиация) [1] позволяет существенно снизить величину поглощенной дозы при одновременном эффективном уничтожении патогенов даже в споровой форме. Этот метод также позволяет заменить или резко сократить использование химических веществ. Проведены исследования образцов тканей Малоляховского мамонта комплексными методами с использованием сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии, инфракрасной спектроскопии и рамановского спектрометра. Результатами исследования являются новые данные о морфологии поверхности, элементном составе ископаемых фрагментов. В будущем планируется разработать общие правила обработки и сохранения найденных костей вымерших животных и сохранения ископаемых древних останков эпохи плейстоцена, а также археологических находок костей.

Список литературы

1. Алимов А. С., Близнюк У. А., Борщеговская П. Ю. и др. Применение пучков ускоренных электронов для радиационной обработки продуктов питания и биоматериалов // Известия Российской академии наук. Серия физическая, том 81, № 6, с. 819-823

ON THE POSSIBILITY OF APPLYING COMBINED RADIATION TECHNOLOGIES FOR STERILIZATION AND PRESERVATION OF FOSSIL BIO-OBJECTS

N. A. Nikolaeva, V. V. Rozanov, I. V. Matveichuk, A. P. Chernyaev, S. N. Mamaeva

M.K.Ammosov North-Eastern Federal University, 677013, Yakutsk, ul. Kulakovskogo, 48,
Phone 89644287516, e-mail larsoon696@mail.ru

The possibility of using a new method of processing and sterilizing biological samples of mammoths and other ancient animals using ozone and high-energy electron irradiation for long-term storage and research is being considered. In addition to addressing safety concerns, this treatment greatly improves sample retention. Today, museums mainly use chemical methods of sterilization. Researchers have repeatedly noted the high toxicity of ethylene oxide, its carcinogenic properties and the possibility of mutagenic effects on plants, bacteria and laboratory animals. The most effective sterilization method is radiation treatment. However, radiation at an absorbed dose of 20–40 kGy can cause serious changes in both the structure and properties of fossil fragments, which leads to the loss of important information during their further study.

Combined exposure (ozone + radiation) [1] can significantly reduce the amount of absorbed dose while effectively destroying pathogens, even in spore form. This method also makes it possible to replace or drastically reduce the use of chemicals. The tissue samples of the Malolyakhov mammoth were studied by complex methods using scanning electron and atomic force microscopy, infrared spectroscopy, and a Raman spectrometer. The results of the study are new data on the surface morphology, elemental composition of fossil fragments. In the future, it is planned to develop general rules for the processing and preservation of the found bones of extinct animals and the preservation of fossil ancient remains of the Pleistocene era, as well as archaeological finds of bones.

References

1. Alimov A. S., Bliznyuk U. A., Borchegovskaya P. U. et al. Using accelerated electron beams for the radiation processing of foodstuffs and biomaterials // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2017. V. 81. № 6. P. 743-747.

СОСТАВ И ЛИНЕЙНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ ПРОДУКТОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ $W(p,x)$ И $Ta(p,x)$

Н. В. Новиков, Н. Г. Чеченин, А. А. Широкова

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия, тел: +7-495-9392486,
E-mail: nvnovikov65@mail.ru
site@sinp.msu.ru

Эффект сбоя бортовой электроники от одного иона может происходить не только от ионизации материала первичными ионами, но также от взаимодействия заряженных фрагментов ядерной реакции [1, 2] с одним из материалов интегральной схемы. При одном столкновении с ядром образуется сразу несколько вторичных заряженных частиц. Их неупругие потери энергии и заряды значительно больше, чем у первичного протона. Продукты ядерных реакций несут информацию не только о механизмах реакций, но и о динамике образования и распада промежуточных составных ядер [3].

Метод Монте-Карло [4] используется для исследования состава, энергии и линейной передачи энергии продуктов ядерных реакций в столкновениях быстрых протонов с ядрами тантала и вольфрама. Сравниваются результаты, полученные для неупругого взаимодействия протонов с энергией $E \leq 10$ ГэВ.

Список литературы

1. N. V. Novikov, N. G. Chechenin, and A. A. Shirokova. Modern Physics Letters B. 37, 2350041 (2023).
2. N. G. Chechenin, N. V. Novikov, and A. A. Shirokova. Physics of Atomic Nuclei, 86, 188 (2023).
3. N. V. Novikov, N. G. Chechenin, and A.A. Shirokova. Physics of Atomic Nuclei, 86, 198 (2023).
4. J. Allison, K. Amako, J. Apostolakis et al. NIM A. 835, 186 (2016).

THE COMPOSITION AND LINEAR ENERGY TRANSFER OF $W(p,x)$ AND $Ta(p,x)$ NUCLEAR REACTION PRODUCTS

N. V. Novikov*, N. G. Chechenin, A. A. Shirokova

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics Moscow State University,
119991, Moscow, Leninskiye gory, 1, Russia, tel: +7-495-9392486,
E-mail: nvnovikov65@mail.ru
site@sinp.msu.ru

The single event effects on onboard electronics can occur not only from direct medium ionization by primary ions, but also from the effect of charged fragments of the nuclear reactions [1, 2] of one of the materials of an integrated circuit. In one collision with the nucleus, several secondary charged particles are formed at once. Their inelastic energy losses and charges are significantly greater than those of the primary proton. Products of nuclear reactions carry information not only about reaction mechanisms but also about the dynamics of formation and decay of intermediate compound nuclei [3].

Monte Carlo method [4] is used to study the composition, energies and linear energy transfer of products of nuclear reactions induced by collisions of fast protons with tantalum and tungsten nuclei. We compare the results obtained for inelastic proton interaction at energies in the range of $E \leq 10$ GeV.

References

1. N. V. Novikov, N. G. Chechenin, and A. A. Shirokova. Modern Physics Letters B. 37, 2350041 (2023).
2. N. G. Chechenin, N. V. Novikov, and A. A. Shirokova. Physics of Atomic Nuclei, 86, 188 (2023).
3. N. V. Novikov, N. G. Chechenin, and A. A. Shirokova. Physics of Atomic Nuclei, 86, 198 (2023).
4. J. Allison, K. Amako, J. Apostolakis et al. NIM A. 835, 186 (2016).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОТОННОЙ ТЕРАПИИ НА ПУЧКЕ 160 МэВ

А. В. Овсянников*, М. В. Желтоножская, С. Р. Адоньев, А. П. Черняев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1с2
* 270560@list.ru, 8 909-946-56-25

В последние годы одним из наиболее перспективных методов лечения злокачественных образований является протонная терапия. По сравнению с традиционной лучевой терапией фотонами, протонная терапия с модулированной интенсивностью может доставлять высокую лечебную дозу к опухолям при минимальной дозе для нормальных тканей. Тем не менее, в результате ядерных взаимодействий высокоэнергетических протонов с воздухом, телом человека и элементами ускорителя может формироваться вторичное излучение. Ввиду высоких энергий пучков протонов, используемых для лечебной терапии (до 250 МэВ) вторичные частицы могут быть представлены протонами, дейтронами, альфа-частицами и нейтронами, которые передают большую часть своей энергии не только опухоли, но и окружающим нормальным тканям.

К настоящему времени исследованию механизмов возбуждения различных ядерных реакций при взаимодействии протонов с энергиями до 250 МэВ с химическими элементами лечебных установок, а также с элементами тела пациента, такими легкими ядрами, как углерод, кальций, кислород, азот и др. и оценке вторичной дозы посвящено единичное число работ.

В представленной работе исследовалось образование радиоактивных нуклидов при облучении мишеней металлического кальция и CaCl_2 естественного состава протонами с энергией 160 МэВ. В гамма-спектрах облученных мишеней выделены активности ^7Be ($T_{1/2}=53$ сут), ^{22}Na ($T_{1/2}=2.6$ г), ^{24}Na ($T_{1/2}=15$ ч), ^{28}Mg ($T_{1/2}=21$ ч) и продуктов активации изотопов кальция в реакциях $(p, \alpha Xn)$ и (p, Xn) – ^{42}K ($T_{1/2}=12.4$ ч), ^{43}K ($T_{1/2}=22.3$ ч), ^{43}Sc ($T_{1/2}=3.89$ ч), ^{44}Sc ($T_{1/2}=3.93$ ч). Для реакции расщепления измерены экспериментальные выходы для всех нуклидов с погрешностью не выше 10 %. Полученные результаты сравнивались с имеющимися экспериментальными данными о выходе для ^{22}Na , ранее измеренного для энергии протонов 158 МэВ, расхождение оказалось в рамках погрешности измерений. Полученные результаты обсуждаются.

STUDY OF NUCLEAR REACTIONS DURING PROTON THERAPY AT 160 MeV BEAM

A. V. Ovsyannikov*, M. V. Zheltonozhskaya, S. R. Adoniev, A. P. Chernyaev

Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory 1b2
* 270560@list.ru, +7 (909) 946-56-25

One of the most promising methods for treating malignant tumors in recent years is proton therapy. Compared to traditional photon radiation therapy, intensity modulated proton therapy can deliver a high therapeutic dose to tumors and a minimal dose to normal tissues. Nevertheless, secondary radiation can arise from nuclear interactions of high-energy protons with air, the human body and accelerator elements. Due to the high energies of the proton beams used for therapeutic therapy (up to 250 MeV), secondary particles can be protons, deuterons, alpha particles and neutrons, which transfer most of their energy not only to tumors, but also to surrounding normal tissues.

To date, the study of the mechanisms of excitation of various nuclear reactions during the interaction of protons with energies up to 250 MeV with chemical elements of medical devices, as well as with elements of the patient's body, such as light nuclei such as carbon, calcium, oxygen, nitrogen, etc., has been discussed only in a few work done.

In the present work, nuclear reactions with accelerated protons on natural calcium targets of different compositions were investigated. The targets made of metallic calcium and CaCl_2 were irradiated with proton beams with an energy of 160 MeV. The activities of ^7Be ($T_{1/2}=53$ days), ^{22}Na ($T_{1/2}=2.6$ y), ^{24}Na ($T_{1/2}=15$ h), ^{28}Mg ($T_{1/2}=21$ h) and such activation products calcium isotopes in the reactions $(p, \alpha Xn)$ and (p, Xn) as ^{42}K ($T_{1/2}=12.4$ h), ^{43}K ($T_{1/2}=22.3$ h), ^{43}Sc ($T_{1/2}=3.89$ h), ^{44}Sc ($T_{1/2}=3.93$ h) were identified in the gamma spectra of irradiated targets. For the splitting reaction, the experimental yields were measured for all nuclides with maximum uncertainty of 10%. The results obtained were compared with the available experimental data on the yield for ^{22}Na , previously measured for a proton energy of 158 MeV, and it was found that the deviation was within the measurement uncertainty. The results obtained are discussed.

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ФРАГМЕНТОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В ГРАФИТОВЫХ БЛОКАХ, ИЗВЛЕКАЕМЫХ ПРИ ДЕМОНТАЖЕ ГРАФИТОВОЙ КЛАДКИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

А. О. Павлюк, Е. В. Беспала, Е. П. Зеленецкая, И. А. Ушаков

Томский политехнический университет, пр. Ленина, 30, Томск, Томская обл., 634050,
сот.тел. +79138288007, e-mail: pavlyuk17@tpu.ru

В настоящее время в РФ для вывода из эксплуатации энергетических уран-графитовых реакторов (УГР) типа РБМК, АМБ и др. приоритетной стратегией является «Немедленный демонтаж». При этом часть графитовых блоков могут содержать просыпи фрагментов ядерного топлива, что требует обнаружения и определения их параметров при извлечении из реактора до контейнеризации. Информация о содержании просыпей ядерного топлива необходима для соблюдения требований ядерной безопасности и выполнения сортировки с учетом существующих ограничений на содержание ядерно-опасных нуклидов в контейнерах. Фрагменты топлива с относительно высоким выгоранием являются источниками интенсивного гамма и нейтронного излучений из-за накопления в них радионуклидов продукта деления ^{137}Cs и актинида ^{244}Cm , что позволяет выполнить их детектирование и определить основные параметры их локализации на поверхности блока. С этой целью был предложен способ [1], предполагающий в соответствии с разработанным алгоритмом поэтапное выполнение измерений извлеченного графитового блока 1 в ячейке 2 специальной измерительной сборки (см. рис.), состоящей из замедлителя 3 и установленных в нее в определенном порядке детекторов гамма-излучения 4, надтепловых 5 и тепловых 6 нейтронов. Графитовый блок 1 помещается в сборку и извлекается с помощью специального полого захвата 7, также содержащего внутри детекторы гамма 8 и нейтронного 9 излучений, необходимых для предварительного обнаружения топлива.

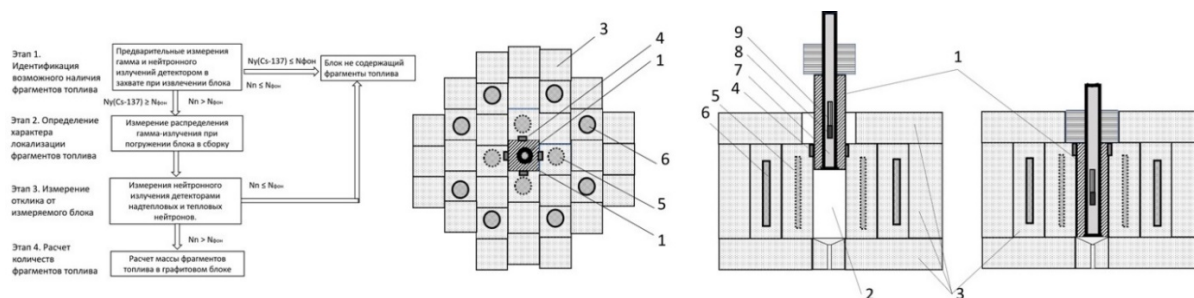


Рисунок. Схема алгоритма (слева) и измерительной сборки (в центре и справа)

Список литературы

1. Способ обнаружения фрагментов ядерного топлива и определения их параметров в графитовых блоках ядерного реактора: заявка на изобретение РФ № 2022135053 от 29.12.2022 / Павлюк А. О. / заявитель и патентообладатель: НИ ТПУ.

METHOD FOR DETECTING NUCLEAR FUEL SPILLS IN GRAPHITE BLOCKS RETRIEVED DURING DISMANTLEMENT OF A NUCLEAR REACTOR GRAPHITE STACK

A. O. Pavlyuk, E. V. Bespala, E. P. Zelenetskata, I. A. Ushakov

National Research Tomsk Polytechnic University, Lenin Avenue, 30, Tomsk, Tomsk region, 634050,
mob. +79138288007, e-mail: pavlyuk17@tpu.ru

At present, the priority strategy in the Russian Federation for the decommissioning of uranium-graphite power reactors (UGRs) such as RBMK, AMB, etc. is «Immediate Dismantlement». At the same time, some graphite units may contain spills of nuclear fuel fragments, which requires detection and determination of their parameters during removal from the reactor prior to containerization. Information on the content of nuclear fuel spills is needed to comply with nuclear safety requirements and to perform sorting, taking into account existing restrictions on the content of nuclear-hazardous nuclides in containers. Fuel fragments with relatively high burn-up are sources of intense gamma and neutron radiation due to accumulation of ^{137}Cs fission product radionuclides and ^{244}Cm actinide radionuclides in them, which allows to perform their detection and determine the main parameters of their localization on the block surface. For this purpose, a method [1] was proposed that implies, in accordance with the developed algorithm, stepwise performing measurements of the extracted graphite block 1 in the cell 2 of a special measuring assembly (see Fig.) consisting of a moderator 3 and installed in it in a certain order gamma radiation detector 4, epithermal 5 and thermal 6 neutrons detectors. Graphite block 1 is placed in the assembly and retrieved using a special hollow grab 7, also containing inside the detectors of gamma 8 and neutron 9 radiation, necessary for preliminary fuel detection.

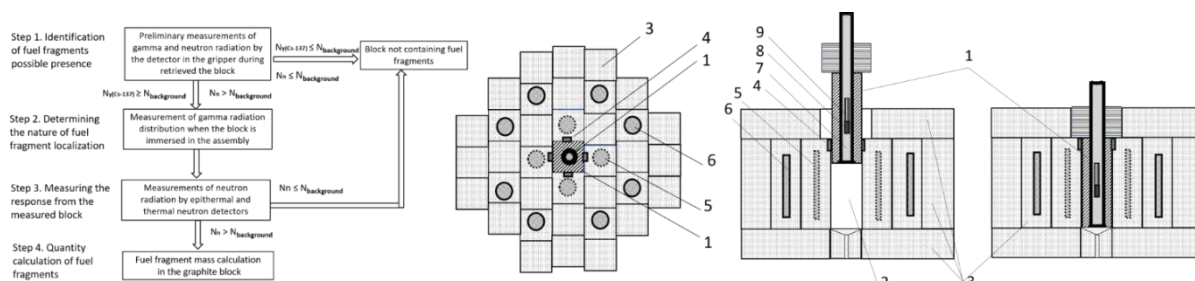


Figure. Schematic of the algorithm (left) and measuring assembly (middle and right)

References

1. Method of nuclear fuel fragments detecting and determine their parameters in nuclear reactor graphite blocks: invention application of Russian Federation № 2022135053 dated 29.12.2022 / Pavlyuk A. O. / applicant and patent holder: TPU.

РОССИЙСКИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ (500-1000 МС/С) МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ДИДЖИТАЙЗЕРЫ

И. С. Бредихин, А. В. Пашков

ООО «Диджитайзер», Новгородская область, г. В. Новгород, ул. Московская, д. 53, оф. 30
+79057650009, ivan@edigitizer.ru

Построение цифровых схем для обработки и управления экспериментальными установками является обязательным атрибутом построения современного научного эксперимента в области ядерной физики или физики частиц. Растущая сложность экспериментов приводит к появлению всё новых требований к цифровой электронике. Они не ограничиваются ростом скоростей оцифровки, или ростом скорости передачи и обработки данных. Растущие объёмы данных делают всё более и более заманчивой идею не переносить данные на компьютер, а обрабатывать их прямо на «железе», непосредственно во время сбора данных. Проблемой тут встаёт либо невозможность изменять встроенную в ПЛИС прошивку, либо требования к написанию сложного низкоуровневого кода для работы с ПЛИС.

В рамках реализации проекта нашей компанией разрабатывается линейка высокоскоростных диджитайзеров с программируемой ПЛИС. Действительно, в мире существует целый ряд международных компаний, специализирующихся на разработке, производстве и коммерческой реализации широкого спектра диджитайзеров. Но в отличие от большинства имеющихся на мировом рынке решений, где алгоритмы обработки преобразованного сигнала защиты жестко в диджитайзер (конкретно в ПЛИС) и позволяют каждой отдельной модели диджитайзера решать конкретную задачу, в разрабатываемых нами решениях предусмотрена возможность лёгкого перепрограммирования ПЛИС без необходимости изменять всю внутреннюю архитектуру, что делает возможным менять алгоритм обработки сигнала – так называемый подход «открытый ПЛИС».

Кроме того, вышеупомянутые мировые производители – это компании из Франции, США, Италии, Германии – стран, что ввели санкции против Российской Федерации в 2022 году. Все высокоскоростные диджитайзеры, подпадая под категорию двойного назначения были запрещены к поставкам в Россию и Беларусь [1].

В рамках докладываемой работы будут представлены практические результаты разработки высокоскоростных многоканальных диджитайзеров российского производства, обладающих конкурентными техническими характеристиками и возможностью быстрой смены пользовательской прошивки для лёгкой адаптации приборов под стоящие научные задачи.

Таблица сравнения ключевых параметров и областей применения диджитайзеров

модель	# канал	МВыб/с	# бит	применение
D125-16A	16	125	14	Спектроскопия & работа в режиме МКА Продвинутая обработка (усиление, форма)
D500-4/8	4/8	500	14	Средне-быстрые детекторы, суб-нс времена вместе с хорошим разрешением по энергии
D1000-4	4	1000	14	Сверхбыстрые детекторы (алмазные, MPCs, SiPMs) Изучение процессов с пикосекундным разрешением
GT-01	1 / 2	20 / 40	12	Спектроскопия & работа в режиме МКА

Список литературы

[1] Official Journal of the European Union 25.2.2022 L 49/1 “amending Regulation (EU) No 833/2014 concerning restrictive measures in view of Russia's actions destabilising the situation in Ukraine”.

RUSSIAN HIGH-SPEED (500-1000 MS/S) MULTI-CHANNEL DIGITIZERS

A. V. Pashkov, I. S. Bredikhin

Digitizer LLC, Novgorod region, V. Novgorod, st. Moskovskaya, d. 53, of. Thirty
+79057650009, ivan@edigitizer.ru

Construction of digital circuits for the processing and control of experimental setups is a mandatory attribute of the construction of a modern scientific experiment in the field of nuclear physics or particle physics. The growing complexity of experiments leads to new requirements for digital electronics. These requirements are not limited to the growth in digitization speed, or growth in the speed of data transmission and processing. The growing amount of data makes it more and more tempting to not transfer data to a computer, but to process it right on the hardware, right at the time of data collection. The problem here is either the inability to change the firmware built into the FPGA, or the requirements for writing complex low-level code to work with the FPGA.

As part of the project, our company is developing a line of high-speed digitizers with a programmable FPGA. Indeed, there are several international companies around the world that specialize in the development, production, and commercialization of a wide range of digitizers. But unlike most solutions available on the world market, where the algorithms for processing the converted signal are hardwired into the digitizer (specifically in the FPGA) and allow each individual digitizer model to solve a specific problem, the solutions we develop provide for the possibility of easy reprogramming of the FPGA without the need to change the entire internal architecture, which makes it possible to change the signal processing algorithm – the so-called "open FPGA" approach.

In addition, the global manufacturers are companies from countries (France, USA, Italy, Germany) that imposed sanctions against the Russian Federation in 2022. All high-speed digitizers falling under the dual-use category were banned from deliveries to Russia and Belarus [1].

As part of the report, practical results of the development of Russian-made high-speed multi-channel digitizers with competitive technical characteristics and the ability to quickly change user firmware for easy adaptation of devices to scientific tasks will be presented.

Comparison table of key parameters and areas of application of digitizers

model	# channel	MS/s	# bit	applications
D125-16A	16	125	14	Spectroscopy & MCA operation Advanced processing (gain, shape)
D500-4/8	4/8	500	14	Medium-fast detectors, sub-ns times along with good energy resolution
D1000-4	4	1000	14	Ultrafast detectors (Diamond, MPCs, SiPMs) Study processes with picosecond resolution
GT-01	1 / 2	20 / 40	12	Spectroscopy & MCA operation

References

[1] Official Journal of the European Union 25.2.2022 L 49/1 “amending Regulation (EU) No 833/2014 concerning restrictive measures in view of Russia's actions destabilising the situation in Ukraine”.

СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

**А. Р. Ахметов¹, И. А. Журавлев¹, О. И. Мешков², И. В. Пензин¹,
А. В. Петренко², Р. В. Протас¹, С. Д. Хренков¹**

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ технической физики имени академ. Е. И. Забабахина»,
г. Снежинск, Россия

²Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия
vniitf@vniitf.ru

Необходимость получения качественных изображений оптически непрозрачных объектов из материалов с высокой плотностью предъявляет высокие требования к качеству электронного пучка источника тормозного излучения.

Опытная эксплуатация линейного индукционного ускорителя ЛИУ-20 показала, что настройка режимов работы установки требует наличия разнообразных средств диагностики электронного пучка. Применяются разрушающие и неразрушающие способы диагностики. Диагностируются такие параметры пучка, как положение пучка относительно центральной орбиты, интенсивность, энергия, продольный и поперечный профили в различных точках ускорителя, размер фокусного пятна.

DIAGNOSTIC SYSTEMS FOR HIGH-CURRENT ELECTRON BEAM

**A. R. Akhmetov¹, I. A. Zhuravlev¹, O. I. Meshkov², I. V. Penzin¹, A. V. Petrenko²,
R. V. Protas¹, S. D. Khrenkov¹**

¹Federal State Unitary Enterprise “Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics”, Snezhinsk, Russia, vniitf@vniitf.ru

²Budker Institute of Nuclear Physics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

The high-quality images of optically nontransparent objects made of high-density materials require high-quality electron beam from bremsstrahlung radiation source.

The experimental operation of the LIA-20 linear induction accelerator facility has shown that various means for electron beam diagnostics are required to adjust the facility operation modes. Destructive and nondestructive diagnostics are applied to diagnose such beam parameters as beam position relative to the central orbit, beam intensity, beam energy, longitudinal and transverse profiles in different accelerator points, and focal spot size.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИКСЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКОВ ПРОТОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

**В. В. Петров¹, В. И. Жеребчевский, В. П. Кондратьев, В. В. Вечернин, Н. А. Мальцев,
С. Ю. Торилов, Н. А. Прокофьев, С. Н. Белокурова, Е. О. Землин, И. И. Ерыгин**

Санкт-Петербургский государственный университет

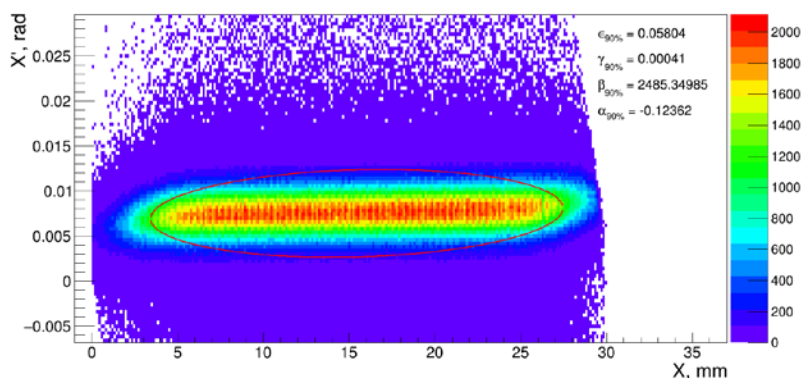
¹vitalii17@bk.ru

На сегодняшний день пучки заряженных частиц широко применяются как для фундаментальных исследований в ядерной физике и физике высоких энергий, так и для решения прикладных задач в ядерной медицине, радиационном материаловедении, ядерно-физических технологий. В используемых для этих целей ускорителях создаются специальные

системы контроля и измерения характеристик пучков. Такие системы играют важную роль при настройке, тестировании и последующей эксплуатации соответствующих детекторных комплексов, необходимых для проведения экспериментальных исследований. В настоящей работе предлагается использование кремниевых пиксельных детекторов для прецизионного определения характеристик пучков протонов высоких энергий.

Пиксельные детекторы хорошо зарекомендовали себя в экспериментах с элементарными частицами [1, 2]. Их основные преимущества – высокое пространственное разрешение и быстрое действие. По этой причине их использование обеспечит крайне высокую точность для определения характеристик пучков заряженных частиц.

В работе приведено описание новой экспериментальной установки с использованием пиксельных детекторов в телескопном варианте и даны результаты измеренных характеристик пучка протонов в диапазоне от 200 МэВ до 1 ГэВ. Определение характеристик пучка производилось по реконструированным трекам протонов. Из распределения параметров (координата, угол) от каждого трека вычислены такие величины, как эмиттанс и параметры Твисса (см. рисунок). Получено изображение профиля пучка. Оценена разрешающая способность установки в заданной геометрии. Исследована зависимость параметров пучка от его интенсивности, энергии, а также от наличия различных поглотителей на пути пучка.



Распределение треков протонов 1 ГэВ по координате X и углу в плоскости XZ. В верхней части показаны вычисленные с помощью данной методики эмиттанс и параметры Твисса пучка

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-12-00042, <https://rscf.ru/project/23-12-00042/>

Список литературы

1. The ALICE Collaboration Technical Design Report for the Upgrade of the ALICE Inner Tracking System // J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 2014. V. 41. P. 087002.
2. V. Zherebchevsky et al., “Silicon Pixel Detectors for the Inner Tracking System of the MPD Experiment at the NICA Collider,” Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics., vol. 85, no. 5, p. 541–547, 2021.

EXPERIMENTAL SETUP USING PIXEL DETECTORS FOR PRECISION DETERMINATION OF HIGH ENERGY PROTON BEAMS CHARACTERISTICS

V. Petrov¹, V. Zherebchevsky, V. Kondratiev, V. Vechernin, N. Maltsev,
S. Torilov, N. Prokofiev, S. Belokurova, E. Zemlin, I. Erygin

Saint-Petersburg State University

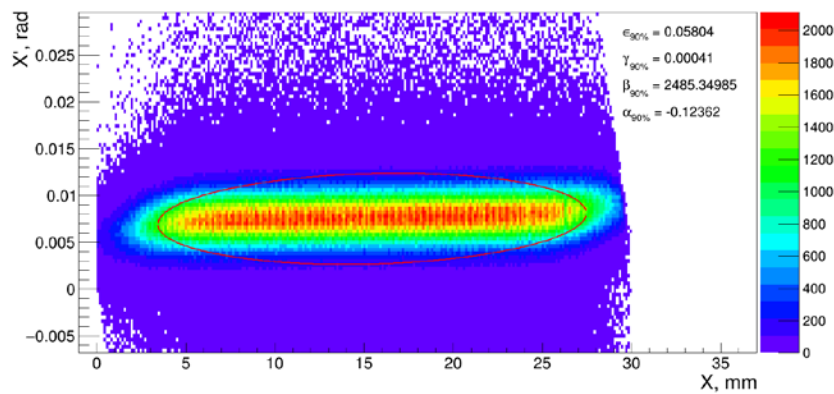
¹ vitalii17@bk.ru

Today, charged particle beams are widely used both for fundamental research in nuclear physics and high energy physics, and for solving applied problems in nuclear medicine, radiation

materials science, and nuclear physics technologies. In the accelerators used for these purposes, special systems for monitoring and measuring beam characteristics are created. Such systems play an important role in setting up, testing, and subsequent operation of the corresponding detector systems required for experimental studies. In this paper, we propose the use of silicon pixel detectors for the precise characterization of high-energy proton beams.

Pixel detectors have proven themselves well in experiments with elementary particles [1, 2]. Their main advantages are high spatial resolution and high speed. This is the reason, why their use will provide extremely high accuracy for characterizing charged particle beams.

This paper describes a new experimental setup using pixel detectors in a telescopic version and shows the results of the measured characteristics of the proton beam in the energy range from 200 MeV to 1 GeV. The beam characteristics were determined from the reconstructed proton tracks. From the distribution of parameters (coordinate, angle) for each track, such quantities as emittance and Twiss parameters were calculated (see figure). An image of the beam profile has been obtained. The resolution of the setup in a given geometry is estimated. The dependence of the beam parameters on its intensity, energy, and also on the presence of various absorbers in the beam path is studied.



Distribution of 1 GeV proton tracks along the X coordinate and angle in the XZ plane. The upper part shows the emittance and Twiss parameters of the beam calculated using this technique.

The reported study was supported by the Russian Science Foundation, project no. № 23-12-00042, <https://rscf.ru/project/23-12-00042/>

References

1. The ALICE Collaboration Technical Design Report for the Upgrade of the ALICE Inner Tracking System // J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 2014. V. 41. P. 087002.
2. V. Zhrebchevsky et al., “Silicon Pixel Detectors for the Inner Tracking System of the MPD Experiment at the NICA Collider,” Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics., vol. 85, no. 5, p. 541–547, 2021.

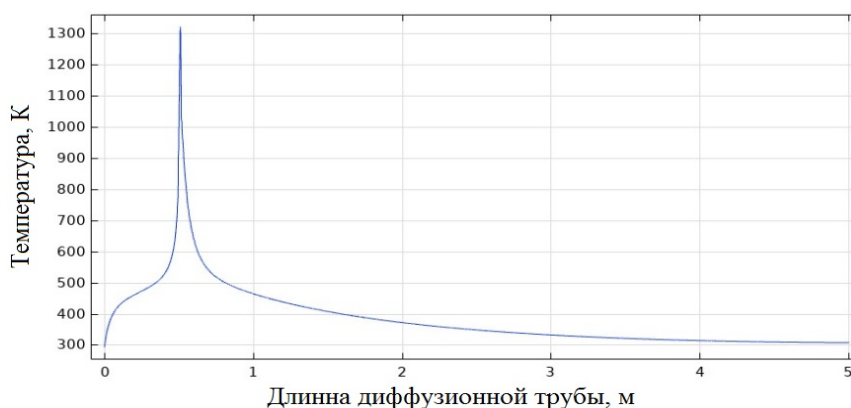
РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

А. С. Петровская¹, А. Б. Цыганов¹, С. В. Суров², Д. А. Блохин²

¹ Общество с ограниченной ответственностью «ИнноПлазмаТех», 199034, г. Санкт-Петербург, Линия 17-я В. О., дом 4-6, Литер В, офис К-202, тел.: +7(904)613-85-11

² Акционерное общество «Наука и Инновации», научный дивизион ГК «Росатом», 115035, Москва, Кадашевская набережная, д. 32/2, стр. 1, тел.: +7(499) 558-10-25 aonii@rosatom.ru anita3425@yandex.ru

Одной из ключевых задач ядерной энергетики является разработка новых технологий для переработки отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и замыкания ядерного топливного цикла. Известные на сегодня радиохимические технологии переработки ОЯТ сложны в реализации, так как состоят из множества реакций и стадий, а также приводят к накоплению больших объемов ЖРО. Для решения проблемы переработки ОЯТ нами разрабатывается одностадийная, принципиально новая ионно-термическая технология разделения (ИТ-ТР), основанная на применении «укороченного» микроплазменного разряда высокого давления в потоке инертного газа-носителя для атомизации таблеток ТВЭЛ ОЯТ и разделения распыленных атомов по элементному составу за счет дифференциации по температурам насыщенных паров [1]. Реализация технологии осуществляется в диффузионной вольфрамовой трубе с термоизоляцией (керамика HfC). Осаждение распыленных атомов происходит из потока газа-носителя на систему сменных вкладышей-коллекторов, имеющих заданные распределения температуры. Производительность одной разделительной трубы может составлять – 100 кг ОЯТ в год, а установки 30*30 – 100 тонн/год. Нами выполнены расчеты распределения температурного поля в диффузионной вольфрамовой разделительной трубе длиной 5 м при мощности, вкладываемой в разряд, $(6 \cdot 10^6 - 7 \cdot 10^7)$ Вт/м² и скорости потока газа-носителя (0.1–20) м/с.



Распределение температуры вдоль внутренней поверхности разделительной трубы при мощности $4 \cdot 10^7$ Вт/м² и скорости потока газа-носителя 10 м/с

Список литературы

[1] A. S. Petrovskaya, et al., Nuclear Engineering and Design, vol. 386, art. 111561, 2022.

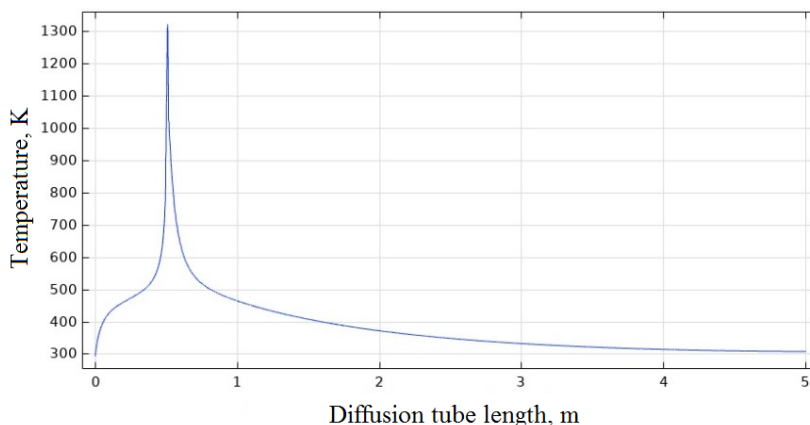
THE CALCULATION OF TEMPERATURE PARAMETERS OF ION SPUTTERING –THERMAL SEPARATION TECHNOLOGY FOR SPENT NUCLEAR FUEL PROCESSING

A. S. Petrovskaya¹, A. B. Tsyganov¹, S. V. Surov², D. A. Blokhin²

¹ InnoPlasmaTech Limited Liability Company, 199034, St. Petersburg, 17th Line V.O., building 4-6, liter B, office K-202, tel.: +7 (904) 613-85-11,

² "Science and Innovations" Joint Stock Company, scientific division of the State Corporation "Rosatom", 115035, Moscow, Kadashevskaya embankment, 32/2, building 1, tel.: +7(499) 558-10-25, aonii@rosatom.ru
anita3425@yandex.ru

The nuclear power industry challenge task is the development of new technologies for reprocessing spent nuclear fuel (SNF) and closing the nuclear fuel cycle. Today known radiochemical technologies for SNF reprocessing are too much complicated due to multistage character and also lead to the accumulation of large volumes of LRW. To solve the SNF reprocessing problem, we are developing a one-stage, new ion sputtering – thermal separation technology (IT-TS) based on a "shortened" high-pressure micro-plasma discharge in inert carrier gas flow for the SNF pellets atomization and further sputtered atoms separation by elemental composition due to differentiation via saturated vapor temperatures [1]. The technology implementation is carried out in the diffusion tungsten tube with thermal insulation (HfC ceramics). The sputtered atoms are condensed from the carrier gas flow on the removable collector-liners having along the prescribed temperature distributions. The productivity of the single diffusion tube can be 100 kg of SNF per year, and for 30*30 installation – 100 ton/year. We calculated the temperature distribution field in the diffusion tungsten separating tube of 5 m length in the discharge power range ($6 \cdot 10^6$ – $7 \cdot 10^7$) W/m² and the carrier gas flow rate range (0.1–20) m/s.



Temperature distribution along the separation tube inner surface at the power level of $4 \cdot 10^7$ W/m² and the carrier gas flow rate of 10 m/s

References

- [1] A. S. Petrovskaya, et al., Nuclear Engineering and Design, vol. 386, art. 111561, 2022.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВТОРОЙ СТАДИИ ФИЗИЧЕСКОГО ПУСКА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ БР-К1М

**И. М. Пискорский, А. В. Арапов, А. В. Данилов, А. А. Девяткин, И. А. Кирилин,
А. В. Жирнов, Н. А. Красавин, А. Е. Никифоров, К. А. Савасичев, Г. Н. Пикулина,
А. Б. Соколов, В. А. Юхневич**

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный
центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г.Саров, пр. Мира 37
otd4@expd.vniief.ru

Работы по модернизации установки БР-К1 были начаты в 2011 году. Целью модернизации являлось приближение параметров установки к проектным (предельно допустимое энерговыделение в активной зоне (АЗ) при генерировании импульса на мгновенных нейтронах (ИМН) или при генерировании импульса на запаздывающих нейтронах (ИЗН) – 91 МДж, предельно допустимая мощность в статическом режиме – 30 кВт).

Модернизация установки БР-К1 включала в себя: изменение конструкции и материала герметичных чехлов АЗ, введение в состав модернизируемой установки БР-К1 (БР-К1М) нового органа регулирования реактивности (ОРР) – быстрого импульсного блока (БИБ), графитового отражателя, системы охлаждения и модернизацию системы управления защиты реактора.

Ввиду большого объема и сложности работ, физический пуск (ФП) был разделён на две стадии. Работы второй стадии ФП установки БР-К1М были завершены в 2022 г. Во время ФП были определены параметры АЗ при работе установки в статическом режиме, в режиме генерирования ИЗН и в режиме генерирования ИМН.

В рамках проведенных работ были определены физические характеристики АЗ: температурный и мощностной коэффициенты реактивности, квазистатический коэффициент гашения реактивности, полный вклад ОРР в реактивность АЗ и полный «запас реактивности» АЗ, деформации торцевой поверхности одного из структурных блоков АЗ, температура нагрева поверхности чехлов АЗ. Определено влияние на «запас реактивности» предельных нагрузок внутризонной полости АЗ. Определены оптимальные параметры БИБ для генерирования ИМН. Для каждого режима работы установки БР-К1М определены предельно-допустимые параметры и пределы безопасной эксплуатации по мощности и энерговыделению.

В докладе приведены результаты исследований, описаны используемые методы измерений, состав и схемы используемого экспериментального оборудования.

RESULTS OF PHYSICAL START-UP SECOND STAGE FOR RESEARCH NUCLEAR INSTALLATION BR-K1M

**I. M. Piskorskii, A. V. Arapov, A. V. Danilov, A. A. Devyatkin, I. A. Kirilin,
A. V. Zhirnov, N. A. Krasavin, A. Ye. Nikiforov, K. A. Savasichev, G. N. Pikulina,
A. B. Sokolov, V. A. Yukhnevich**

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute
of Experimental Physics» Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave 37
otd4@expd.vniief.ru

Works on updating of installation BR-K1 started in 2011. The goal of modernization was approximation of installation parameters to design ones (maximum acceptable energy release in the core when generating a prompt neutron pulse (PNP) or generating a delayed neutron pulse (DNP) – 91 MJ, maximum permissible power in static mode – 30 kW).

Updating of installation BR-K1 involved: change of a structure and material of core sealed jackets, introduction (into updated installation BR-K1 (BR-K1M)) of a new absorption control member (ACM) – a fast pulsed unit (FPU), a graphite reflector, cooling systems and updating of reactor control system.

Due to large volume and complexity of works, physical start-up (PhS) was divided into two stages. Works of the PhS second stage of installation BR-K1 were finished in 2022. During PhS the core parameters were specified, related to installation operation in the static mode, in modes of generating DNP and PNP.

Within the limits of conducted works determined were core physical characteristics: a temperature and power coefficient of reactivity, a quasi-static reactivity extinction coefficient, total contribution of ACM into the core reactivity and the total core «reactivity margin», deformations of a butt end of one of the core structural units, heating temperature of core surface jackets. An effect of ultimate loads of an in-core cavity on the «reactivity margin» was specified. Optimal FPU parameters for generating PNP were determined. Maximum permissible parameters and safe use limits by power and energy release were specified for each operation mode of installation BR-K1.

The report presents an analysis, describes used measurement methods, content and circuits of used experimental equipment.

ГЕНЕРАТОР ИОНОВ ИЗОМЕРА ТОРИЯ-229

Ю. И. Гусев¹, Ф. Ф. Карпешин², Ю. Н. Новиков^{1,3}, А. В. Попов^{1*}

¹ ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова»
НИЦ «Курчатовский институт», 188300, Орлова Роща 1, г. Гатчина, Ленинградская обл.,
Россия. Тел: +7(81371)4-60-25, факс: +7(81371)46025

² ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д. И. Менделеева», 190005, Московский пр. 19, Санкт-Петербург, Россия.
Тел.: +7(812)2517601, факс: +7(812)7130114

³ ФГБОУВПО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9. Тел.: +7(812)3636633;
факс: +7(812)3636633
popov_av@pnpi.nrcki.ru
dir@pnpi.nrcki.ru
info@vniim.ru
spbu@spbu.ru

Изомерное состояние $^{229\text{m}}\text{Th}$ имеет энергию 8.338(24) эВ [1]. Небольшая собственная ширина и расположение перехода в оптическом диапазоне дают надежду на использование этого состояния в качестве генератора с добротностью, на несколько порядков превышающей добротность и стабильность электромагнитных осцилляторов.

Электронная оболочка оказывает критическое влияние на процессы как гашения, так и заселения изомера $^{229\text{m}}\text{Th}$. «Настройка» электронной оболочки может повысить вероятность перехода на несколько порядков [2]. Для оценки роли резонансной конверсии и реализации механизма электронного моста необходима методика с задержкой между моментом формирования и регистрации однозарядных ионов не более миллисекунды. Для этого используется частичная нейтрализация 2х- и 3х-зарядных ионов вблизи выходного отверстия газовой ячейки, что существенно уменьшает время эвакуации однозарядных ионов и дает шанс наблюдения распада изомера с участием электронной оболочки. В презентации будет рассмотрен метод [3, 4] формирования пучка ионов изомера тория, схема банчирования, схема переноса ионов, приготовления тонкого источника и регистрации конверсионных электронов.

Список литературы

1. S. Kraemer J. Moens et al <https://doi.org/10/48550/arXiv2209.10276>.
2. F. F. Karpeshin, M. B. Trzhaskovskaya Nucl. Phys. A 1010 (2021) 122173.
3. V. Sonnenschein, et al., Eur. Phys. J. A, 2012, vol. 48, p. 52.
4. Y. I. Gusev, et al., Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys., 2016, vol. 80, no.8, p. 875.

ION GENERATOR OF THE THORIUM-229 ISOMER

Yu. I. Gusev¹, F. F. Karpeshin², Yu. N. Novikov^{1,3}, A. V. Popov^{1*}

¹Petersburg Nuclear Physics Institute of National Research Center Kurchatov Institute, Gatchina, Orlova rosha, 188300 Russia; Phone: +7(81371)46025, Fax: +7(81371)46025,

²Mendeleyev Institute of Metrology, St. Petersburg, Moskovsky 19, 190005, Russia. Phone: +7(812)2517601, Fax: +7(812)7130114

³ St.Petersburg University, 7-9 Universitetskaya Embankment, St Petersburg, 199034, Russia, Phone: +7(812)3636633; Fax: +7(812)3636633

popov_av@pnpi.nrcki.ru

dir@pnpi.nrcki.ru

info@vniim.ru

spbu@spbu.ru

The isomeric state of $^{229\text{m}}\text{Th}$ has an energy of 8.338(24) eV [1]. The small intrinsic width and location of the transition in the optical range give hope for using this state as a generator with a quality-factor several orders of magnitude higher than the quality and stability of electromagnetic oscillators.

The electron shell has a critical effect on the processes of both quenching and settling the $^{229\text{m}}\text{Th}$ isomer. The “tuning” of the electronic shell can increase the probability of transition by several orders of magnitude [2]. To assess the role of resonance conversion and the implementation of the electronic bridge mechanism, a technique with a delay between the moment of formation and registration of single-charged ions of no more than a millisecond is necessary. For this purpose, partial neutralization of doubly- and triply-charged ions is used near the outlet of the gas cell, which significantly reduces the evacuation time of single-charged ions and gives a chance to observe the decay of the isomer, with the participation of the electron shell. The presentation will consider the method [3, 4] of ion beam formation of the thorium isomer, together with the bunching procedure and ion optics to be used in the experiment, the preparation of a thin source and registration of conversion electrons.

References

1. S. Kraemer J. Moens et al <https://doi.org/10/48550/arXiv2209.10276>.
2. F. F. Karpeshin, M. B. Trzhaskovskaya Nucl. Phys. A 1010 (2021) 122173.
3. V. Sonnenschein, et al., Eur. Phys. J. A, 2012, vol. 48, p. 52.
4. Y. I. Gusev, et al., Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys., 2016, vol. 80, no.8, p. 875.

ЗАМЕТКИ ОБ ОБРАТНОМ КОМПТОНОВСКОМ РАССЕЙЯНИИ

К. А. Борников, Ю. В. Попов*, И. П. Волобуев

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына,

119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия

site@sinp.msu.ru

popov@srd.sinp.msu.ru

Рассматриваются некоторые кинематические условия обратного комптоновского рассеяния фотонов на релятивистских электронах и поляризации сталкивающихся частиц, которые влияют на величину дифференциального сечения процесса в зависимости от угла рассеянного фотона. Обнаружено сильное влияние на величину сечения спиральностей электрона и фотона. В ультрарелятивистском случае обнаружен также удивительный эффект почти двукратного роста сечения при рассеянии фотона в направлении импульса начального электрона, когда начальный импульс фотона перпендикулярен этому импульсу. При этом рост энергии фотона практически такой же, как при столкновении встречных пучков.

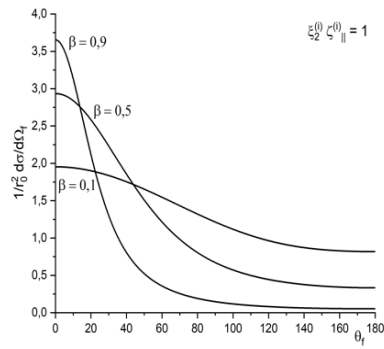


Рис. 1

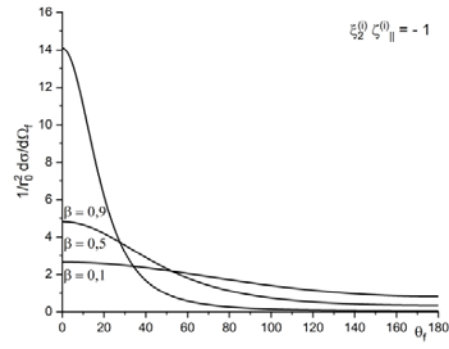


Рис. 2

В качестве иллюстрации на Рис. 1 представлены сечения, когда спиральности электрона и фотона одинаковы, а на Рис. 2 спиральности отличаются знаком. Энергия фотона 150 кэВ, столкновение лобовое. На рисунках параметр $\beta = v/c < 1$ обозначает отношение скорости электрона к скорости света. Разница сечений в пике при больших β практически четырехкратная.

NOTES ON INVERSE COMPTON SCATTERING

K. A. Bornikov, Yu. V. Popov*, I. P. Volobuev

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University,
119991, Moscow, Leninskiye gory, 1, Russia
site@sinp.msu.ru
popov@srd.sinp.msu.ru

Kinematic conditions of the inverse Compton scattering of photons at relativistic electrons and the polarizations of colliding particles are considered, which affect the value of the differential cross section of the process depending on the angle of the scattered photon. A strong effect on the cross section of the helicities of the electron and photon is found. In the ultrarelativistic limit, a surprising effect of an almost twofold increase in the cross section has been also found, when a photon is scattered in the direction of the momentum of the initial electron in the case, where the initial momentum of the photon is transverse to the electron momentum. In this case, the growth of the photon energy is practically the same as in the case of the head-on collision of beams.

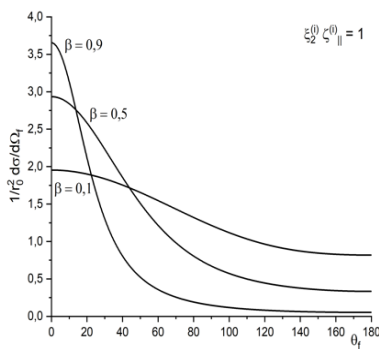


Fig. 1

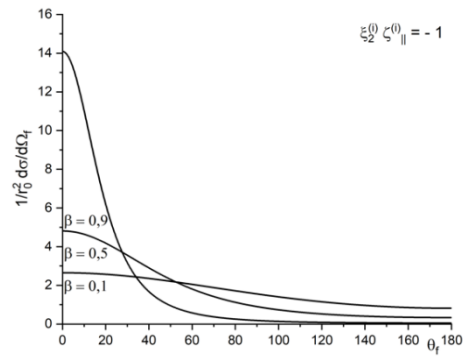


Fig. 2

As an illustration, in Fig. 1 cross sections are shown in the case, where the helicities of the electron and photon are the same, and in Fig. 2 the helicities differ in sign. The photon energy is 150 keV and the head-on collision. In the figures, the parameter $\beta = v/c < 1$ denotes the ratio of the electron speed to the speed of light. At large β , the cross section difference at the peak is almost fourfold.

ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР-МИШЕНЬ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАКЦИЙ С ЛЕГКИМИ ЯДРАМИ

С. И. Поташев*, А. А. Афонин, Ю. М. Бурмистров, А. И. Драчев, А. А. Каспаров,
С. Х. Караевский, В. Н. Пономарев, В. И. Разин

ФГБУН Институт ядерных исследований РАН, Москва,
117312, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а.
Тел.: (+7)4991357760 (Москва), (+7)4958504201 (Троицк),
Факс: (+7)4991352268 (Москва), (+7)4958504228 (Троицк)
E-mail: potashev@inr.ru

Для исследования реакций взаимодействия быстрых нейтронов с энергией свыше 1 МэВ с легкими ядрами, в частности, с ядром ^{10}B был разработан позиционно-чувствительный детектор, являющийся одновременно мишенью нейтронов [1]. Данный детектор содержит катод со слоем ^{10}B и систему из проволочных катодов, сеток и анода, которые позволяют определить потери энергии и угол вылета вторичного ядра, в частности, ядра ^3H . Это позволяет определить энергию быстрого нейтрона [2]. Данный детектор является развитием созданного нами ранее детектора, с помощью которого определялось не только пространственное распределение, но и максимальная энергия нейтронного потока [3].

Работа выполнена в рамках научной программы Национального центра физики и математики, направление № 6 “Ядерная и радиационная физика”.

Список литературы

1. Поташев С. И., Драчев А. И., Каспаров А. А., Бурмистров Ю. М. Позиционно-чувствительный детектор медленных и быстрых нейтронов. Патент Российской Федерации на изобретение №2788834. Дата гос. регистрации в государственном реестре изобретений 24.01.2023. Заявка № 2022111299. Приоритет изобретения 26.04.2022.

2. Каспаров А. А., Поташев С. И., Афонин А. А., Бурмистров Ю. М., Драчев А. И. Расчет эффективности и энергетического разрешения при разработке детектора быстрых нейтронов с 10В-конвертером // Известия РАН, Серия физическая, 2021, Т.85, № 5, С. 694–697.

3. Поташев С. И., Афонин А. А., Бурмистров Ю. М., Драчев А. И., Конобеевский Е. С., Марин В. Н., Мешков И. В., Караевский С. Х., Каспаров А. А. и др. О возможности контроля максимальной энергии быстрых нейтронов по амплитудным спектрам от 10В-детектора. // Известия РАН. Серия физическая, 2021, Т. 85, № 10, С. 1385–1388.

POSITION-SENSITIVE FAST NEUTRON TARGET DETECTOR FOR STUDYING REACTIONS WITH LIGHT NUCLEI

S. I. Potashev*, A. A. Afonin, Yu. M. Burmistrov, A. I. Drachev, A. A. Kasparov,
S. Kh. Karaevsky, V. N. Ponomarev, V. I. Razin

Institute for Nuclear Research of Russian academy of sciences, Moscow,
prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a, Moscow 117312.
Phone: (+7)4991357760 (Moscow), (+7)4958504201 (Troitsk),
Fax: (+7)4991352268 (Moscow), (+7)4958504228 (Troitsk)
E-mail: potashev@inr.ru

Position-sensitive detector was developed for studying interaction of fast neutrons at above 1 MeV on light nuclei, in particular, on ^{10}B nucleus. It is a both of neutron target and detector [1]. The detector contains cathode with ^{10}B layer and system of wire cathodes, grids, and anode. It gives a possibility to determine energy loss and emission angle of secondary nucleus, in particular, ^3H nucleus and determine fast neutron energy [2]. It is development of the detector which has been created earlier

and was applied for not only the spatial distribution, but also the maximum energy of the neutron flux determination [3].

The work was carried out within framework of scientific program of National Center for Physics and Mathematics on the direction No. 6 “Nuclear and radiation physics”.

References

1. Поташев С. И., Драчев А. И., Каспаров А. А., Бурмистров Ю. М. Позиционно-чувствительный детектор медленных и быстрых нейтронов. Патент Российской Федерации на изобретение №2788834. Дата гос. регистрации в государственном реестре изобретений 24.01.2023. Заявка №2022111299. Приоритет изобретения 26.04.2022.

2. Каспаров А. А., Поташев С. И., Афонин А. А., Бурмистров Ю. М., Драчев А. И. Расчет эффективности и энергетического разрешения при разработке детектора быстрых нейтронов с ^{10}B -конвертером // Известия РАН, сер. физическая, 2021, Т. 85, № 5, С. 694–697; Efficiency and energy resolution calculation under developing of fast neutron detector with ^{10}B -converter A. A. Kasparov, S. I. Potashev, A. A. Afonin, Yu. M. Burmistrov, A. I. Drachev

3. Potashev S. I., Afonin A. A., Burmistrov Yu. M., et al. Feasibility of monitoring the maximum energy of fast neutrons using pulse-height spectra from a ^{10}B detector. Bull. Russian Academy of Sci.: Physics, V. 85, No. 10, P. 1068–1071, 2021.

АНАЛИЗ ВРЕМЕНИ НАРАСТАНИЯ ДЛЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА CLYC

П. С. Прусаченко, Т. Л. Бобровский

Физико-энергетический институт им. Лейпунского (ФЭИ), пл. Бондаренко 1,
г. Обнинск, 249033, Россия;
E-mail: pprusachenko@ippe.ru

Сцинтилляционные детекторы на основе кристаллов $\text{Cs}_2\text{LiYCl}_6(\text{Ce})$, используемые для регистрации нейтронов, обладают рядом преимуществ перед другими литий-содержащими кристаллами. Вместе с тем, в настоящий момент плохо изучены его временные характеристики, которые могут повлиять на применения данного типа детекторов для время-пролетных приложений. В настоящей работе выполнено исследование времени нарастания для сигналов от CLYC, полученных при регистрации заряженных частиц разных типов. Показано, что существует систематическая разница во времени нарастания для сигналов, соответствующих γ -квантам и продуктам ядерных реакций под действием нейтронов. Было показано, что данная разница оказывает существенное влияние на точность измерений при определении временной отметки методом следящего порога.

ANALYSIS OF THE RISE TIME FOR THE CLYC-BASED SCINTILLATION DETECTOR

P. S. Prusachenko, T. L. Bobrovskiy

I.I. Leypunsky Institute for Physics and Power Engineering (IPPE), Bondarenko sq. 1,
Obninsk, 249033, Russia
E-mail: pprusachenko@ippe.ru

Scintillation detectors based on $\text{Cs}_2\text{LiYCl}_6(\text{Ce})$ crystals used for the neutron detection have a number advantages in comparison with other Li-contained crystals. At the same time, the timing properties of this scintillator, which can affect using this type of scintillators to the time-of-flight

application, are poorly known. In this work, the rise time of the signals corresponding to the different types of the charged particles was studied. It was shown that there is systematic difference of the rise times between the signals corresponding to the γ -rays and the products of the neutron-induced reaction in the scintillator. It was shown that this difference significantly affect the accuracy of the measurements at the time mark determination by the constant fraction timing method.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТЕЗА ИЗОТОПА УГЛЕРОД-11 ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МИШЕНИ АТОМАМИ ДЕЙТЕРИЯ

А. И. Пушкарев, Ю. И. Егорова, С. С. Полисадов

Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, aipush@mail.ru

Короткоживущие изотопы широко используются в позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ). ПЭТ позволяет отслеживать распределение в организме биологически активных соединений, меченных позитрон-излучающими изотопами. В ПЭТ применяют изотопы фтор-18, кислород-15, азот-13 и углерод-11. Использование изотопа углерод-11 с периодом полураспада 20 минут вместо изотопа фтор-18 ($T_{1/2} \approx 110$ минут) позволяет значительно снизить дозовую нагрузку на пациента. Короткоживущий изотоп углерод-11 перспективен для приготовления различных радиофармпрепаратов, поскольку им можно заместить стабильный изотоп углерод-12 в любой биомолекуле. Однако вследствие короткого периода полураспада применение изотопа углерод-11 требует территориального объединения процессов получения изотопа, приготовления радиофармпрепарата и проведения диагностики. Как следствие, использование короткоживущих изотопов ограничивается местами их производства. Разработка компактных и недорогих генераторов позволила бы осуществлять синтез изотопов с очень коротким периодом полураспада, расширяя использование радиофармпрепаратов. Поэтому разработка новых и эффективных методов синтеза изотопов в настоящее время становится ключевой задачей ядерной медицины.

В работе представлены результаты моделирования синтеза изотопа углерод-11 при облучении мишени, содержащей бор-10, дейтронами и атомами дейтерия. Выполнен расчет интегрального выхода изотопа углерод-11 при облучении мишени на ускорителе ТЕМП-6 (0.2–0.3 МэВ, 150 нс). Получено, что повышение эффективности упругого столкновения и снижение электронных потерь энергии при облучении атомами дейтерия мишени из природного бора могут увеличить интегральный выход атомов углерод-11 за импульс с $1.5 \cdot 10^6$ до $2.5 \cdot 10^{11}$. При работе ускорителя ТЕМП-6 достаточно несколько импульсов (менее 1 минуты) для синтеза изотопа, необходимого для наработки радиофармпрепарата для одного пациента. Энергия атомов дейтерия, равная 0.2–0.3 МэВ, является оптимальной для инициирования ядерной реакции синтеза изотопа углерод-11 при облучении мишени, содержащей бор-10.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00016, <https://rscf.ru/project/23-29-00016>

MODELING OF CARBON-11 ISOTOPE SYNTHESIS UNDER IRRADIATION OF A TARGET WITH DEUTERIUM ATOMS

A. Pushkarev, Yu. Egorova, S. Polisadov

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Lenin Ave. 30
aipush@mail.ru

Short-lived isotopes are widely used in positron emission tomography (PET). PET allows tracking the distribution of biologically active compounds labeled with positron-emitting isotopes in the body. Fluorine-18, oxygen-15, nitrogen-13 and carbon-11 isotopes are used in PET. The use of the

carbon-11 isotope with a half-life of 20 minutes instead of the fluorine-18 isotope ($T_{1/2} \approx 110$ minutes) can significantly reduce the dose burden on the patient. The short-lived carbon-11 isotope is promising for the preparation of various radiopharmaceuticals, since it can replace the stable carbon-12 isotope in any biomolecule. However, due to the short half-life, the use of the carbon-11 isotope requires territorial unity of the isotope production processes, preparation of radiopharmaceuticals and diagnostics. Consequently, the use of short-lived isotopes is limited to their production sites. The development of compact and inexpensive generators would allow the synthesis of isotopes with a very short half-life, expanding the use of radiopharmaceuticals. Therefore, the development of new and effective methods of isotope synthesis is currently becoming a key task of nuclear medicine.

The paper presents the results of modeling the synthesis of the carbon-11 isotope under irradiation of a boron-10 target with deuterium and deuterium atoms. The integral yield of the carbon-11 isotope was calculated when the target was irradiated with a TEMP-6 accelerator (0.2–0.3 MeV, 150 ns). It is found that increasing the efficiency of elastic collision and reducing electronic energy losses when irradiated with deuterium atoms of a target from natural boron can increase the integral yield of carbon-11 atoms per pulse from $1.5 \cdot 10^6$ to $2.5 \cdot 10^{11}$. When the TEMP-6 accelerator is operating, several pulses (less than 1 minute) are sufficient for the synthesis of an isotope necessary for the development of a radiopharmaceutical for one patient. The energy of deuterium atoms equal to 0.2-0.3 MeV is optimal for initiating a nuclear reaction of carbon-11 isotope synthesis when irradiating a target containing boron-10.

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation № 23-29-00016, <https://rscf.ru/project/23-29-00016>

МЕТОД АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СЛУЧАЙНЫХ ВЕКТОРОВ

Н. М. Близняков, В. М. Вахтель, Д. Е. Костомаха, В. А. Работкин

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет,
394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1, Россия
E-mail: vakhtel@phys.vsu.ru

Показано, что случайные последовательности выборок $(k_1, \dots, k_n)$ объемом n из отсчетов $0 \leq k < l$ зарегистрированных частиц преобразованные в последовательности случайных векторов $(CBP) = v(\cdot) = (v_0, \dots, v_l)_j$ $n = \sum_{i=0}^l v_i$, находящиеся во взаимно однозначном соответствии с их идентификаторами $I(v(\cdot)_j)$ после ранжирования по I_j представляют многомодальные распределения сгруппированных локальных пиков [1] позволяют прогнозировать характеристики как отдельных CBP , так и образованных ими пиков в условиях малой статистики $n \leq 10$, $\bar{k} < 5$. Предложенный метод позволяет обосновывать реализацию больших отклонений одиночных $k_i \gg \bar{k}$ и их упорядоченных совокупностей. Метод эффективен в условиях измерений больших последовательностей из $M \gg 1$, однородных, близких и неоднородных CBP .

Список литературы

1. Метод дискретного функционала и проекций функций дробного порядка центральных моментов для анализа однородностей дискретных случайных векторов / Н. М. Близняков, В. М. Вахтель, Д. Е. Костомаха, В. А. Работкин // : Воронежская зимняя математическая школа С. Г. Крейна - 2022: материалы Международной конференции. Воронеж, 2022 . С. 27–33.

METHOD OF ANALYSIS AND PREDICTION OF RANDOM VECTOR SEQUENCES CHARACTERISTICS

N. M. Blizniakov, V. M. Vahtel, D. E. Kostomakha, V. A. Rabotkin

Voronezh State University, 394018, Voronezh, University square, 1, Russia, E-mail:
vakhtel@phys.vsu.ru

It is demonstrated that random sequences of samples $(k_1, \dots, k_n)$ of volume n from counts $0 \leq k < l$ of registered particles transformed into sequences of random vectors $(RV) = v(\cdot) = (v_0, \dots, v_l)_j$ $n = \sum_{i=0}^l v_i$, which are in mutual univocal correspondence with their identifiers after ranking according to represent multimodal distributions of grouped local peaks [1] enable us to predict characteristics of both individual RV and peaks formed by them in conditions of small statistics $n \leq 10$, $\bar{k} < 5$.

The proposed method makes it possible to justify the implementation of large deviations of single $k_i \gg \bar{k}$ and their ordered populations. The method is effective under conditions of measuring large sequences of $M \gg 1$ of homogeneous, close and inhomogeneous RVs.

References

1. Method of discrete functional and projections of fractional order functions of central moments for the analysis of homogeneities of discrete random vectors / N. M. Blizniakov, V. M. Vahtel, D. E. Kostomakha, V. A. Rabotkin // : Voronezh Winter Mathematical School of S. G. Krein – 2022: proceedings of the International Conference. Voronezh, 2022. pp. 27–33.

ФОТОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ С ВЫЛЕТОМ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕДИЦИНСКИХ РАДИОИЗОТОПОВ

П. Д. Ремизов*, М. В. Желтоножская, А. П. Черняев, Д. А. Юсюк

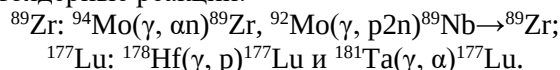
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», 119991, Российская
Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1
*pd.remizov@physics.msu.ru, 89175069070

Традиционно радиоизотопы для медицины нарабатываются на исследовательских ядерных реакторах и на ускорителях тяжёлых заряженных частиц. Тем не менее, в последние годы появился целый ряд исследований, посвященный разработке методов получения медицинских изотопов в фотоядерных реакциях на ускорителях электронов. Так как в фотоядерных реакциях с вылетом заряженных частиц образуются изотопы химических элементов, отличных от материалов мишени, то возможно получение продукта с высокой радионуклидной чистотой и удельной активностью.

Нами проводятся исследования получения перспективных медицинских радиоизотопов ^{89}Zr и ^{177}Lu на ускорителях электронов. Для этого была проведена серия облучений мишеней молибдена, гафния и тантала, как естественного изотопного состава, так и обогащенные по изотопам на ускорителях электронов с энергиями 20, 40 и 55 МэВ. Облученные мишени исследовались на гамма-спектрометрах с детекторами из сверхчистого германия.

В результате были получены средневзвешенные по потоку тормозного излучения сечения образования целевых радионуклидов ^{89}Zr и ^{177}Lu . Экспериментальные данные сравнивались с результатами теоретических расчётов в рамках программного кода TALYS1.96. Кроме того, был проанализированы другие образующиеся радиоактивные и стабильные

изотопы. В итоге, как наиболее перспективные для промышленного производства, были выделены следующие фотоядерные реакции:



Полученные результаты обсуждаются. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-22-20119).

PHOTONUCLEAR REACTIONS WITH THE EMISSION OF CHARGED PARTICLES FOR THE PRODUCTION OF MEDICAL RADIOISOTOPES

P. D. Remizov*, M. V. Zheltonozhskaya, A. P. Chernyaev, D. A. Iusiuk

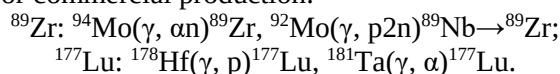
Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory

*pd.remizov@physics.msu.ru, 89175069070

Traditionally, medical radioisotopes are produced in research reactors and heavy particle accelerators. Nevertheless, a number of studies dealing with the production of medicinal isotopes in photonuclear reactions at electron accelerators have been published in recent years. Photonuclear reactions involving the emission of charged particles produce isotopes of chemical elements that are different from the target substance, so it is possible to obtain products with high radionuclide purity and specific radioactivity.

We are studying the production of promising medical radioisotopes ^{89}Zr and ^{177}Lu at electron accelerators. For this purpose, a series of irradiations of targets of molybdenum, hafnium and tantalum, both of natural isotopic composition and enriched in isotopes, was carried out at electron accelerators with energies of 20, 40, and 55 MeV. Irradiated targets were analyzed with a gamma spectrometer equipped with a high-purity germanium detector.

The production cross sections of the promising radionuclides ^{89}Zr and ^{177}Lu were determined weighted by bremsstrahlung flux. Experimental data were compared with the results of theoretical calculations gained using the program code TALYS1.96. In addition, we analyzed the radioisotope and stable isotope compositions obtained. As a result, the following photonuclear reactions were chosen as most promising for commercial production:



The results are discussed. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project number 22-22-20119).

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УРАНА НА ГРАНИЦЕ ПОЛЯРНОЙ И НЕПОЛЯРНОЙ СРЕДЫ

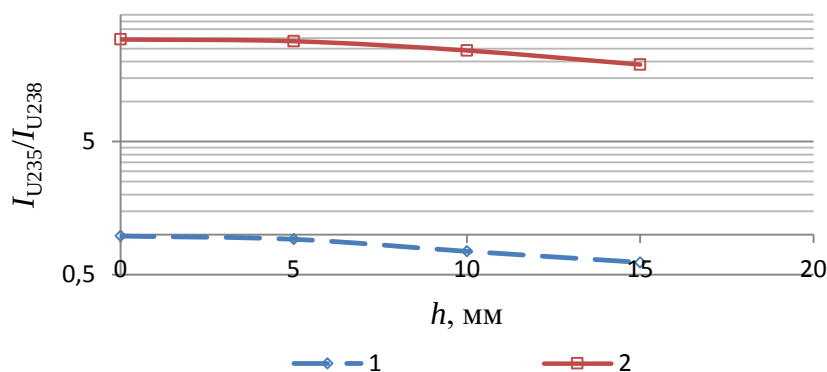
Д. А. Румянцева, В. Г. Зиновьев, И. А. Митропольский

Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова, г. Гатчина, Россия

E-mail: rumyantseva_da@pnpi.nrcki.ru

Для увеличения чувствительности гамма-спектрометрического метода исследования состава урансодержащих растворов использовалась адсорбция комплекса $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{ТБФ}$ на поверхности полипропилена $(\text{C}_3\text{H}_6)_n$ в экстракционной системе на основе раствора азотной кислоты и экстрагента трибутилфосфата (ТБФ). Дифильные молекулы ТБФ являются полярными и поверхностно активными [1]. Взаимодействуя одновременно с полярными и неполярными средами, они накапливаются на границе раздела фаз.

Содержание изотопов урана определялось по отношению площадей пиков полного поглощения гамма-излучения из равновесных цепочек распада урана с атомными номерами 234, 235, 238. Экспериментальная зависимость отношения интенсивностей аналитических линий $I_{185\text{кэВ}}/I_{92\text{кэВ}}$ (линия 1) и $I_{185\text{кэВ}}/I_{1001\text{кэВ}}$ (линия 2) от расстояния h между точкой отбора образца и поверхностью жидкой фазы представлена на рисунке.



Полипропилен (неполярный компонент) прочно удерживает комплекс $UO_2(NO_3)_2 \cdot 2TБФ$ в верхней части на границе раздела полярной и неполярной фаз. При этом более легкие изотопы урана собираются в верхних слоях пленки состоящей из молекул комплекса $UO_2(NO_3)_2 \cdot 2TБФ$. Концентрация увеличилась: по ^{234}U с 0.0016 ± 0.0003 ат.% в исходном растворе до 0.017 ± 0.002 ат.%, по ^{235}U с 0.471 ± 0.007 ат.% в исходном растворе до 1.49 ± 0.02 ат.% [2].

Список литературы

1. Крамаренко Е. Ю., Гордиевская Ю. Д. Принципы самоорганизации в растворах амфифильных молекул. // Москва: Российская академия наук, с. 27, 2017.
2. Зиновьев В. Г., Румянцева Д. А., Митропольский И. А. и др. Способ химического обогащения урана легкими изотопами. // пат. G21C 19/42. RU 2756277 C1, 2021.

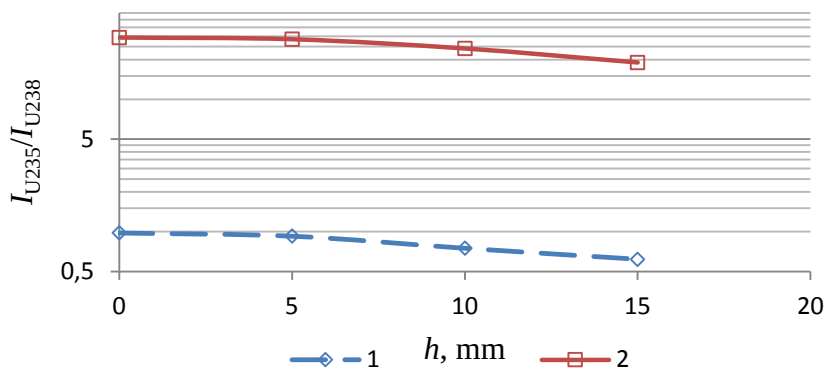
STUDY OF THE DISTRIBUTION OF URANIUM ISOTOPES AT THE BOUNDARY OF POLAR AND NONPOLAR ENVIRONMENTS

D. A. Rumyantseva, V. G. Zinovyev, I. A. Mitropolsky

Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, Russia
E-mail: rumyantseva_da@pnpi.nrcki.ru

To increase the sensitivity of the gamma-spectrometric method for studying the composition of uranium-containing solutions, the adsorption of the $UO_2(NO_3)_2 \cdot 2TBP$ complex was used on the surface of polypropylene $(C_3H_6)_n$ in an extraction system based on a solution of nitric acid and tributyl phosphate (TBP) as the extractant. Diphilic TBP molecules are polar and surface active [1]. Interacting simultaneously with polar and non-polar media, they accumulate at the phase interface.

The content of uranium isotopes was determined by the ratio of the peak areas of total absorption of gamma radiation from the equilibrium decay chains of uranium with atomic numbers 234, 235, 238. The experimental dependence of the ratios $I(185 \text{ keV}, ^{235}U)/I(92 \text{ keV}, ^{238}U)$ (line 1) and $I(185 \text{ keV}, ^{235}U)/I(1001 \text{ keV}, ^{238}U)$ (line 2) of the intensities of the uranium analytical lines on the distance h between the sampling point and the surface of the liquid phase is presented on the figure.



Polypropylene (non-polar component) strongly holds the $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{TBP}$ complex in the upper part at the interface of the polar and non-polar phases. At the same time, lighter isotopes of uranium are collected in the upper layers of a film consisting of molecules of the $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{TBP}$ complex. The concentration increased: by ^{234}U from 0.0016 ± 0.0003 at.% in the initial solution to 0.017 ± 0.002 at.%, according to ^{235}U from 0.471 ± 0.007 at.% in the initial solution to 1.49 ± 0.02 at.% [2].

References

1. Kramarenko E. Yu., Gordievskaya Yu. D. Principles of self-organization in solutions of amphiphilic molecules. // Moscow: Russian Academy of Sciences, p. 27, 2017.
2. Zinovyev V. G., Rumyantseva D. A., Mitropolsky I. A. et al. A method of chemical enrichment of uranium with light isotopes. // Patent G21C 19/42. RU 2756277 C1, 2021.

РАССМОТРЕНИЕ НЕЙТРИННОГО КАНАЛА НА УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ У-70 С ОТКЛОНЕНИЕМ ПУЧКА РОДИТЕЛЬСКИХ ЧАСТИЦ

Ф. Н. Новоско́льцев^{1,*}, Р. Ю. Синюков^{1,*}, А. А. Соколов^{1,**}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ» имени А. А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», 142281, Московская область, г. Протвино, площадь Науки, дом 1, тел. +7 (4967) 71-36-23, факс +7 (4967) 74-28-24, e-mail: fgbu@ihep.ru
*e-mail: roman.sinyukov@ihep.ru, **e-mail: sokolov_a@ihep.ru

Рассмотрена принципиальная оптическая схема канала для формирования нейтринного пучка на базе ускорительного комплекса У-70. Для выделения требуемого импульсного интервала π -мезонов предлагается использовать двухмагнитную систему с “полевой” линзой с отклонением пучка родительских частиц в одну сторону и полной компенсацией дисперсии. В данной схеме распадная часть канала повернута относительно направления наведения первичного протонного пучка на мишень. Обсуждаются основные расчётные характеристики пучка нейтрино на дальнем детекторе на расстоянии 2595 км от конца распадного участка канала, а также параметры родительских π -мезонов в начале распадного участка.

CONSIDERATION OF THE NEUTRINO CHANNEL AT THE U-70 ACCELERATOR COMPLEX WITH A DEFLECTED PARENT PARTICLE BEAM

F. N. Novoskoltsev, R. Yu. Sinyukov^{1,*}, A. A. Sokolov^{1,**}

¹National Research Centre "Kurchatov Institute" – IHEP, 1, Nauki Sq., Protvino, Moscow Region, 142281, Russia, +7 (4967) 71-36-23, fax +7 (4967) 74-28-24, e-mail: fgbu@ihep.ru
*e-mail: roman.sinyukov@ihep.ru, **e-mail: sokolov_a@ihep.ru

Principle optical scheme of the neutrino beam production channel based on the accelerator complex U-70 is considered. In order to extract the required pulse interval of π -mesons, a two-magnetic system with a "field" lens with a one-way deflection of the parent particle beam and full compensation of the dispersion is proposed. In this scheme the decay part of the channel is deflected with respect to the direction of the primary proton beam aiming at the target. The main computational characteristics of the neutrino beam at the far detector at a distance of 2595 km from the end of the decaying part of the channel as well as the parameters of the parent π mesons at the beginning of the decaying part are discussed.

ЯДЕРНО-СКАНИРУЮЩИЙ МИКРОЗОНД В ИССЛЕДОВАНИИ ЭПИСЛОЕВ КАРБИДА КРЕМНИЯ

И. А. Карпов¹, М. Э. Бузоверя¹, Д. А. Скворцов^{2,3}, Р. И. Сидоров^{2,3}, В. А. Неверов^{2,3}

¹ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ»;

²ФБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева»;

³НИЛ «Синтез и обработка монокристаллов карбида кремния»

Эффективность радиоэлектронных устройств, особенно работающих в экстремальных условиях (высокие температуры, радиация и др.), существенно зависит от повышения быстродействия, энергосбережения и надежности твердотельной элементной базы. Одним из материалов, отвечающим столь жестким требованиям, является карбид кремния 4H-политипа (4H-SiC). Оработка технологии воспроизводимого роста эпитаксиальных слоев (ЭС) SiC является индивидуальной задачей для установок конкретного типа и требует детального учета факторов, определяющих достижимые параметры ЭС SiC [1]. В этой связи весьма актуальным является применение современных высокоразрешающих методов характеризации ЭС SiC. Цель работы – исследование возможности использования установки «Ядерно-сканирующий микронзонд – ЭПП-10» (ЯСМЗ) в оценке качества гомоэпитаксиальных слоев, полученных сублимационным сэндвич-методом (ССМ) в вакууме на монокристаллической подложке 4H-SiC. В работе приведены результаты ЯСМЗ-исследования методом RBS (обратного резерфордского рассеяния) поверхностей образцов ЭС 4H-SiC, полученных в установке высокотемпературного роста с индукционным нагревателем Basic-T. Получен элементный состав и элементные карты серии образцов (рис.). Выявлены и описаны закономерности распределения основных элементов по толщине ЭС 4H-SiC.

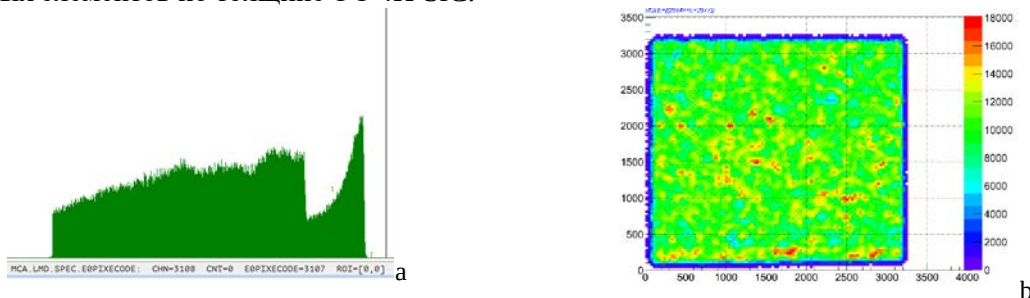


Рисунок: а-RBS -спектр образца SiC; б- элементная карта кремния

Анализ состояния поверхностей образцов, поперечных шлифов ЭС-подложка и режимов синтеза показал, что увеличение содержания кремния (Si) в верхних слоях некоторых образцов предшествует формированию высокодефектных слоев 4H-SiC. Внедрение избыточного Si, в первую очередь, может быть связано с динамикой изменения стехиометрии молекулярных компонентов в паровой фазе при сублимирующем источнике SiC в сторону обогащения кремнием (система SiC-Si). Согласно литературе [2], при температурах 1700 – 2100 °C в газовой фазе, соответствующей SiC-Si системе, могут формироваться кластеры Si, которые могут выпадать на ЭС в виде капель или образовывать агрегаты на поверхности растущего слоя. Через некоторое время кластеры Si испаряются, оставляя следы в виде ямок на поверхности ЭС или формируя характерные микропоровые дефекты в толщине слоев.

Список литературы

- [1] Афанасьев А. В. и др. Анализ эпитаксии карбида кремния из газовой фазы как базового процесса в технологии силовой электроники // Известия вузов. 2020. 25(6). с 483–496.
- [2] Vasiliauskas R. et. al. Nucleation Control of Cubic Silicon Carbide on 6H- Substrates // Cryst. Growth Des. 2012. Vol. 12. p. 197–204.

NUCLEAR-SCANNING MICROPROBE IN THE STUDY OF SILICON CARBIDE EPITAXIAL LAYERS

I. A. Karpov¹, M. E. Buzoverya¹, D. A. Skvortsov², R. I. Sidorov², V. A. Neverov^{2,3}

(1) Federal State Unitary Enterprise RFNC VNIIEF;

(2) National Research Mordovia State University,

(3) Research Laboratory “Synthesis and Processing of Silicon Carbide Single Crystals”

The efficiency of electronic equipments, especially those operating in extreme conditions (high temperatures, radiation, etc.), significantly depends on the switching speed, energy saving and reliability of solid-state electronic devices. One of the materials that meet such stringent requirements is silicon carbide 4H polytype (4H-SiC). Development of the technology for the reproducible growth of SiC epitaxial layers (EL) is an individual task for growth setups of a particular type and requires detailed consideration of the factors that determine the achievable parameters of EL SiC [1]. In this regard, the use of modern high-resolution methods for characterizing of the EL SiC is very actual. The purpose of this work is to study the possibility of using the Nuclear Scanning Microprobe - EGP-10 (NSMP) facility in assessing the quality of homoepitaxial layers obtained by the sublimation sandwich method (SSM) in vacuum on a single-crystal 4H-SiC substrate. The paper presents the results of the NSMP study using the RBS (Rutherford backscattering) method of the surfaces EL 4H-SiC samples obtained in a high-temperature growth setup (Basic-T) with induction heater. The elemental composition and elemental maps of a series of samples were obtained (Fig. 1). Regularities in the distribution of the main elements over the thickness of the EL 4H-SiC are revealed and described.

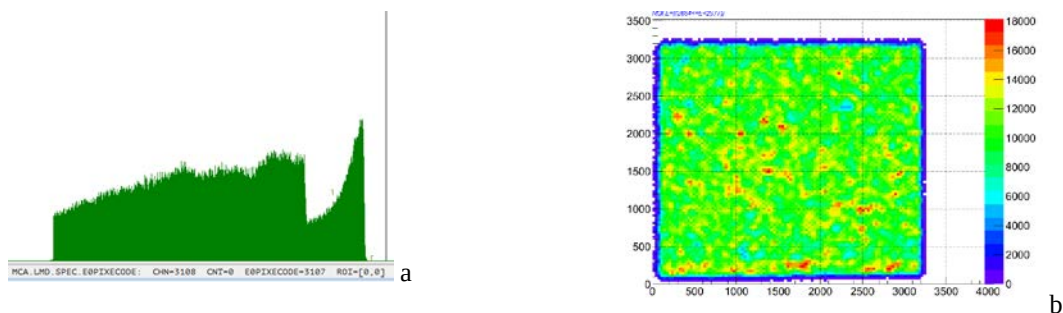


Fig. a-RBS spectrum of the SiC sample; b- silicon element map of the SiC sample

An analysis of the state EL surfaces, cross sections of the EL–substrate compositions, and growth modes showed that an increase in the silicon (Si) content in the upper layers of some samples precedes the formation of highly defective 4H-SiC layers. The introduction of excess Si, first of all, can be associated with the dynamics of changes in the stoichiometry of molecular components in the vapor phase with a subliming source of SiC towards enrichment with silicon (SiC–Si system). According to the literature [2], at temperatures of 1700–2100 °C, Si clusters can form in the gas phase of the corresponding SiC–Si system, which can precipitate on the EL in the form of drops or form aggregates on the surface of the growing layer. After some time, the Si clusters evaporate, leaving traces in the form of pits on the EL surface or forming characteristic micropore defects in the thickness of the layers.

References

1. Afanasiev A. V. and other Analysis of the epitaxy of silicon carbide from the gas phase as a basic process in the technology of power electronics / *Izvestiya vuzov*. 2020, 25(6), pp. 483–496.
2. Vasiliauskas R. et. al. Nucleation Control of Cubic Silicon Carbide on 6H-Substrates / *Cryst. Growth Des.* 2012, Vol.12, p. 197–204.

АКТИВАЦИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИМПУЛЬСНОМ ИСТОЧНИКЕ НЕЙТРОНОВ С МОНИТОРИНГОМ ПУЧКА

В. М. Скоркин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований
Российской академии наук,
117312, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, дом 7а,
тел.: +74991354043, факс: +74991352268, e-mail: skorkin@inr.ru

На импульсном источнике нейтронов проведено облучение композитных материалов, используемых в ядерной медицине и в производстве радиационно-защитной одежды [1, 2]. Композитные материалы со слоистой структурой содержали иттербиевые и свинцовые компоненты для преобразования внешнего радиационного облучения во вторичное низкоэнергетическое излучение. Поток нейтронов в облучательном канале источника РАДЭКС создавался импульсным пучком линейного ускорителя протонов с энергией 209 МэВ при среднем токе 30 мкА. Захват тепловых нейтронов в 1 мг ^{168}Yb образца создавал ^{169}Yb гамма источник для исследования радиобиологической эффективности излучения композита в локальной брахитерапии. После активации свинцового композита проводилось изучение его состава и измерение радиационно-защитных свойств. В процессе облучения поток нейтронов в облучательном канале контролировался в режиме реального времени двумя мониторами импульсного пучка на основе детектора быстрых нейтронов УДБН-02 и радиометра МКС-01Р. Спектр фотонов иттербиевого источника был измерен с помощью HPGe детектора. Дозовое распределение гамма излучения в водном фантоме исследовался с использованием пленки MD-55. Активированные образцы свинцового композита измерялись на радиометре МКС-01Р.

Список литературы

1. Piermattei A., Azario L., and Montemaggi P. Implantation guidelines for ^{169}Yb seed interstitial treatments // Phys. Med. Biol. 1995. Vol. 40. P. 1331 – 1338.
2. Барбулев С. Я., Перцовский Г. А., Логинов В. И. и др. Радиационно-защитный полукombineзон. Патент Российской Федерации на полезную модель № 53113. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 10.05.2006 г.

ACTIVATION OF COMPOSITE MATERIALS ON A PULSED NEUTRON SOURCE WITH BEAM MONITORING

V. M. Skorkin

Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences,
60-letiya Oktyabrya prospekt 7a, Moscow 117312, Russia.
Phone: +74991354043, fax: +74991352268, e-mail: skorkin@inr.ru

A pulsed neutron source was used to irradiate composite materials used in nuclear medicine and in the production of radiation-protective clothing [1, 2]. Composite materials with a layered structure contained the ytterbium and lead components to convert external radiation exposure into secondary low-energy radiation. The neutron flux in the irradiation channel of RADEX source was created by a pulsed beam of a linear proton accelerator with an energy of 209 MeV at an average current of 30 μA . The capture of thermal neutrons in 1 mg ^{168}Yb sample created ^{169}Yb gamma source for studying the radiobiological efficiency of composite radiation in local brachytherapy. After activation of the lead composite, its composition and radiation-protective properties were studied. During irradiation, the neutron flux in the irradiation channel was monitored in real time by two pulsed beam monitors based on the UDBN-02 fast neutron detector and the MKS-01R radiometer. The photon spectrum of the ytterbium source was measured using HPGe detector. The dose distribution of gamma radiation in the water phantom was studied using MD-55 film. The lead composite activation was measured on MKS-01R radiometer.

References

1. Piermattei A., Azario L., and Montemaggi P. Implantation guidelines for ^{169}Yb seed interstitial treatments // Phys. Med. Biol. 1995. Vol. 40. P. 1331 – 1338.
2. Barbulev S. Ya., Pertsovsky G. A., Loginov V. I. etc. Radiation-protective semi-overalls. Patent of the Russian Federation for utility model No. 53113. Registered in the State Register of Utility Models of the Russian Federation on May 10, 2006.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛАСТЕРНОГО РАСПАДА БЕРИЛЛИЯ В ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЕ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ

С. И. Поташев, В. М. Скоркин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований
Российской академии наук,
117312, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, дом 7а,
тел.: +74991354043, факс: +74991352268, e-mail: skorkin@inr.ru

Для исследования кластерной структуры ^9Be проведено моделирование неупругого рассеяния быстрых нейтронов на бериллии с регистрацией двухслойной ионизационной камерой продуктов реакций $n, p, \alpha, ^6\text{He}, ^7\text{Li}$. В настоящее время разрабатывается двухслойный позиционно-чувствительный детектор на основе многопроволочного детектора медленных и быстрых нейтронов с активным борным слоем [1]. Проектируемый детектор должен содержать две кремниевые подложки с бериллиевым слоем-мишенью и слоем бора-10 для регистрации быстрых нейтронов. Конструкция обеспечивает поглощение заряженных фрагментов реакций в первой половине детектора и позволяет измерять потери энергии и угол вылета частиц. Результаты моделирования показывают, что регистрация рассеянных нейтронов в совпадении с частицами распада возбужденных состояний позволяет определить вклады различных конфигураций в структуру состояний.

Список литературы

1. Поташев С. И., Драчев А. И., Каспаров А. А., Бурмистров Ю. М. Позиционно-чувствительный детектор медленных и быстрых нейтронов. Патент Российской Федерации на изобретение №2788834. Дата гос. Регистрации в государственном реестре изобретений 24.01.2023. Заявка №2022111299. Приоритет изобретения 26.04.2022.

SIMULATION OF BERYLLIUM CLUSTER DECAY IN IONIZATION CHAMBER UNDER FAST NEUTRON IRRADIATION

S. I. Potashev, V. M. Skorkin

Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences,
60-letiya Oktyabrya prospekt 7a, Moscow 117312, Russia.
Phone: +74991354043, fax: +74991352268, e-mail: skorkin@inr.ru

To study ^9Be cluster structure the inelastic scattering of fast neutrons on beryllium was simulated with the registration of $n, p, \alpha, ^6\text{He}, ^7\text{Li}$ the reaction products by a two-layer ionization chamber. At present, a two-layer position-sensitive detector based on a multiwire detector of slow and fast neutrons with an active boron layer is being developed [1]. The designed detector should contain two silicon substrates with a beryllium target layer and a boron-10 layer for detecting fast neutrons. The design ensures the absorption of charged reaction fragments in the first half of the detector and

makes it possible to measure the energy loss and the angle of emission of particles. The simulation results show that the registration of scattered neutrons in coincidence with particles of the decay of excited states makes it possible to determine the contributions of various configurations to the structure of states.

References

1. Potashev S. I., Drachev A. I., Kasparov A. A., Burmistrov Yu. M. Position-sensitive detector of slow and fast neutrons. Patent of the Russian Federation for the invention No. 2788834. State date Registration in the state register of inventions 01/24/2023. Application No. 2022111299. Invention priority 04/26/2022.

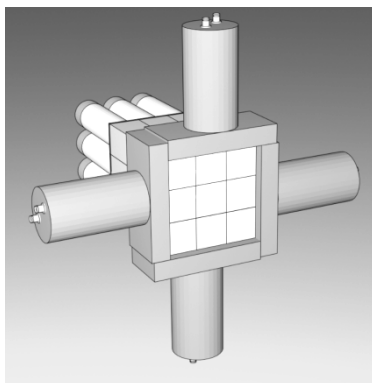
КЛАСТЕР $\text{CeBr}_3\text{-NaI(Tl)}$ ФОСВИЧ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЙТРОНОВ И ГАММА-КВАНТОВ

Ю. Г. Соболев, С. С. Стукалов, Ю. Э. Пенионжкевич, Ж. Зейнулла

141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области,
ул. Жолио-Кюри, д. 6
+7 (49621)6-50-59/6-51-46, post@jinr.ru;
E-mail: sobolev@jinr.ru

Сцинтилляционный спектрометр из $\text{CeBr}_3\text{-NaI(Tl)}$ фосвич-детекторов является одним из элементов установки MULTI [1], созданной в ЛЯР ОИЯИ (Дубна) для измерения полных сечений реакций, сечений групп каналов реакций с ядрами, расположенными вблизи границы нуклонной стабильности, а также изучения процессов их распада.

Спектрометр представляет собой кластер из 9 плотноупакованных $\text{CeBr}_3\text{-NaI(Tl)}$ фосвич-детекторов [2], см. Рис. Внешние стороны кристаллов CeBr_3 закрыты пластинами CsI(Tl) , которые вместе с NaI(Tl) компонентами фосвич-детекторов могут работать как детекторы комптоновской защиты.



Кластер 9 $\text{CeBr}_3\text{-NaI(Tl)}$ фосвич-детекторов

В работе представлены характеристики γ -спектрометра (энергетическое разрешение, эффективность регистрации и эффективность в пике полного поглощения, а также коэффициенты подавления комптоновской части энергетического спектра γ -квантов $E_\gamma = 1.17$ и 1.32 МэВ. Измерения параметров регистрации γ -излучения проведены методом меченых γ -квантов и источника ^{60}Co .

В работе представлены результаты измерения эффективности регистрации нейтронов в диапазоне энергий $E_n = 1,0 \div 5,5$ МэВ. Измерения энергетической зависимости эффективности регистрации нейтронов проведены методом меченых нейтронов из источника $^{239}\text{Pu}/^9\text{Be}$.

Список литературы

1. I. Siváček, Yu. E. Penionzhkevich, Yu.G. Sobolev, S.S. Stukalov, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 976, 164255, (2020);
2. Zh. Zeinulla, Yu. G. Sobolev, S.S. Stukalov, I. Siváček, Yu.E. Penionzhkevich, Acta Physica Polonica B 14 (4), pp.755-760, (2021).

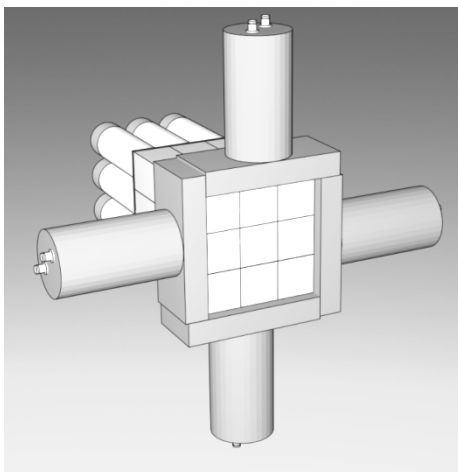
CLUSTER OF CeBr₃-NaI(Tl) PHOSWICH DETECTORS FOR NEUTRONS AND GAMMA QUANTA MEASURING

Yu.G. Sobolev, S.S. Stukalov, Yu.E. Penionzhkevich, Zh. Zeinulla

Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
+7 (49621)6-50-59/6-51-46, post@jinr.ru;
E-mail: sobolev@jinr.ru

The scintillation spectrometer based on CeBr₃-NaI(Tl) phoswich-detectors is one of the elements of the MULTI setup [1] designed at the FLNR JINR (Dubna) for measuring the total reaction cross sections, cross sections of group reaction channels in the reaction with nuclei located at the boundary of nucleon stability, as well as studying the processes of their decay.

The spectrometer is a cluster assembled of 9 CeBr₃-NaI(Tl) scintillation phoswich-detectors [2] (see Fig). The outer CeBr₃ sides of the cluster are covered by the CsI(Tl) plates which can operate together with NaI(Tl) components of phoswich-detectors as Compton shield detectors.



Cluster of 9 CeBr₃-NaI(Tl) phoswich detectors

The characteristics of the γ -spectrometer (energy resolution, detection efficiency and peak efficiency, as well as the suppression coefficients for the Compton component of the energy spectra of γ -quanta $E_\gamma = 1.17$ and 1.32 MeV are presented. The measurements were carried out by tagged γ -ray method with ^{60}Co γ -source.

Some results of measurements of neutron detection efficiency at $E_n = 1,0 \div 5,5$ MeV are presented. The measurements of neutron detection efficiency were carried out by method of tagged neutron and $^{239}\text{Pu}/^9\text{Be}$ neutron source.

References

1. I. Siváček, Yu. E. Penionzhkevich, Yu. G. Sobolev, S. S. Stukalov, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 976, 164255, (2020);
2. Zh. Zeinulla, Yu. G. Sobolev, S.S. Stukalov, I. Siváček, Yu. E. Penionzhkevich, Acta Physica Polonica B 14 (4), pp.755-760, (2021).

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ БИООБЪЕКТОВ И МАТЕРИАЛОВ

Студеникин Ф. Р.^{1,2}, Черняев А. П.^{1,2}, Близнюк У. А.^{1,2}, Золотов С. А.^{1,2},
Борщеговская П. Ю.^{1,2}, Ипатова В. С.², Соколов С. А.¹, Кречетов Н. Д.¹

¹ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, 119991, ГСП-1,
Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, Россия; +74959394946

² Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
E-mail: f.studenikin@gmail.com

В настоящее время значение радиационных технологий существенно возрастает не только в науке, но и в различных отраслях народного хозяйства и медицинской практике. Радиоизотопы и ускорители заряженных частиц, помимо применения в фундаментальных исследованиях в области атомной и ядерной физики, радиобиологии и радиохимии, широко используются в медицине для лучевой терапии и диагностики, стерилизации объектов трансплантологии, фармацевтических препаратов и медицинских изделий; в экологии для очистки сточных вод, твердых отходов и выбросных газов; в промышленности и сельском хозяйстве для радиационной обработки материалов и пищевых продуктов.

Более чем в 70 странах мира действуют центры промышленной радиационной обработки продуктов питания и медицинских изделий. При обработке ускоренными электронами неизбежна неоднородность облучения объектов, обусловленная характером распределения поглощенной дозы излучения по глубине объекта. Критерием однородности облучения принято считать отношение минимального значения поглощенной дозы D_{min} к максимальному значению поглощенной дозы D_{max} в объеме объекта. Достижение степени однородности облучения более 80 % является сложной технологической задачей, при решении которой необходимо учитывать неравномерность заполнения упаковки облучаемых объектов, их геометрию, структуру, химический состав, плотность и другие факторы.

Цель работы заключалась в разработке методов повышения эффективности радиационной обработки биообъектов и материалов. Были разработаны метод модификации пучка ускоренных электронов для повышения равномерности облучения, система быстрого расчета распределения поглощенной дозы по глубине и система расчета параметров ускорителя, обеспечивающих наибольшую равномерность облучения.

Исследование выполнено в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина».

METHODS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF RADIATION PROCESSING OF BIOOBJECTS AND MATERIALS

Studenikin F. R.^{1,2}, Chernyaev A. P.^{1,2}, Bliznyuk U. A.^{1,2}, Zolotov S. A.^{1,2},
Borshchegovskaya P. Yu.^{1,2}, Ipatova V. S.², Sokolov S. A.¹, Krechetov N. D.¹

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, GSP-1, Moscow, Leninskie gory, house 1,
building 2, Russia; +74959394946

²Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Leninskie gory,
GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation.
E-mail: f.studenikin@gmail.com

At present, the importance of radiation technologies is increasing significantly not only in science, but also in various sectors of the national economy and medical practice. Radioisotopes and charged particle accelerators, in addition to being used in fundamental research in the field of atomic

and nuclear physics, radiobiology and radiochemistry, are widely used in medicine for radiation therapy and diagnostics, sterilization of transplantation objects, pharmaceuticals and medical devices; in ecology for the treatment of wastewater, solid waste and exhaust gases; in industry and agriculture for radiation treatment of materials and food products.

In more than 70 countries around the world there are centers for industrial radiation processing of food and medical devices. When processing with accelerated electrons, the inhomogeneity of irradiation of objects is inevitable, due to the nature of the distribution of the absorbed radiation dose over the depth of the object. The ratio of the minimum value of the absorbed dose $D_{\min}$ to the maximum value of the absorbed dose $D_{\max}$ in the volume of the object is considered to be the criterion for the uniformity of irradiation. Achieving a degree of irradiation uniformity of more than 80 % is a complex technological task, in solving which it is necessary to take into account the uneven filling of the package of irradiated objects, their geometry, structure, chemical composition, density and other factors.

The aim of the work was to develop methods for increasing the efficiency of radiation treatment of biological objects and materials. A method was developed for modifying an accelerated electron beam to improve the uniformity of irradiation, a system for quickly calculating the distribution of the absorbed dose over depth, and a system for calculating the accelerator parameters that ensure the greatest uniformity of irradiation.

The study was carried out within the framework of the Development Program of the Interdisciplinary Scientific and Educational School of Moscow University "Photonic and Quantum Technologies. Digital Medicine."

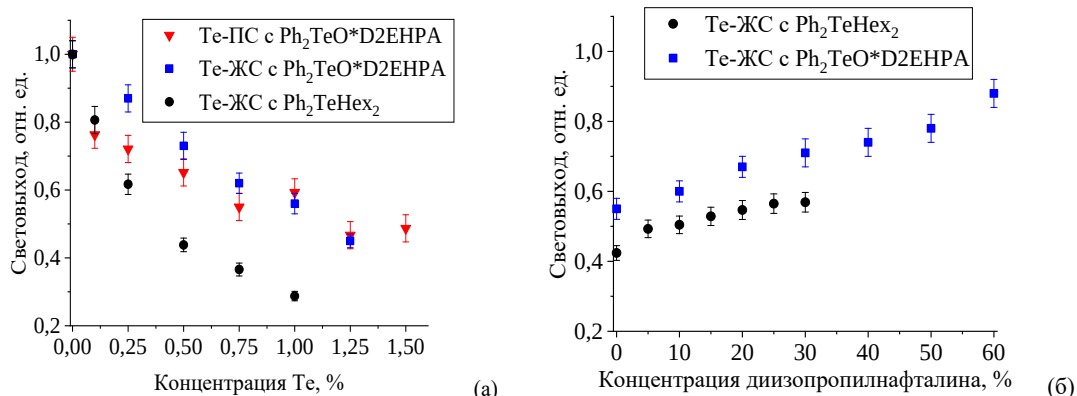
ТЕЛЛУРСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СЦИНТИЛЛЯТОРЫ

И. А. Суслов^{а, б}, И. Б. Немченко^{а, б}, А. А. Клименко^{а, б}, А. Д. Быстрыков^{а, б}, И. И. Камнев^а

^аОбъединенный Институт Ядерных Исследований, ул. Жолио-Кюри, д.6,
141980, Московская область, г. Дубна, Россия

^бГосударственный университет «Дубна», ул. Университетская, д. 19,
141980, Московская область, г. Дубна, Россия
телефон: 89154182225, e-mail: ivsuslov@jinr.ru

В работе описаны новые теллурсодержащие жидкие (Те-ЖС) и пластмассовые сцинтилляторы (Те-ПС) для экспериментов по поиску двойного безнейтринного бета-распада. В качестве основы для Те-ЖС использованы смеси линейного алкилбензола с диизопропилнафталином, для Те-ПС – полистирол, в качестве теллурсодержащих добавок – ди-2-этилгексаноат дифенилтеллура ($\text{Ph}_2\text{TeHex}_2$) и комплексное соединение оксида дифенилтеллура и ди-(2-этилгексил)фосфорной кислоты ($\text{Ph}_2\text{TeO} \cdot \text{D2EHPA}$). Измерены световойход и прозрачность сцинтилляторов, исследована их временная устойчивость.



Зависимость световыхода теллурсодержащих органических сцинтилляторов от концентрации (а) теллура, (б) диизопропилнафталена (относительно световыхода образцов ЖС или ПС, не содержащих теллур)

В результате получены Те-ЖС с содержанием теллура до 1,25%_{масс} и световыходом до 88 % в зависимости от содержания диизопропилнафталина и первые в мире Те-ПС с хорошими прозрачностью и световыходом.

Работа поддержана грантом РФФИ на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми научными группами (проект № 23-22-00214).

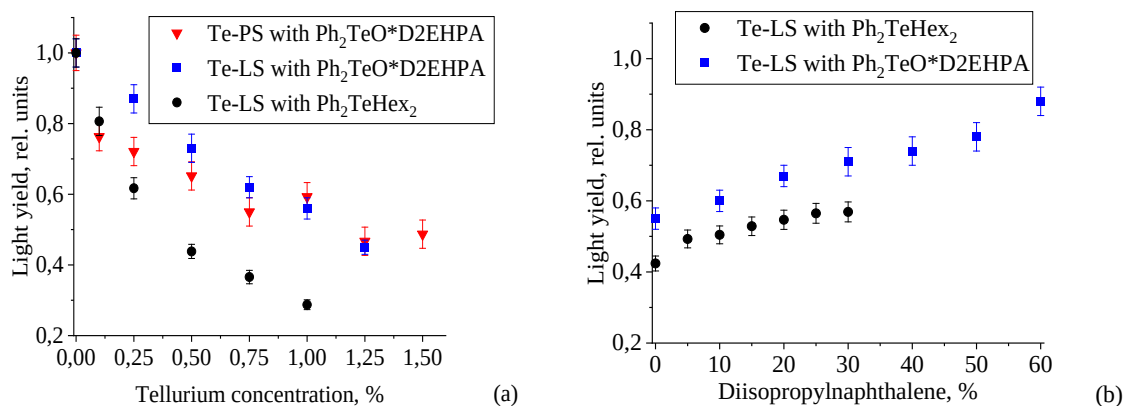
TELLURIUM-LOADED ORGANIC SCINTILLATORS

I. A. Suslov^{a, b}, I. B. Nemchenok^{a, b}, A. A. Klimenko^{a, b}, A. D. Bystryakov^{a, b}, I. I. Kamnev^a

^aJoint Institute for Nuclear Research, 6 Joliot-Curie St, Dubna, Moscow Region, 141980, Russia

^bDubna State University, Universitetskaya 19, Dubna. Moscow region, 141980, Russia
telephone: 89154182225, e-mail: ivsuslov@jinr.ru

The paper describes new tellurium-loaded liquid (Te-LS) and plastic scintillators (Te-PS) for experiments on the search for neutrinoless double beta-decay. Mixtures of linear alkylbenzene with diisopropylnaphthalene were used as the scintillation base for Te-LS, polystyrene was used for Te-PS. Diphenyltellurium di-2-ethylhexanoate ($\text{Ph}_2\text{TeHex}_2$) and a complex compound of diphenyltellurium oxide with di-(2-ethylhexyl)phosphoric acid ($\text{Ph}_2\text{TeO}^*\text{D2EHPA}$) were used as tellurium-containing additives. The light yield and transparency of the scintillators were measured and their long-term stability was studied.



Light yield as a function of (a) tellurium concentration, (b) diisopropylnaphthalene concentration for tellurium-loaded organic scintillators (relative to the light yield of unloaded LS and PS)

As a result, Te-LS with a tellurium content of up to 1.25 wt.% and a light yield of up to 88% depending on the content of diisopropylnaphthalene were obtained and the world's first Te-PS with good transparency and light yield were produced.

This work is supported by a grant from the Russian Science Foundation for fundamental research and exploratory research by small individual research groups (project no. 23-22-00214).

САПФИРОВЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ ИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

**К. В. Сухарев¹, А. П. Воробьев¹, С. Н. Головня¹, О. П. Толбанов², А. В. Тяжев²,
А. Е. Винник², М. С. Скакунов², А. Н. Зарубин²**

¹⁾ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логанова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» 142281, Московская область, г. Протвино, площадь Науки, дом 1;
телефон: +7 (4967) 71-36-23;

²⁾ Томский государственный университет, г. Томск
Email: Kirill.Sukharev@ihep.ru

Целесообразность исследования возможности использования детекторов из монокристаллического искусственного сапфира в дистанционной лучевой терапии следует из сравнения параметров медицинских пучков протонов и ионов углерода, используемых в адронной терапии онкологических заболеваний, с имеющимися мировыми исследованиями транспорта носителей заряда в искусственных сапфирах и характеристик сенсоров при облучении бета-частицами и тяжелыми ионами [1,2].

В настоящей работе представлены результаты первых испытаний сапфировых сенсоров на пучке ионов углерода с энергией 175 и 380 МэВ/нуклон. Измерены зависимости сигналов сенсоров от приложенного высокого напряжения от 50 до 500В, зависимости сигналов от интенсивности пучка ионов углерода. Используя радиохромную плёнку ЕВТ-3, установленную перед сапфировыми сенсорами, измерено соотношение между поглощённой дозой в плёнке и суммарным зарядом, зарегистрированным сенсорами. Измерена зависимость величины сигналов сенсоров при напряжении на них 500В при постоянной интенсивности пучка после облучения дозой, регистрируемой относительным дозиметром. Впервые для сапфировых сенсоров измерена зависимость дифференциальной поглощённой дозы в водном фантоме (кривая Брэгга). Сигналы с детекторов измерялись при напряжении на детекторах 500В и времени интегрирования 900мс в интервале интенсивностей $7,0 \cdot 10^7 \div 4,5 \cdot 10^8$ ионов/импульс.

Список литературы

1. F. Wang et al., Electronic Charge Transport in Sapphire Studied by Optical-Pump/THz-Probe Spectrometer, SPIE Proceedings, 2004
2. А. В. Ефимов, Наноразмерные эффекты на поверхности монокристаллов Al₂O₃ и MgO, вызванные тяжёлыми ионами высоких энергий, Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, Дубна – 2004 г

SAPPHIRE DOSIMETRIC SENSORS FOR ION BEAM THERAPY

**K. V. Sukharev¹, A. P. Vorobiev¹, S. N. Golovnya¹, O. P. Tolbanov², A. V. Tyzhev²,
A. E. Vinnik², M. S. Skakunov², A. N. Zarubin²**

¹⁾ A.A. Logunov Institute for High Energy Physics of the National Research Centre «Kurchatov Institute», 142281, Moscow region, Protvino, Science Square, 1;
phone number: +7 (4967) 71-36-23;

²⁾ Tomsk State University, Tomsk
Email: Kirill.Sukharev@ihep.ru

The expediency of investigating the possibility of using detectors made of monocrystalline artificial sapphire in remote radiation therapy follows from comparing the parameters of medical beams of protons and carbon ions used in hadron therapy of oncological diseases with existing world studies of charge carrier transport in artificial sapphires and sensor characteristics when irradiated with beta particles and heavy ions [1, 2].

This paper presents the results of the first tests of sapphire sensors in a beam of carbon ions with energies of 175 and 380 MeV/nucleon. The dependences of the sensor signals on the applied high voltage from 50 to 500 V, the dependences of the signals on the intensity of the carbon ion beam were measured. Using the EBT-3 radiochromic film installed in front of the sapphire sensors, the ratio between the absorbed dose in the film and the total charge recorded by the sensors was measured. The dependence of the magnitude of the sensor signals at a voltage of 500 V and at a constant beam intensity after irradiation with a dose recorded by a relative dosimeter was measured. For the first time for sapphire sensors, the dependence of the differential absorbed dose in an aqueous phantom (Bragg curve) was measured, the signals from the detectors were measured at a voltage of 500V and an integration time of 900ms in the intensity range of $7.0 \cdot 10^7 \div 4.5 \cdot 10^8$ ions/pulse.

References

1. F. Wang et al., Electronic Charge Transport in Sapphire Studied by Optical-Pump/THz-Probe Spectrometer, SPIE Proceedings, 2004.
2. A. V. Efimov, Thesis. Dubna – 2004, RF.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ОЦЕНОК ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ БИОИМПЛАНТАТОВ

А. О. Хуцистова, С. А. Золотов, В. В. Розанов, И. В. Матвейчук, А. П. Черняев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, тел.: 8(495)-939-13-44
E-mail: vrozanov@mail.ru

Радиационная обработка биоимплантатов в последние годы составляет всё более значительную долю на рынке стерилизации объектов биологического и медицинского назначения. При этом самую существенную роль играет величина и равномерность распределения поглощенной дозы в обрабатываемых материалах. Особую роль это играет при стерилизации костных имплантатов, в процессе которой необходимо, с одной стороны, обеспечить высокий уровень стерильности, а с другой – не внести существенные изменения в структуру, механические и остеointegratивные свойства и характеристики имплантата. Расчетные и контактные методы не всегда могут обеспечить достоверную информацию о величине поглощенной дозы. Новые возможности обеспечивают модельные подходы.

В настоящей работе с применением программного пакета GEANT4 выполнен цикл модельных расчетов пространственного распределения величины поглощенной дозы в прямоугольном образце с характеристиками кортикальной костной ткани (параметры взяты из библиотеки GEANT4) при радиационном воздействии гамма-квантами, ускоренными электронами и потоком рентгеновского излучения при варьировании энергетических параметров излучения, толщины мишени и геометрии воздействия. Исходные условия соответствовали параметрам реального эксперимента, осуществленного ранее в НИИЯФ МГУ при разработке комбинированной (озон + радиация) технологии стерилизации биообъектов [1]. Проведенные расчеты показали высокую эффективность радиационного воздействия и равномерность распределения дозы при обработке костного фрагмента гамма-квантами. Именно поэтому такая технология сегодня находит наиболее широкое применение. Однако результаты, полученные для случая использования потока ускоренных электронов, позволили выработать ряд практических рекомендаций, оптимизирующих процесс радиационной обработки. Это может открывать новые возможности для более широкого использования ускоренных электронов для стерилизации костных имплантатов.

Список литературы

1. Розанов В. В., Матвейчук И. В., Черняев А. П. и др. Современное состояние и направления дальнейшего развития высокотехнологичных методов радиационной стерилизации // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2020. – т. 84. – № 4. – С. 521–524.

USE OF MODEL ESTIMATES FOR OPTIMIZATION OF TECHNOLOGIES FOR RADIATION STERILIZATION OF BIOIMPLANTS

A. O. Khutsistova, S. A. Zolotov, V. V. Rozanov, I. V. Matveychuk, A. P. Chernyaev

Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskie gory, 1,
phone: +74959394946, e-mail: vrozanov@mail.ru

In recent years, radiation treatment of bioimplants has become an increasingly significant share of the sterilization market for biological and medical objects. In this case, the most significant role is played by the magnitude and uniformity of the distribution of the absorbed dose in the processed materials. This plays a special role in the sterilization of bone implants, during which it is necessary, on the one hand, to ensure a high level of sterility, and on the other hand, not to make significant changes in the structure, mechanical and osteointegrative properties and characteristics of the implant. Calculation and contact methods cannot always provide reliable information about the absorbed dose. Model approaches provide new opportunities in this regard.

In this work, using the GEANT4 software package, a cycle of model calculations of the spatial distribution of the absorbed dose in a rectangular sample with the characteristics of cortical bone tissue (parameters taken from the GEANT4 library) was performed under radiation exposure to gamma quanta, accelerated electrons, and X-ray flux at varying the energy parameters of the radiation, the thickness of the target and the geometry of the impact. The initial conditions corresponded to the parameters of a real experiment carried out earlier at the SINP MSU in the development of a combined (ozone + radiation) technology for sterilizing biological objects [1]. The calculations performed showed high efficiency of radiation exposure and uniformity of dose distribution during the treatment of a bone fragment with gamma quanta. That is why this technology is widely used today. However, the results obtained for the case of using a stream of accelerated electrons made it possible to develop a number of practical recommendations that optimize the radiation treatment process. This may open up new possibilities for the wider use of accelerated electrons for the sterilization of bone implants.

References

1. Rozanov V. V., Matveichuk I. V., Chernyaev A. P., Nikolaeva N. A., Krasnov S. A. Current State and Lines of the Further Development of High-Tech Means of Radiation Sterilization // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2020. – V.84. – № 4. – P. 403-405.

ФИЗИЧЕСКОЕ ЯДРО СИСТЕМЫ ДОЗНО-АНАТОМИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТА С ИСТОЧНИКОМ ИОНОВ УГЛЕРОДА

**И. И. Дегтярев, Ф. Н. Новоскольцев, О. А. Ляшенко,
Р. Ю. Синюков, Д. А. Цветков, А. Р. Селезнева**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», 142281, Московская область, город Протвино, площадь Науки, дом 1, Тел.: (4967) 71-36-23, Факс: (4967) 74-28-24, e-mail: fgbu@ihep.ru, Igor.Degtyarev@ihep.ru

Дистанционная лучевая терапия злокачественных новообразований является одним из наиболее востребованных и быстроразвивающихся высокотехнологичных методов лечения онкологических заболеваний. На базе НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ планируется создание новейшего отечественного научно-образовательного медицинского центра ядерной медицины, включающего комплекс ионно (углеродной) – лучевой дистанционной терапии (ЦИЛТ У70). Неотъемлемой частью ЦИЛТ У70 является автоматизированная система дозно-анатомического планирования облучения пациента. В докладе представлено описание прецизионной и полуаналитических математических моделей [1, 2] физического ядра разрабатываемой автоматизированной системы дозно-анатомического планирования комплекса ионно-лучевой терапии НИЦ «Курчатовский институт».

Список литературы

[1] I. I. Degtyarev, F. N. Novoskoltsev, O. A. Liashenko, E. V. Gulina, L. V. Morozova // RTS&T-2014 code status, Nuclear Energy and Technology, Volume 1, Issue 3, November 2015, Pages 222-225.

[2] И. И. Дегтярев, Ф. Н. Новоскольцев, О. А. Ляшенко, Р. Ю. Синюков, Е. В. Алтухова, А. И. Блохин, П. А. Блохин, А. А. Пряничников // RTS&T-2021 – Обновленный комплекс программ статистического моделирования связанного переноса многокомпонентного излучения в гетерогенных пространственно-неоднородных средах, Сборник трудов XI Российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях», Москва, 26–29 октября 2021 года, т. 3, с. 148.

PHYSICAL CORE OF CARBON ION RADIATION THERAPY TREATMENT PLANNING SYSTEM

I. I. Degtyarev, F. N. Novoskoltsev, O. A. Liashenko, R. Yu. Sinyukov, D. A. Tzvetkov, A. R. Selezneva

Institute for High Energy Physics named by A.A. Logunov of NRC “Kurchatov Institute”, 142281, Moscow reg., Protvino, Nauki sq. 1, E-mail: fgbu@ihep.ru, Igor.Degtyarev@ihep.ru

Radiotherapy is one of the most widely used and rapidly developing high-tech methods for the treatment. On the basis of the National Research Center "Kurchatov Institute" – IHEP, it is planned to create the latest domestic scientific and educational medical center for nuclear medicine, including a complex of carbon-ion therapy. An integral part of this complex is an automated system for dose-anatomical planning of patient exposure. The report presents a description of precision and semi-analytical mathematical models [1, 2] of the physical core of the automated system for dose-anatomical planning of the ion-beam therapy complex at the National Research Center "Kurchatov Institute"-IHEP.

References

[1] I. I. Degtyarev, F. N. Novoskoltsev, O. A. Liashenko, E. V. Gulina, L. V. Morozova // RTS&T-2014 code status, Nuclear Energy and Technology, Volume 1, Issue 3, November 2015, Pages 222-225.

[2] I. I. Degtyarev, F. N. Novoskoltsev, O. A. Lyashenko, R. Yu. Sinyukov, E. V. Altukhova, A. I. Blokhin, P. A. Blokhin, A. A. Pryanichnikov // The RTS&T-2021 – updated code for statistical modeling of coupled transport of multicomponent radiation in heterogeneous spatially inhomogeneous media, Proceedings of the XI Russian Scientific Conference "Radiation Protection and Radiation Safety in Nuclear Technologies", Moscow, October 26-29, 2021, vol. 3, p. 148.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ЛИНЕЙНОМ ИНДУКЦИОННОМ УСКОРИТЕЛЕ

**А. О. Черница¹, П. А. Колесников¹, И. А. Карачинский¹,
Д. А. Старостенко², П. А. Бак², Д. А. Никифоров², Я. В. Куленко².**

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ технической физики имени академика Е. И. Забабахина»,
Снежинск, Россия

²Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

В РФЯЦ-ВНИИТФ в 2011 году введена в эксплуатацию рентгенографическая установка на базе линейного индукционного ускорителя (ЛИУ). ЛИУ используется для исследования динамически развивающихся объектов при взрывном нагружении. В ЛИУ формируется

электронный пучок для получения точечного источника гамма-излучения при помощи конверсионной мишени. Источником электронов служит инжектор, способный генерировать импульсы длительностью от десятков наносекунд до нескольких микросекунд и током в несколько килоампер. Задача транспортировки и фокусировки такого пучка в диаметр порядка 1 мм является весьма сложной [1].

В докладе рассматривается исследование динамики электронного пучка в ускорителе ЛИУ. Приводятся результаты численного моделирования пучка, с помощью разработанных кодов. Результаты моделирования демонстрируют хорошее соответствие между собой. Предложена новая конфигурация транспортного канала с новыми элементами диагностики для измерения поперечного профиля, расчета коррекции орбиты и других параметров пучка.

Общая схема ЛИУ представлена на рис.

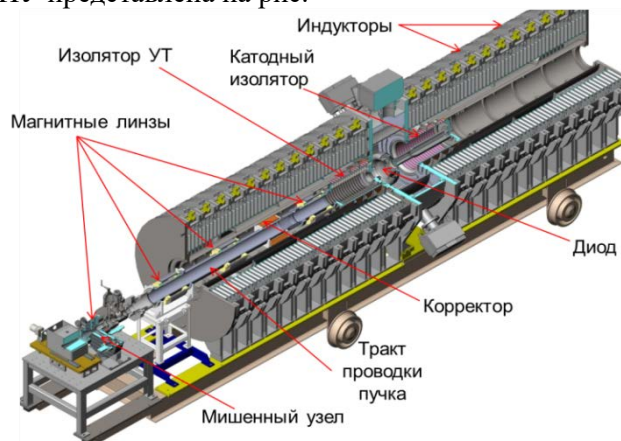


Рис. Схема линейного индукционного ускорителя

Список литературы

1. Д. Старостенко, П. Бак, Д. Никифоров, Я. Куленко, А. Черница, П. Колесников, Динамика пучка линейного индукционного ускорителя ЛИУ-2, - Письма в ЭЧАЯ. 2022. Т.19, №4 (243). С.319-325.

THE LINEAR INDUCTION ACCELERATOR LIA-2 ELECTRON BEAM DYNAMICS INVESTIGATION

**A. O. Chernitsa¹, P. A. Kolesnikov¹, I. A. Karachinskiy¹, D. A. Starostenko²,
P. A. Bak², D. N. Nikiforov², Ya. V. Kulenko²**

¹FSUE "RFNC – VNIITF named after Academ. E. I. Zababakhin", Snezhinsk, Russian Federation

²BINP, the SB of the RAS, Novosibirsk, Russian Federation

In 2011, RFNC-VNIITF put into operation a radiography facility based on linear-induction accelerator (LIA). The LIA is applied to study dynamically evolving objects under explosive loading. LIA generate electron beam to obtain a small spot and bright X-ray source using a conversion target. The electrons source is injectors capable of generating pulses with a duration from tens of nanoseconds to several microseconds and a current of several kA. The transportation and focusing of high-current beams into diameter about 1 mm is extremely difficult [1].

The work considers the research of electron beam dynamics in the accelerator LIA. The computational results of the electron beam with the help of developed cods are presented. The computational results show a good equivalent between each other. The new configuration of the LIA transport channel with new measuring diametrical profile diagnostic elements, orbit correction calculation and others electron beam parameters are presented. The common LIA scheme is presented in Figure.

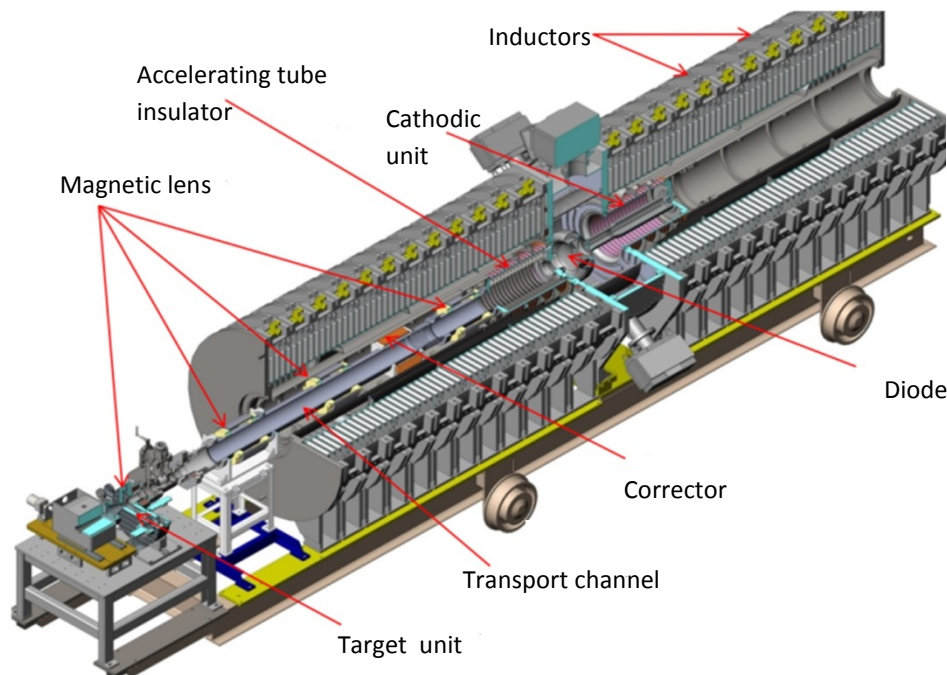


Fig. The common LIA scheme

References

1. D. Starostenko, P. Bak, D. Nikiforov, Ya. Kulenko, A. Chernitsa, P. Kolesnikov, The linear induction accelerator LIA-2 electron beam dynamics// EPAN mails – 2022 – Vol 4 – P 319–325

МНОГОБИТОВЫЕ СБОИ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ОТ ОДИНОЧНОЙ ЧАСТИЦЫ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Н. Г. Чеченин*, Н. В. Новиков, А. А. Широкова

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына,
119991, Москва, Ленинские горы, 1/2, Россия,

* тел: +7-495-9392348, e-mail: nchechenin@yandex.ru

С уменьшением размера и увеличением плотности элементов, переходом от микро-электроники к нанoeлектронике растет вероятность генерации ложного сигнала не только в одном, но и в нескольких битах при прохождении одиночной частицы космического ионизирующего излучения через элемент бортовой электроники космического аппарата. В данной работе вероятность многобитового сбоя (МБС) изучается на базе упрощенного аналитического подхода и сопоставляется с результатами расчетов на основе метода Монте-Карло. Анализируется увеличение вероятности МБС с ростом ионизационных потерь падающей частицы и плотности битов в чипе.

MULTIBIT FAILURES OF THE SPACECRAFT ON-BOARD ELECTRONICS CAUSED BY A SINGLE PARTICLE OF SPACE RADIATION

N. G. Chechenin*, N. V. Novikov, A. A. Shirokova

Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics
119991, Moscow, Leninskie Gory, 1/2, Russia,

* tel: +7-495-9392348, e-mail: nchechenin@yandex.ru

With a decrease in the size and an increase in the density of elements, the probability increases of generating a false signal not only in one, but also in several bits, when a single particle of space radiation passes through an element of the onboard electronics of a spacecraft. In this paper, the probability of a multibit upset (MBU) is analyzed based on a simplified analytical approach and compared with the results of calculations based on the Monte Carlo method. An analysis is made of the growth of the MBUs with an increase in the ionizing power of the incident particle and in the bit density in the chip.

ПРИМЕНЕНИЕ МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО РЕГИСТРАЦИИ ФОТОНЕЙТРОНОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО ИМПУЛЬСА γ -КВАНТОВ

О. А. Никитин, И. В. Пензин, Е. И. Чухаев

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»
ул. Васильева, 13, г. Снежинск, Челябинская область, 456770
факс: (351-46) 5-22-33, 5-55-66
тел: (351-46) 5-51-20, 5-43-67
E-mail: vniitf@vniitf.ru

В РФЯЦ-ВНИИТФ создан импульсный фотонейтронный источник на основе линейного индукционного ускорителя с энергией электронов в пучке 20 МэВ (ЛИУ-20) и импульсной мощностью до 40 ГВт.

Отличительной чертой созданного фотонейтронного источника служит фактор комплексного воздействия нейтронного и тормозного излучений. При этом применение различных конверторов позволяет варьировать количество тормозных квантов и нейтронов в потоке излучения.

Для решения задачи по определению числа и спектра фотонейтронов в генерируемом гамма-нейтронном потоке излучения в реальном времени на основе Монте-Карло метода построена численная модель быстродействующего измерительного канала на основе сцинтилляционного детектора, предназначенного для регистрации импульсов длительностью 60 нс с интервалом до 1 минуты между ними.

В докладе обоснован выбор детектора, представлен принцип построения численной модели измерительного канала, проведено сравнение результатов моделирования с данными, полученными в эксперименте.

MONTE-CARLO MODEL OF THE MEASURING CHANNEL USED IN THE EXPERIMENT TO RECORD PHOTONEUTRONS INDUCED BY HIGH-INTENSITY γ -QUANTUM PULSE

O. A. Nikitin, I. V. Penzin, E. I. Chukhaev

FSUE "RFNC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin"
Russia, 456770, Chelyabinsk region, Snezhinsk, Vasilieva str., 13
Fax: (351-46) 5-22-33, 5-55-66
Tel: (351-46) 5-51-20, 5-43-67
E-mail: vniitf@vniitf.ru

RFNC-VNIITF has developed a pulsed photoneutron source based on the linear induction accelerator with the electron beam energy of 20 MeV (LIA-20) and pulsed power up to 40 GW.

The integrated effect of neutron and deceleration radiation is a specific characteristic of the developed photoneutron source. The number of decelerated quanta and neutrons in the radiation flow can be varied using different converters.

Numerical model of the high-speed measuring channel based on the scintillation detector designed to record 60 ns pulses at 1-minute intervals was developed to determine in real-time mode the number and spectrum of photoneutrons in the generated neutron radiation flow using Monte-Carlo method.

The present paper justifies selection of the detector and describes numerical modelling for the measuring channel. The simulation results have been compared with the experimental data.

САМОСОГЛАСОВАННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЗАРЯЖЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ИНЖЕКЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ

А. В. Грунин, А. Н. Залялов, С. А. Лазарев, И. В. Пенягин, П. А. Шанина

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607188, Нижегородская обл., г.Саров, пр. Мира 37
otd4@expd.vniief.ru

Интерес к явлению заряжения диэлектрических материалов [1] потоками высокоэнергетических электронов обусловлен их практическими применениями в различных областях физики и техники, в экспериментах на физических установках, в аналитических методах с применением электронных пучков, микроэлектронике, а также в обеспечении устойчивости аппаратуры космических аппаратов (КА) к воздействию радиационных поясов Земли. Возникновение поля объемного электрического заряда (ОЗ) влияет на пробег электронов и распределение поглощенной энергии в облучаемом диэлектрике, эмиссию вторичных электронов с поверхности диэлектрика, генерацию тормозного излучения (ТИ).

Проблеме зарядки диэлектрических мишеней посвящено значительное число методических и экспериментальных работ, однако на сегодня отсутствует модель влияния динамики сильноточных пучков электронов на процессы формирования ОЗ и возможное решение данной проблемы – это самосогласованное решение переноса излучений в поле формируемого ОЗ.

Предлагаемое последовательное решение задачи содержит самосогласованный расчет переноса высокоэнергетических электронов по методу Монте-Карло в электрическом поле ОЗ, расчет концентрации захваченных на ловушки инжектированных электронов после их термализации, релаксацию ОЗ, описываемую радиационно-наведенной электропроводностью (РНЭ). В процессе движения электронов в слое диэлектрика, учитывается влияние электрического поля с предыдущего шага, а также ТИ, которое приводит к появлению вторичных электронов и вне зоны воздействия инжектируемых электронов. Траектории электронов и гамма-квантов моделируются методом Монте-Карло в программе СМК.

Новые возможности программы СМК позволяют в одномерном приближении проводить расчеты по оценке заряжения диэлектрического слоя потоками высокоэнергетических электронов с учетом потери энергии электронов в поле создаваемого ОЗ, с учетом его релаксации.

Список литературы

1 С. Г. Боев, В. Я. Ушаков. Радиационное накопление заряда в твердых диэлектриках и методы его диагностики. М.: Энергоатомиздат, 1991. 240 с.

SELF-CONSISTENT APPROACH TO ESTIMATION OF DIELECTRIC MATERIALS CHARGING AT PULSED INJECTION OF HIGH-ENERGY ELECTRONS

A. V. Grunin, A. N. Zalyalov, S. A. Lazarev, I. V. Penyagin, P. A. Shanina

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics» Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave 37
otd4@expd.vniief.ru

An interest to phenomenon for dielectric materials [1] charging by high-energy electron flows is conditioned by their applications in different areas of physics and engineering, experiments on physical installations, analytical methods using electron beams, microelectronics, as well as in providing spacecraft equipment resistance to effect of the Earth radiation belts. Birth of volume electric charge (VCh) field affects a range of electrons and absorbed energy distribution in irradiated dielectric, secondary electron emission from the dielectric surface, bremsstrahlung generation.

A significant number of methodical and experimental works is devoted to dielectric targets' charging problem, however, today there is no contagion model of high-current electron beams dynamics on VCh formation processes and possible solution of the given problem is a self-consistent solution of radiation transfer into the field of formed VCh.

Proposed sequential task solving contains a self-consistent calculation of high-energy electron transport by Monte-Carlo method in an electric VCh field, calculation of concentration of trapped injected electrons after their thermalization, VCh relaxation, described by radiation-induced electrical conduction (RIEC). During electron motion process in a dielectric layer, the electric field effect from the previous step is taken into account, as well as bremsstrahlung radiation, leading to appearance of secondary electrons outside the area affected by injected electrons as well. Electron trajectories and gamma-quanta are simulated by Monte-Carlo method in program SMK/ СМК.

In one-dimensional approximation new capabilities of program СМК allow calculations on estimation of charging the dielectric layer by high-energy electron flows, taking into account the loss of electron energy in the field of developed VCh with regard to its relaxation.

References

1 S. G. Boev, V. Ya. Ushakov. Charge accumulation in hard dielectrics and methods of its diagnostics. M.: Energoatomizdat, 1991. 240 p.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ В НИЗКОФОНОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

К. В. Шахов, Е. А. Якушев, А. В. Лубашевский, С. В. Розов, Д. В. Пономарев, С. А. Евсеев

141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
+7 (49621) 6-50-59/6-51-46, post@jinr.ru

Низкофоновые эксперименты постоянно выдвигают новые требования как к радиоактивной чистоте, так и к физическим свойствам различных применяемых материалов в конструкциях детекторов или установок. Данные требования объясняются растущей точностью

современных экспериментов, в которых необходимо учитывать примеси радиоактивных изотопов во всех элементах установки на уровнях ниже 10^{-9} г/г.

Одним из таких материалов является изученный в ЛЯП ОИЯИ нейлон для 3D-печати. Из данного полимера в ЛЯП ОИЯИ были изготовлены различные конструкционные элементы для нескольких экспериментов с низким уровнем фона. Так, для эксперимента ν GeN (КАЭС, Россия), направленного на поиск когерентного рассеяния нейтрино на ядрах германия и измерение магнитного момента нейтрино, была изготовлена низкофоновая полимерная антирадоновая защита детектора с применением аддитивных технологий (FDM-печать). Для эксперимента LEGEND (Гран-Сассо, Италия), направленного на поиск безнейтринного двойного бета-распада ($0\nu 2\beta$), были изготовлены различные конструкционные элементы установки, а именно: оправы германиевых детекторов установки, формы для изготовления и транспортировки кожухов детекторов, направляющие для калибровочных источников.

В данной работе представлены преимущества низкофоновой 3D-печати, варианты применения аддитивных технологий в низкофоновых экспериментах и экспериментальные данные об уровнях радиоактивных примесей изученного нейлона для 3D-печати. Таким образом, оценена возможность и перспектива применения аддитивных технологий для изготовления различных конструкционных элементов установок в низкофоновых экспериментах.

APPLICATION OF 3D PRINTING TECHNOLOGY IN LOW-BACKGROUND EXPERIMENTS

K. V. Shakhov, E. A. Yakushev, A. V. Lubashevsky, S. V. Rozov, D. V. Ponomarev, S. A. Evseev

Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
+7 (49621) 6-50-59/6-51-46, post@jinr.ru

Low-background experiments constantly put new demands on both radioactive purity and physical properties of various materials used in detector facilities. These requirements are explained by growing precision of modern experiments in which radioactive isotope impurities at the levels below 10^{-9} g/g have to be taken into account in all construction elements.

One of such materials is nylon for 3D printing which was previously studied at DLNP JINR. Here, various structural elements for several low-background experiments were made from this polymer. As a result, for the ν GeN experiment (KNPP, Russia) aimed at searching for coherent neutrino scattering off germanium nuclei and measuring the neutrino magnetic moment, a low-background polymeric antiradon detector protection has been made using an additive technology, FDM printing. For the LEGEND experiment (Gran Sasso, Italy) which searches for the ^{76}Ge neutrinoless double beta decay ($0\nu\beta\beta$), various construction elements of the facility – germanium detector frames, molds for manufacture and transportation of detector shrouds and rails for calibration sources – were manufactured in the same way.

This work presents the advantages of low-background 3D printing, possible applications of additive technologies in low-background experiments and the experimental data concerning the levels of radioactive impurities in the nylon as a 3D printing material. Thus, the possibility of and prospects for using additive technologies for the manufacture of various structural elements of facilities in low-background experiments are evaluated.

СОЗДАНИЕ ЭТАЛОННОГО ПОЛЯ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРОВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ ФОТОНОВ ОТ 0,06 ДО 10 МэВ

М. С. Эпов, Н. Н. Моисеев

Федеральное государственное унитарное предприятие
“Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева” –
ФГУП “ВНИИМ им. Д. И. Менделеева”.190005, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр., 19,
Тел: +7 812 251-7601, Факс: +7 812 713-0114, E-mail: info@vniim.ru

Современные тенденции в ядерном приборостроении требуют расширения энергетического диапазона регистрируемого гамма-излучения. Традиционно для калибровки спектрометров используются источники моноэнергетического гамма-излучения. Основной проблемой является отсутствие радионуклидов, распад которых сопровождается испусканием гамма-квантов с энергиями выше 3 МэВ.

В представляемой работе предлагается модель источника гамма-излучения в диапазоне энергий до 10 МэВ. Конструктивно источник представляет собой источник тепловых нейтронов и радиатор, в котором при взаимодействии с тепловыми нейтронами рождаются гамма-кванты. Для формирования пучка тепловых нейтронов использовалась установка УЭППН из состава ГЭТ-10-2023, в качестве радиатора – стальной диск диаметром 300 мм толщиной 15 мм.

Для оптимизации геометрии эксперимента с целью получения максимального выхода гамма-квантов было проведено моделирование с использованием программного пакета GEANT4. Построение геометрической модели производилось в программе FreeCAD с расширением GDML.

В результате моделирования получено оптимальное соотношение «дополнительный замедлитель-радиатор». Разработанная конструкция позволила максимизировать поток гамма-излучения. Приводятся результаты расчёта в сравнении с экспериментальными данными.

REFERENCE FIELD FOR CALIBRATION OF GAMMA SPECTROMETERS IN 0.06–10 MeV ENERGY RANGE

M. S. Epov, N. N. Moiseev

D. I. Mendeleyev Institute for Metrology, VNIIM, 190005, Russia, St. Petersburg,
Moskovsky pr., 19, phone: +7 812 251-7601, fax: +7 812 713-0114

Modern trends in nuclear instrumentation require the expansion of the energy range of the detected gamma radiation. Monoenergetic gamma radiation sources are used to calibrate spectrometers. The main problem is the absence of radionuclides, the decay of which is accompanied by the emission of gamma-rays with energies above 3 MeV.

This work presents a model of a gamma-ray source in the energy range up to 10 MeV. Thermal neutron capture on iron target was used to produce gamma rays with energy up to 10 MeV. Thermal neutron beam was generated by UEPPN (GET-10-2023) and a steel disk diameter 300 mm and thickness 15 mm was used as a target.

To optimize the geometry and obtaining the maximum yield of gamma rays the experiment was simulated by using the GEANT4 software package. The geometry was created in the FreeCAD program with the GDML extension.

As a result of the simulation, the optimal ratio "additional moderator-target" was obtained. The calculation results are presented in comparison with experimental data.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ

В. В. Варламов, А. И. Давыдов, В. Н. Орлин ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ФОТОЯДЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	6
V. V. Varlamov, A. I. Davydov, V. N. Orlin RELIABILITY OF PHOTONUCLEAR EXPERIMENTS RESULTS	6
Л. Н. Генералов, В. А. Жеребцов ОПТИКО-МОДЕЛЬНЫЙ КОД OptModel С УЧЁТОМ РЕЗОНАНСНОГО ВКЛАДА	7
L. N. Generalov, V. A. Zherebtsov OptModel OPTICAL MODEL PROGRAM CODE WITH RESONANCE PART	8
В. И. Жеребчевский, В. П. Кондратьев, В. В. Вечернин, Н. А. Мальцев, С. Ю. Торилов, В. В. Петров, Н. А. Прокофьев, С. Н. Белокурова, Е. О. Землин, И. И. Ерыгин КРЕМНИЕВЫЕ ДЕТЕКТОРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СВЕРХПЛОТНОЙ ЯДЕРНОЙ МАТЕРИИ НА УСКОРИТЕЛЬНО-НАКОПИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ NICA	9
V. Zherebchevsky, V. Kondratiev, V. Vechernin, N. Maltsev, S. Torilov, V. Petrov, N. Prokofiev, S. Belokurova, E. Zemlin, I. Erygin SILICON DETECTOR SYSTEMS FOR INVESTIGATIONS OF SUPERDENSE NUCLEAR MATTER AT THE NICA COLLIDER	10
С. Г. Кадменский КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ СПОНТАННОГО И ВЫНУЖДЕННОГО ДВОЙНОГО И ТРОЙНОГО ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР С ВЫЛЕТОМ ПРЕДРАЗРЫВНЫХ НУКЛОНОВ И ЛЕГКИХ ЯДЕР	10
S. G. Kadmsensky QUANTUM THEORY OF SPONTANEOUS AND STIMULATED BINARY AND TERNARY NUCLEAR FISSION WITH THE EJECTION OF PRESCISSON NUCLEONS AND LIGHT NUCLEI	11
Ф. Ф. Карпешин, А. Н. Пронин, Л. Ф. Витушкин МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ НА АЛЬФА-РАСПАД	12
F. F. Karpeshin, A. N. Pronin, L. F. Vitushkin METROLOGICAL SEARCH FOR THE EFFECT OF THE ELECTRON SCREENING ON THE ALPHA DECAY	12
Ф. Ф. Карпешин, В. Н. Кондратьев СТИМУЛИРОВАНИЕ БЕЗНЕЙТРИННОГО ДВОЙНОГО e -ЗАХВАТА ВНЕШНИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ	13
F. F. Karpeshin, V. N. Kondratiev EXTERNAL-RADIATION ASSISTANCE OF NEUTRINOLESS DOUBLE-ELECTRON CAPTURE	14

В. В. Мочалов (от имени сотрудничества СПАСЧАРМ) ИССЛЕДОВАНИЕ СПИНОВЫХ ЭФФЕКТОВ НА ЯДЕРНЫХ МИШЕНЯХ НА УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ У-70	15
V. Mochalov (on behalf of the SPASCHARM collaboration) INVESTIGATION OF SPIN EFFECTS ON NUCLEAR TARGETS AT THE U-70 ACCELERATOR COMPLEX	15
В. О. Нестеренко ВИХРЕВЫЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ В ЯДРАХ	16
V. O. Nesterenko VORTICAL EXCITATIONS IN NUCLEI	16
К. М. Подурец, Е. С. Коваленко, М. М. Мурашев, Е. Ю. Терещенко, Е. Б. Яцишина НЕЙТРОННО-СИНХРОТРОННАЯ ТОМОГРАФИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	17
K. M. Podurets, E. S. Kovalenko, M. M. Murashev, E. Yu. Tereshchenko, E. B. Yatsishina NEUTRON AND SYNCHROTRON TOMOGRAPHY FOR INVESTIGATION OF CULTURAL HERITAGE ARTEFACTS	18
В. И. Стегайлов, С. И. Тютюнников, О. В. Белов, М. С. Новиков, В. В. Кобец, С. П. Авдеев, Г. И. Смирнов, Д. Р. Дрноюн ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЯДЕР ПОЛУЧЕННЫХ В РЕАКЦИЯХ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НА УСКОРИТЕЛЯХ ОИЯИ МИШЕНЕЙ: ^{238}U , АКТИНИДОВ, ^{165}Ho И ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАСТМАССЫ	18
V. I. Stegailov, S. I. Tyutyunnikov, O. V. Belov, M. S. Novikov, V. V. Kobets, C. P. Avdeev, G. I. Smirnov, J. R. Drnoyan INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF NUCLEI OBTAINED IN REACTIONS DURING IRRADIATION AT JINR ACCELERATORS OF TARGETS: ^{238}U , ACTINIDES, ^{165}Ho AND SAMPLES OF HIGH-TEMPERATURE PLASTIC	19
С. И. Тютюнников, В. И. Стегайлов, О. В. Белов, С. П. Авдеев, В. Н. Кобец, Г. И. Смирнов ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИЙ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ $> 1\text{ГЭВ}$ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НА УСКОРИТЕЛЯХ ОИЯИ МИШЕНЕЙ ТЯЖЕЛЫХ ИЗОТОПОВ, АКТИНИДОВ И УРАНА ^{238}U С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОЯДЕРНЫХ СИСТЕМ (АДС-РЕАКТОРОВ)	19
S. I. Tyutyunnikov, V. I. Stegailov, O. V. Belov, S. P. Avdeev, V. V. Kobets, G. I. Smirnov INVESTIGATION OF REACTION PRODUCTS IN THE ENERGY RANGE $> 1\text{ GeV}$ WHEN IRRADIATING TARGETS OF HEAVY ISOTOPES, ACTINIDES AND URANIUM ^{238}U AT JINR ACCELERATORS IN ORDER TO CREATE ELECTRO-NUCLEAR SYSTEMS (ADS-REACTORS)	20
Ю. С. Цыганов, Д. Ибадуллаев, А. Н. Поляков, А. С. Подшибякин, А. А. Воинов, В. Б. Злоказов НОВЫЙ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС УСТАНОВКИ ГНС-2: РАБОТА В НИЗКОФОНОВОМ РЕЖИМЕ	21
Yu. S. Tsyganov, D. Ibadullayev, A. N. Polyakov, A. S. Podshibiakin, A. A. Voinov, V. B. Zlokazov NEW SPECTROMETRY COMPLEX OF THE DGFRS-2 SETUP: LOW BACKGROUND MODE OPERATION	21

А. П. Черняев, Е. Н. Лыкова, М. В. Желтоножская, В. В. Розанов, У. А. Близнюк, П. Ю. Борщеговская, Ф. Р. Студеникин СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ ДЛЯ РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ В МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА	22
A. P. Chernyaev, E. N. Lykova, M. V. Zheltonozhskaya, V. V. Rozanov, U. A. Bliznyuk, P. Yu. Borshchegovskaya, F. R. Studenikin THE SYSTEM OF TRAINING HIGHLY QUALIFIED PERSONNEL FOR RADIATION MEDICINE AT LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY	23
А. В. Юшков, М. Г. Иткис НОВАЯ РИМАНОВА ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА: ТЕОРИЯ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СЛЕДСТВИЯ	23
A. Yushkov, M. Itkis NEW RIEMANN NUCLEAR PHYSICS: THEORY AND FUNDAMENTAL CONSEQUENCES	24
А. В. Юшков, М. Г. Иткис СВЕРХТЯЖЕЛЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ФОРМАЛИЗМЕ РИМАНОВО- ЛОБАЧЕВСКОЙ ГЕОМЕТРИИ	25
A. Yushkov, M. Itkis SUPERHEAVY CHEMICAL ELEMENTS IN THE FORMALISM OF RIMANOV-LOBACHEV GEOMETRY	25
Секция 1. СВОЙСТВА АТОМНЫХ ЯДЕР (ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ)	
Н. Н. Арсеньев, А. П. Северюхин СВОЙСТВА НИЗКОЛЕЖАЩИХ 2+ СОСТОЯНИЙ В $^{132,136}\text{Te}$	28
N. N. Arsenyev, A. P. Severyukhin PROPERTIES OF LOW-LYING 2+ STATES IN $^{132,136}\text{Te}$	28
А. С. Бажин, В. В. Самарин ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЯДРА ^9Be В АЛЬФА-КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ МЕТОДОМ ГИПЕРСФЕРИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ	29
A. S. Bazhin, V. V. Samarin STUDY OF THE STRUCTURE OF THE ^9Be NUCLEUS IN THE ALPHA-CLUSTER MODEL BY HYPERSPHERICAL FUNCTIONS METHOD	30
Д. Ф. Байрамов, К. А. Стопани, Т. Ю. Третьякова ПОЛУЭМПИРИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПЕРИОДОВ ПОЛУРАСПАДА СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	31
D. F. Bayramov, K. A. Stopani, T. Yu. Tretyakova SEMI-EMPIRICAL FORMULAS FOR THE HALF-LIFE OF SUPERHEAVY ELEMENTS PREDICTIONS	32
О. В. Беспалова, А. А. Климочкина МАГИЧНОСТЬ ЯДЕР $^{52,54}\text{Ca}$ И РАДИУСЫ НЕЙТРОННЫХ ОРБИТ $1f_{7/2}$ И $2p_{3/2}$	32
O. V. Bepalova, A. A. Klimochkina MAGICITY OF $^{52,54}\text{Ca}$ NUCLEI AND RADII OF $1f_{7/2}$ AND $2p_{3/2}$ NEUTRON ORBITS	33

В. И. Бондаренко, М. Г. Урин ПОЛУМИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЗАРЯДОВО-ОБМЕННЫХ ГИГАНТСКИХ СПИН-ДИПОЛЬНЫХ РЕЗОНАНСОВ В СРЕДНЕТЯЖЕЛЫХ МАГИЧЕСКИХ МАТЕРИНСКИХ ЯДРАХ	34
V. I. Bondarenko, M. G. Urin A SEMI-MICROSCOPIC DESCRIPTION OF CHARGE-EXCHANGE GIANT SPIN-DIPOLE RESONANCES IN MEDIUM-HEAVY CLOSED-SHELL PARENT NUCLEI	35
И. Н. Борзов, И. В. Панов ГЛОБАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ БЕТА-РАСПАДА И ОБРАЗОВАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ...	36
I. N. Borzov, I. V. Panov GLOBAL BETA DECAY MODELS AND THE FORMATION OF HEAVY ELEMENTS.	36
И. Н. Борзов, С. С. Панкратов, С. В. Толоконников ФУНКЦИОНАЛ ФАЯНСА. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МОМЕНТЫ И РАДИУСЫ ЯДЕР ВБЛИЗИ НЕЙТРОННОЙ ОБОЛОЧКИ $N = 126$	37
I. N. Borzov, S. S. Pankratov, S. V. Tolokonnikov FAYANS FUNCTIONAL. NUCLEAR ELECTROMAGNETIC MOMENTS AND RADII NEAR $N = 126$ NEUTRON SHELL	38
В. Е. Бунаков ВОЗМОЖНЫЕ ПРЯМЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ	38
V. E. Bunakov POSSIBLE DIRECT PROCESSES IN HEAVY-ION COLLISIONS	39
П. И. Вишневский, В. О. Нестеренко, Я. Квасил, А. Репко, П.-Г. Реинхард НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПИНОВЫЕ И ОРБИТАЛЬНЫЕ $M1$ -ВОЗБУЖДЕНИЯ В ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДРАХ	39
P. I. Vishnevskiy, V. O. Nesterenko, J. Kvasil, A. Repko, P.-G. Reinhard LOW-ENERGY SPIN AND ORBITAL $M1$ EXCITATIONS IN DEFORMED NUCLEI	40
А. К. Власников, В. М. Михайлов, А. В. Лунев РАСЧЕТЫ СВОЙСТВ ^{148}Gd С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОЧНОГО И ПРИБЛИЖЕННОГО МЕТОДОВ, ОСНОВАННЫХ НА ГАМИЛЬТОНИАНЕ БКШ	40
A. K. Vlasnikov, V. M. Mikhajlov, A. V. Lunyov CALCULATIONS OF THE PROPERTIES OF ^{148}Gd USING EXACT AND APPROXIMATE METHODS BASED ON THE BCS HAMILTONIAN	41
М. Л. Горелик, Б. А. Тулупов, Ш. Шломо, М. Г. Урин О СВОЙСТВАХ ИЗОСКАЛЯРНЫХ ГИГАНТСКИХ МУЛЬТИПОЛЬНЫХ РЕЗОНАНСОВ В СРЕДНЕТЯЖЕЛЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЯДРАХ	42
M. L. Gorelik, S. Shlomo, B. A. Tulupov, M. H. Urin ON PROPERTIES OF ISOSCALAR GIANT MULTIPOLE RESONANCES IN MEDIUM-HEAVY SPHERICAL NUCLEI	43
А. С. Демьянова, А. Н. Данилов, В. И. Старостин АЛЬФА-КЛАСТЕРНЫЕ ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ В $4N$ ЯДРАХ	43
A. S. Demyanova, A. N. Danilov, V. I. Starostsin ALPHA-CLUSTER ROTATIONAL STATES IN $4N$ NUCLEI	44

Н. Буртебаев, А. С. Демьянова, С. Б. Сакута, Маржан Насурлла, Маулен Насурлла, В. С. Жданов, Д. К. Алимов, А. Н. Данилов, С. В. Дмитриев, В. И. Старостин, Д. А. Исаев ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЙ 6Li И 8Li В ПРОЦЕССАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЕЙТРОНОВ С ЯДРАМИ 7Li	45
N. Burtebayev, A. S. Demyanova, S. B. Sakuta, Marzhan Nassurlla, Maulen Nassurlla, V. S. Zhdanov, D. K. Alimov, A. N. Danilov, S. V. Dmitriev, V. I. Starastsin, D. A. Isaev STUDY OF STATES IN 6Li AND 8Li IN THE INTERACTIONS OF DEUTERONS WITH 7Li NUCLEI	45
В. В. Дьячков, Ю. А. Зарипова, А. В. Юшков КЛАССИФИКАЦИЯ ТОПОЛОГИЙ ПОВЕРХНОСТИ ЯДЕР В РАМКАХ НЕЕВКЛИДОВЫХ ГЕОМЕТРИЙ	46
V. Dyachkov, Yu. Zaripova, A. Yushkov CLASSIFICATION OF THE NUCLEAR SURFACE TOPOLOGIES IN THE FRAMEWORK OF NON-EUCLIDAN GEOMETRIES	47
В. В. Дьячков, Ю. А. Зарипова А. В. Юшков «НОЕВ КОВЧЕГ» ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ	48
A. Yushkov, V. Dyachkov, Yu. Zaripova "NOAH'S ARK" FOR CHEMICAL ELEMENTS	48
В. В. Дьячков, Ю. А. Зарипова, А. В. Юшков ОБОСНОВАНИЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ ВОСЬМИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ «ОСТРОВОВ СТАБИЛЬНОСТИ» В НОВОЙ ПАРАДИГМЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ-КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЯДЕР	49
V. Dyachkov, Yu. Zaripova, A. Yushkov JUSTIFICATION OF THE EXISTENCE OF EIGHT FUNDAMENTAL "ISLANDS OF STABILITY" IN THE NEW NUCLEAR CLUSTERING-CRYSTALLIZATION PARADIGM	50
В. В. Дьячков, М. Г. Иткис, Ю. А. Зарипова А. В. Юшков ЧЕТЫРЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ГРАНИЦЫ СУЩЕСТВОВАНИЯ СВЯЗАННЫХ СОСТОЯНИЙ ЯДЕР	51
M. Itkis, V. Dyachkov, Yu. Zaripova A. Yushkov FOUR FUNDAMENTAL LIMITS FOR THE EXISTENCE OF BOUND STATES OF NUCLEI ...	51
М. К. Ефименко, И. А. Мазур, А. М. Широков, А. И. Мазур, В. А. Куликов, И. Дж. Шин ТРИНЕЙТРОН В ПОДХОДЕ SS-HORSE–NCSM	52
M. K. Efimenko, I. A. Mazur, A. M. Shirokov, A. I. Mazur, V. A. Kulikov, I. J. Shin TRINEUTRON IN THE SS-HORSE–NCSM APPROACH	53
А. Д. Ефимов, И. Н. Изосимов МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИРАСТ-ПОЛОСЫ В 248Cm	54
A. D. Efimov, I. N. Izosimov MICROSCOPIC DESCRIPTION OF THE YRAST BAND 248Cm	55
Л. И. Галанина, Н. С. Зеленская ДВУХНЕЙТРОННАЯ ПЕРИФЕРИЯ ЯДРА $14\text{C}(\text{g. s.})$	56
L. I. Galanina, N. S. Zelenskaya TWO-NEUTRON PERIPHERY OF THE $14\text{C}(\text{g. s.})$ NUCLEUS	57

И. Н. Изосимов ОСОБЕННОСТИ БЕТА-РАСПАДА ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЯДЕР И К-ИЗОМЕРОВ	57
I. N. Izosimov FEATURES OF BETA DECAY OF EXOTIC NUCLEI AND K-ISOMERS	58
М. А. Ватутин, В. Н. Кауров, Е. С. Каурова, А. М. Шаймарданов, Е. А. Петрова ДОПОЛНЕНИЕ К КВАНТОВОМУ ОПИСАНИЮ ОБЪЕМОВ, ЗАНИМАЕМЫХ ЭЛЕКТРОНАМИ В АТОМАХ И НУКЛОНАМИ В ЯДРАХ	59
M. A. Vatutin, V. N. Kaurov, E. S. Kaurova, A. M. Shaimardanov, E. A. Petrova IN ADDITION TO THE QUANTUM DESCRIPTION OF THE VOLUMES OCCUPIED BY ELECTRONS IN ATOMS AND NUCLEONS IN NUCLEI	61
О. В. Беспалова, А. А. Климочкина, Д. Т. Талибджанов РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НУКЛОННОЙ ПЛОТНОСТИ ЧЕТНО-ЧЕТНЫХ ИЗОТОПОВ 48-78NI В ДИСПЕРСИОННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ	62
O. V. Bespalova, A. A. Klimochkina, J. T. Talibjanov NUCLEON DENSITY DISTRIBUTION OF EVEN-EVEN 48-78NI ISOTOPES IN THE DISPERSIVE OPTICAL MODEL	63
А. Д. Ефимов, И. В. Коваль, И. Н. Изосимов ЭНЕРГИЯ 2_1^+ , 4_1^+ , 6_1^+ СОСТОЯНИЙ В ТЯЖЕЛЫХ И СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЧЕТНЫХ-ЧЕТНЫХ ЯДРАХ.	64
A. D. Efimov, I. V. Koval, I. N. Izosimov ENERGY OF THE 2_1^+ , 4_1^+ , 6_1^+ STATES IN HEAVY AND SUPERHEAVY EVEN-EVEN NUCLEI	65
Р. В. Джолос, Е. А. Колганова, Л. А. Малов, Н. Ю. Ширикова ПРЕДСКАЗАНИЕ ЭНЕРГИЙ ВОЗБУЖДЕНИЙ 21+ СОСТОЯНИЙ НЕКОТОРЫХ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР	66
R. V. Jolos, E. A. Kolganova, L. A. Malov, N. Yu. Shirikova PREDICTIONS OF THE EXCITATION ENERGIES OF THE 21+ STATES FOR SOME SUPERHEAVY NUCLEI	66
А. А. Коробицин, Е. А. Колганова ИССЛЕДОВАНИЕ СИММЕТРИЧНЫХ И НЕСИММЕТРИЧНЫХ ТРЁХАТОМНЫХ СИСТЕМ АТОМОВ ГЕЛИЯ	67
A. A. Korobitsin, E. A. Kolganova INVESTIGATION OF THE SYMMETRIC AND ASYMMETRIC HELIUM THREE-ATOMIC SYSTEMS	68
П. В. Кудан ПРОТОН-ПИОННАЯ МОДЕЛЬ НЕЙТРОНА И ЯДРА	68
P. V. Kudan THE PROTON-PION MODEL OF NEUTRON AND NUCLEUS	69
В. А. Куликов, И. А. Мазур, А. И. Мазур, А. М. Широков, I. J. Shin, Y. Kim, P. Maris, J. P. Vary ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ЯДРА ^9Li МЕТОДОМ SS-HORSE–NCSM	70
V. A. Kulikov, I. A. Mazur, A. I. Mazur, A. M. Shirokov, I. J. Shin, Y. Kim, P. Maris, J. P. Vary THEORETICAL STUDY OF ^9Li SPECTRUM USING THE SS-HORSE–NCSM APPROACH ...	70

A. И. Мазур, И. А. Мазур, А. М. Широков, В. А. Куликов, I. J. Shin, Y. Kim, P. Maris, J. P. Vary РЕЗОНАНСНЫЕ СОСТОЯНИЯ ЯДРА ^7He В ПОДХОДЕ SS-HORSE–NCSM	71
A. I. Mazur, I. A. Mazur, A. M. Shirokov, V. A. Kulikov, I. J. Shin, Y. Kim, P. Maris, J. P. Vary ^7He NUCLEUS RESONANT STATES IN THE SS-HORSE–NCSM APPROACH	72
О. И. Картавец, А. В. Малых ЗАВИСИМОСТЬ ЭНЕРГИЙ СВЯЗИ ТРЕХ ЧАСТИЦ С КОНТАКТНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ОТ МАСС	72
O. I. Kartavtsev, A. V. Malykh MASS DEPENDENCE OF ENERGIES FOR THREE PARTICLES WITH CONTACT INTERACTIONS	73
Е. В. Мардыбан, Е. А. Колганова, Т. М. Шнейдман, Р. В. Джолос СТАБИЛИЗАЦИЯ ОКТУПОЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ТЯЖЕЛЫХ И СВЕРХТЯЖЕЛЫХ АТОМНЫХ ЯДРАХ	74
E. V. Mardyban, E. A. Kolganova, T. M. Shneidman, R. V. Jolos STABILIZATION OF OCTUPOLE DEFORMATION IN HEAVY AND SUPERHEAVY NUCLEI	74
М. А. Мардыбан, В. О. Нестеренко, П.-Г. Рейнхард, А. Репко, Я. Квасил ПОВЕДЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ В СИЛЬНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДРАХ ^{24}Mg И ^{20}Ne	75
Mardyban, V. O. Nesterenko, P.-G. Reinhard, A. Repko, J. Kvasil BEHAVIOR OF MOMENT OF INERTIA IN HIGHLY DEFORMED ^{24}Mg AND ^{20}Ne M. A. ...	75
А. К. Мотовилов ОПТИМАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ НА СКОРОСТЬ ЭВОЛЮЦИИ ПОДПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ В СЛУЧАЕ ПОТЕНЦИАЛА, ЗАВИСЯЩЕГО ОТ ВРЕМЕНИ	76
A. K. Motovilov OPTIMAL BOUNDS ON THE EVOLUTION SPEED OF A STATE SUBSPACE IN THE CASE OF POTENTIAL DEPENDING ON TIME	76
В. Г. Плеханов ПРЯМОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НЕЙТРОН – ЭЛЕКТРОННОЙ ЭНЕРГИИ СВЯЗИ ОТ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ НУКЛОНАМИ	77
V. G. Plekhanov DIRECT OBSERVATION OF THE DEPENDENCE OF THE NEUTRON - ELECTRON BINDING ENERGY ON THE DISTANCE BETWEEN NUCLEONS	77
Д. М. Родкин, Ю. М. Чувильский ПРИМЕНЕНИЕ АВ ИНИТИО ПОДХОДОВ К РАСЧЕТУ ПАРЦИАЛЬНЫХ ШИРИН РАСПАДА РЕЗОНАНСНЫХ СОСТОЯНИЙ ЛЕГКИХ ЯДЕР И СЕЧЕНИЙ РЕЗОНАНСНЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ	78
D. M. Rodkin, Yu. M. Tchuvil'sky APPLICATION OF AB INITIO APPROACHES TO THE CALCULATION OF PARTIAL DECAY WIDTHS OF RESONANT STATES OF LIGHT NUCLEI AND CROSS SECTIONS OF RESONANT NUCLEAR REACTIONS	79

О. А. Рубцова, В. Н. Померанцев УЧЕТ НЕНУКЛЕОННЫХ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ В ЯДЕРНОЙ МАТЕРИИ	80
O. A. Rubtsova, V. N. Pomerantsev ACCOUNT OF NON-NUCLEONIC DEGREES OF FREEDOM IN NUCLEAR MATTER	80
А. А. Соколов, П. О. Казинский ИНДУЦИРОВАНИЕ МУЛЬТИПОЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ В ЯДРАХ ЗАКРУЧЕННЫМИ ФОТОНАМИ	81
A. A. Sokolov, P. O. Kazinski EXCITATION OF MULTIPOLAR TRANSITIONS IN NUCLEI BY TWISTED PHOTONS	82
К. А. Стопани, Т. Ю. Третьякова, А. П. Ивлева, Д. Ф. Байрамов ГЕНЕРАЦИЯ МАССОВЫХ ТАБЛИЦ НА ОСНОВЕ РАЗНОСТНЫХ СООТНОШЕНИЙ ЭНЕРГИЙ СВЯЗИ ЯДЕР	82
K. A. Stopani, T. Yu. Tretyakova, A. P. Ivleva, D. F. Bayramov CALCULATION OF MASS TABLES BASED ON DIFFERENCE RELATIONS OF NUCLEAR BINDING ENERGIES	83
Ю. Б. Гуров, В. Г. Сандуковский, М. В. Телькушев, Б. А. Чернышев ВЫСОКОВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ НЕЙТРОННО-ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗОТОПОВ ЛЕГКИХ ЯДЕР	84
Yu. B. Gurov, V. G. Sandukovsky, M. V. Tel'kushev, B. A. Chernyshev HIGH-EXCITED STATES OF NEUTRON-RICH ISOTOPES OF LIGHT NUCLEI	85
Р. Э. Шарыпов, А. М. Широков, А. И. Мазур, А. О. Белозёров, И. Дж. Шин ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В РАСЧЕТАХ AB INITIO СВОЙСТВ ЯДЕР	85
A. M. Shirokov, A. I. Mazur, R. E. Sharypov, A. O. Belozеров, I. J. Shin MACHINE LEARNING FOR AB INITIO CALCULATIONS OF NUCLEAR STRUCTURE	86
М. И. Шитов, С. П. Камерджиев, С. В. Толоконников, В. И. Целяев САМОСОГЛАСОВАННЫЕ РАСЧЕТЫ E1 ПЕРЕХОДОВ ИЗ ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ В ДВУХ-ФОНОННОЕ В ИЗОТОПАХ ОЛОВА	86
M. I. Shitov, S. P. Kamerdzhev, S. V. Tolokonnikov, V. I. Tselyaev SELF-CONSISTENT CALCULATIONS OF THE PROBABILITIES OF E1 TRANSITIONS FROM THE GROUND STATE TO THE TWO-PHONON STATE IN TIN ISOTOPES	87
В. А. Градусов, С. Л. Яковлев ЭФФЕКТ НАВЕДЕННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПРИ РАССЕЯНИИ ЭЛЕКТРОНОВ НА ВОДОРОДЕ	87
V. A. Gradusov, S. L. Yakovlev EFFECT OF INDUCED POLARIZATION IN SCATTERING OF ELECTRONS ON HYDROGEN	88
Секция 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ	
А. К. Ажибеков ОПИСАНИЕ НЕЙТРОННЫХ ПЕРЕДАЧ В РЕАКЦИИ $^{48}\text{Ca}+^{197}\text{Au}$ ПРИ ЭНЕРГИИ 270 МэВ В РАМКАХ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПОДХОДА	90
A. K. Azhibekov TIME-DEPENDENT DESCRIPTION OF NEUTRON TRANSFERS IN THE $^{48}\text{Ca}+^{197}\text{Au}$ REACTION AT ENERGY OF 270 MeV	90

А. В. Алексеев, Н. А. Крутько ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ NDX2	91
A. V. Alekseev, N. A. Krutko NDX2 INFORMATION AND REFERENCE SYSTEM OF NUCLEAR PHYSICS DATA	92
Л. Д. Блохинцев, Д. А. Савин ОПРЕДЕЛЕНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКИХ НОРМИРОВОЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПУТЕМ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРОДОЛЖЕНИЯ R-МАТРИЦЫ	92
L. D. Blokhintsev, D. A. Savin DETERMINATION OF ASYMPTOTIC NORMALIZATION COEFFICIENTS BY ANALYTIC CONTINUATION OF THE R-MATRIX	93
Л. Н. Генералов, И. А. Карпов ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ РЕАКЦИЙ $^9\text{Be}(d,xt)$ МЕТОДОМ ВТОРИЧНОЙ АКТИВАЦИИ	93
L. N. Generalov, I. A. Karpov MEASUREMENT OF $^9\text{Be}(d,xt)$ REACTION TOTAL CROSS SECTIONS BY SECONDARY ACTIVATION METHOD	94
Д. Н. Грозданов, Н. А. Федоров, Ю. Н. Копач, В. Р. Ской, Т. Ю. Третьякова, К. Храмко, И. Н. Русков, Г. Ахмедов, Д. Бериков, А. В. Андреев, В. К. Ионкин, П. Г. Филончик и коллаборация TANGRA ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ НЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 14,1 МэВ, РАССЕЯННЫХ НА ЯДРАХ УГЛЕРОДА	95
D. N. Grozdanov, N. A. Fedorov, Yu. N. Kopatch, V. R. Skoy, T. Yu. Tretyakova, C. Hramco, I. N. Ruskov, G. Akhmedov, D. Berikov, A. V. Andreev, V. K. Ionkin, P. G. Filonchik and TANGRA collaboration MEASURING THE ANGULAR DISTRIBUTIONS OF 14.1 MeV NEUTRONS SCATTERING ON CARBON NUCLEI	96
Ю. Б. Гуров, С. А. Евсеев, С. В. Розов, В. Г. Сандуковский, Б. А. Чернышев ОБРАЗОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ПИОНОВ В “ЖИВОЙ” КРЕМНИЕВОЙ МИШЕНИ	96
Yu. B. Gurov, S. A. Evseev, S. V. Rozov, V. G. Sandukovsky, B. A. Chernyshev PRODUCTION OF COMPLICATED PARTICLES DURING THE ABSORPTION OF NEGATIVE PIONS IN A “LIVE” SILICON TARGET	97
А. И. Давыдов, В. В. Варламов НОВЫЕ СЕЧЕНИЯ ФОТОНЕЙТРОННЫХ РЕАКЦИЙ, ОЦЕНЕННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЗИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ДОСТОВЕРНОСТИ	97
A. I. Davydov, V. V. Varlamov NEW PHOTONEUTRON REACTION CROSS SECTIONS EVALUATED USING PHYSICAL RELIABILITY CRITERIA	98
Л. З. Джилавян, С. С. Бельшев, В. В. Варламов, А. А. Кузнецов, А. М. Лапик, А. Л. Полонский, А. В. Русаков, В. И. Шведун К АКТИВАЦИОННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ НА γ -ПУЧКАХ ОТ ОБРАТНОГО КОМПТОНОВСКОГО РАССЕЙЯНИЯ ПРИ $E_\gamma \lesssim 40$ МэВ	99

L. Z. Dzhilavyan, S. S. Belyshev, V. V. Varlamov, A. A. Kuznetsov, A. M. Lapik, A. L. Polonski, A. V. Rusakov, V. I. Shvedunov TO ACTIVATION STUDIES OF PHOTONUCLEAR REACTIONS ON γ -BEAMS FROM BACKWARD COMPTON SCATTERING AT $E_\gamma \lesssim 40$ MeV	99
Л. З. Джилавян, А. М. Лапик, С. С. Бельшев, В. В. Варламов, А. А. Кузнецов, А. Л. Полонский, А. В. Русаков, В. И. Шведун О РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ НЕЙТРОНОВ ИЗ (γ, n) -РЕАКЦИЙ ПО ЭНЕРГИИ И УГЛАМ НА γ -ПУЧКАХ ОТ ОБРАТНОГО КОМПТОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ ПРИ $E_\gamma \lesssim 40$ МэВ	100
A. M. Lapik, L. Z. Dzhilavyan, S. S. Belyshev, V. V. Varlamov, A. A. Kuznetsov, A. L. Polonski, A. V. Rusakov, V. I. Shvedunov ON DISTRIBUTIONS OF NEUTRONS FROM (γ, n) -REACTIONS IN ENERGY AND ANGLES ON γ -BEAMS FROM BACKWARD COMPTON SCATTERING AT $E_\gamma \lesssim 40$ MeV	101
Л. З. Джилавян, С. С. Бельшев, А. И. Карев, А. М. Лапик, А. Л. Полонский, В. Н. Пономарёв, А. В. Русаков, А. А. Туринге, В. В. Ханкин ⁴ РЕГИСТРАЦИЯ β -ЧАСТИЦ ОТ ^{12}B -РАСПАДОВ ТЕЛЕСКОПАМИ ΔE -ДЕТЕКТОРОВ МЕЖДУ ИМПУЛЬСАМИ УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ	101
L. Z. Dzhilavyan, S. S. Belyshev, A. I. Karev, A. M. Lapik, A. L. Polonski, V. N. Ponomarev, A. V. Rusakov, A. A. Turinge, V. V. Khankin REGISTRATION OF β -PARTICLES FROM ^{12}B -DECAYS BY ΔE -DETECTOR TELESCOPES BETWEEN PULSES OF THE ELECTRON ACCELERATOR	102
С. Г. Кадменский, Д. Е. Любашевский, А. А. Писклюков ОЦЕНКА МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ ФРАГМЕНТОВ ДВОЙНОГО ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР	103
S. G. Kadmensky, D. E. Lyubashevsky, A. A. Pisklyukov ESTIMATION OF THE MOMENTS OF INERTIA OF FRAGMENTS OF DOUBLE NUCLEAR FISSION	103
С. Г. Кадменский, Д. Е. Любашевский, Д. С. Степанов СПИНОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФРАГМЕНТОВ ДВОЙНОГО ДЕЛЕНИЯ АТОМНЫХ ЯДЕР С УЧЕТОМ BENDING- И WRIGGLING-КОЛЕБАНИЙ	104
S. G. Kadmensky, D. E. Lyubashevsky, D. S. Stepanov SPIN DISTRIBUTION OF FRAGMENTS OF DOUBLE FISSION OF ATOMIC NUCLEI WITH BENDING AND WRIGGLING OSCILLATIONS TAKEN INTO ACCOUNT	105
С. Г. Кадменский, Д. Е. Любашевский, А. А. Писклюков, Д. С. Степанов УГЛОВЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ СПИНОВ ФРАГМЕНТОВ ДВОЙНОГО ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР	106
S. G. Kadmensky, D. E. Lyubashevsky, A. A. Pisklyukov, D. S. Stepanov ANGULAR CORRELATIONS OF THE SPINS OF FRAGMENTS OF NUCLEAR DOUBLE FISSION	106
А. А. Каспаров, М. В. Мордовской, А. А. Афонин, Д. Г. Цветкович МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ $n p$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РЕАКЦИИ nd -РАЗВАЛА ПРИ ЭНЕРГИИ НЕЙТРОНОВ 5 МэВ	107
A. A. Kasparov, M. V. Mordovskoy, A. A. Afonin, D. G. Tsvetkovich MODELING AND SELECTION OF THE OPTIMAL EXPERIMENT CONDITIONS TO DETERMINE THE LOW-ENERGY PARAMETERS OF THE np -INTERACTION IN THE nd -BREAKUP REACTION AT A NEUTRON ENERGY OF 5 MeV	108

А. Когоутова, А. М. Родин, Л. Крупа, Й. Пехоушек, П. Когоут, Е. В. Чернышева, А. В. Гуляев, А. В. Гуляева, Я. Климан, А. Б. Комаров, Х. Ю. Куркова, А. Махер, С. Новоселов, А. Опихал, А. В. Подшибякин, В. С. Саламатин, С. В. Степанцов, В. Ю. Веденеев, С. А. Юхимчук МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИОГЕННОЙ ГАЗОВОЙ ИОННОЙ ЛОВУШКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	109
A. Kohoutova, L. Krupa, A. M. Rodin, E. V. Chernysheva, A. V. Gulyaev, A. V. Gulyaeva, J. Kliman, P. Kohout, A. B. Komarov, N. Yu. Kurkova, A. Maheer, A. S. Novoselov, A. Opichal, J. Pechousek, V. S. Salamatin, S. V. Stepantsov, A. V. Podshibyakin, V. Yu. Vedeneev, S. A. Yukhimchuk SIMULATION OF A CRYOGENIC GAS STOPPING CELL DESIGNED TO STUDY THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SUPERHEAVY ELEMENTS	110
Ю. В. Волчихина, Д. М. Гордеева, А. А. Зырянова, В. В. Кольцов, И. М. Русских, В. А. Яковлев О ВОЗМОЖНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СРАВНЕНИЯ ИЗОМЕРНОГО ОТНОШЕНИЯ ДЛЯ ЯДЕР ^{186}Re ПРИ РАДИАЦИОННОМ ЗАХВАТЕ РЕАКТОРНЫХ ТЕПЛОВЫХ И НАДТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ ПРИРОДНЫМ РЕНИЕМ	111
Yu. V. Volchikhina, D. M. Gordeeva, A. A. Zyryanova, V. V. Koltsov, I. M. Russkikh, V. A. Yakovlev ON THE POSSIBILITY OF EXPERIMENTAL COMPARISON OF THE ISOMER RATIO FOR ^{186}Re NUCLEI IN THE RADIATIVE CAPTURE OF REACTOR THERMAL AND EPITHERMAL NEUTRONS BY NATURAL RHENIUM	111
В. В. Кольцов О РЕЗОНАНСЕ ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЯДЕР ЗА СЧЕТ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЕРЕХОДОВ ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ АТОМОВ В ПЛАЗМЕ	112
V. V. Koltsov ON RESONANCE FOR NUCLEAR EXCITATION BY ATOMIC ELECTRON TRANSITIONS DURING COLLISIONS OF ATOMS IN A PLASMA	113
П. В. Кострюков ОПИСАНИЕ ДИНАМИКИ ДЕЛЕНИЯ ЧЕТНО-НЕЧЕТНЫХ ЯДЕР АКТИНИДОВ	113
P. V. Kostryukov THE DESCRIPTION OF FISSION DYNAMICS OF THE EVEN-ODD ACTINIDE-NUCLEI	114
А. А. Кузнецова, А. И. Свирихин, А. В. Ерёмин, А. Г. Попеко, А. В. Исаев, О. Н. Малышев, Ю. А. Попов, В. И. Чепигин, М. Л. Челноков, И. Н. Изосимов, Е. А. Сокол, М. С. Тезекбаева, Б. Сайлаубеков и Р. С. Мухин ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РАСПАДА НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ($A < 232$) ИЗОТОПОВ ПЛУТОНИЯ, ПОЛУЧАЕМЫХ В РЕАКЦИИ ПОЛНОГО СЛИЯНИЯ $^{26}\text{Mg} + ^{208}\text{Pb}$	115
A. A. Kuznetsova, A. I. Svirikhin, A. V. Yeremin, A. G. Popeko, A. V. Isaev, O. N. Malyshev, Yu. A. Popov, V. I. Chepigin, M. L. Chelnokov, I. N. Izosimov, E. A. Sokol, M. S. Tezekbayeva, B. S. Sailaubekov and R. S. Mukhin THE STUDY OF DECAY PROPERTIES OF NEUTRON-DEFICIENT ($A < 232$) ISOTOPES OF PLUTONIUM PRODUCED IN A COMPLETE FUSION REACTION OF $^{26}\text{Mg} + ^{208}\text{Pb}$	115
Л. С. Кузнецова, М. А. Науменко, В. В. Самарин, А. С. Бажин ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ МЕДЛЕННЫХ НЕЙТРОНОВ НА АТОМНЫХ ЯДРАХ	116

L. S. Kuznetsova, M. A. Naumenko, V. V. Samarin, A. S. Bazhin THEORETICAL STUDY OF RESONANCE ELASTIC SCATTERING OF SLOW NEUTRONS ON ATOMIC NUCLEI	117
М. А. Мартемьянов, Б. М. Абрамов, Ю. А. Бородин, С. А. Булычев, И. А. Духовской, А. П. Крутенкова, В. В. Куликов, А. А. Куликовская, М. А. Мацюк, Е. Н. Турдакина А – ЗАВИСИМОСТЬ ВЫХОДА ^{12}B В ЗАРЯДОВО-ОБМЕННОЙ РЕАКЦИИ (^{12}C , ^{12}B)	118
М. А. Martemianov, B. M. Abramov, Yu. A. Borodin, S. A. Bulychjov, I. A. Dukhovskoy, A. P. Krutenkova, V. V. Kulikov, A. A. Kulikovskaya, M. A. Matsyuk, E. N. Turdakina А – DEPENDENCE OF THE ^{12}B YIELD IN CHARGE-EXCHANGE REACTION (^{12}C , ^{12}B) ...	118
В. М. Маслов АНИЗОТРОПИЯ СПЕКТРОВ МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ $^{232}\text{Th}(n, F)$ И $^{238}\text{U}(n, F)$	119
V. M. Maslov ANGULAR ANISOTROPY OF PRE-FISSION NEUTRONS IN $^{232}\text{Th}(n, F)$ AND $^{238}\text{U}(n, F)$	120
В. М. Маслов МГНОВЕННЫЕ НЕЙТРОНЫ И ТКЕ ДЛЯ $^{238-}, ^{239-}, ^{240-}, ^{241-}, ^{242-}\text{Pu}(n, f)$	122
V. M. Maslov PROMPT FISSION NEUTRON SPECTRA AND TKE OF $^{238-}, ^{239-}, ^{240-}, ^{241-}, ^{242-}\text{Pu}(n, f)$	123
Т. И. Михайлова, Б. Эрдэмчимэг ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ИЗОТОПНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ВПЕРЕД ЛЕТЯЩИХ ФРАГМЕНТОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ ЯДЕР ВБЛИЗИ ЭНЕРГИИ ФЕРМИ	124
T. I. Mikhailova, B. Erdemchimeg CALCULATION CHARACTERISTICS OF ISOTOPE DISTRIBUTIONS OF FRAGMENTS MOVING IN BEAM DIRECTION OBTAINED IN NUCLEAR COLLISIONS AT FERMI ENERGIES	124
В. В. Мицук, А. А. Каспаров, М. В. Мордовской, В. М. Лебедев, А. В. Спасский МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОТОН-ПРОТОННЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ В РЕАКЦИИ $d + ^1\text{H} \rightarrow p + p + n$	125
V. V. Mitsuk, A. A. Kasparov, M. V. Mordovskoy, V. M. Lebedev, A. V. Spassky SIMULATION AND ANALYSIS OF PRELIMINARY DATA OF THE EXPERIMENT TO STUDY PROTON-PROTON CORRELATIONS IN THE $d + ^1\text{H} \rightarrow p + p + n$ REACTION	126
М. В. Мордовской, А. А. Каспаров, А. А. Афонин, Ю. М. Бурмистров, В. П. Заварзина, В. В. Мицук, С. И. Поташев, И. В. Суркова УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ВЫСОКОВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ЛЕГКИХ ЯДЕР	126
М. В. Mordovskoy, A. A. Kasparov, A. A. Afonin, Yu. M. Burmistrov, V. P. Zavarzina, S. I. Potashev, V. V. Mitcuk, I. V. Surkova SETUP FOR STUDYING THE PROPERTIES OF HIGHLY EXCITED STATES OF LIGHT NUCLEI	127
Л. Н. Генералов, В. А. Жеребцов, А. В. Морозова, С. М. Селянкина, С. М. Таова ОПТИКО-МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ДЕЙТРОНА НА ЯДРЕ ^{16}O С УЧЕТОМ РЕЗОНАНСНОГО ВКЛАДА	127

L. N. Generalov, V. A. Zherebtsov, A. V. Morozova, S. M. Selyankina, S. M. Taova OPTICAL MODEL ANALYSIS OF DEUTERON ELASTIC SCATTERING ON ^{16}O NUCLEI WITH REGARD TO RESONANCE CONTRIBUTION	128
В. В. Варламов, А. И. Давыдов, И. А. Мостаков, В. Н. Орлин ФОТОНЕЙТРОННЫЕ РЕАКЦИИ НА ЯДРАХ ^{51}V И ^{59}Co В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ТОРМОЗНЫМ γ -ИЗЛУЧЕНИЕМ	129
V. V. Varlamov, A. I. Davydov, I. A. Mostakov, V. N. Orlin PHOTONEUTRON REACTIONS ON ^{51}V and ^{59}Co IN EXPERIMENTS WITH BREMSSTRAHLUNG	130
В. В. Самарин, М. А. Науменко, С. М. Лукьянов, В. А. Маслов, Ю. Э. Пенионжкевич ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ НУКЛОННЫХ ПЕРЕДАЧ В РЕАКЦИЯХ $^{40,48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au}$ И $^{18}\text{O} + ^{181}\text{Ta}$, ^{197}Au	130
V. V. Samarin, M. A. Naumenko, S. M. Lukyanov, V. A. Maslov, Yu. E. Penionzhkevich STUDY OF NUCLEON TRANSFER PROCESSES IN THE REACTIONS $^{40,48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au}$ AND $^{18}\text{O} + ^{181}\text{Ta}$, ^{197}Au	131
В. В. Самарин, М. А. Науменко, Ю. Э. Пенионжкевич, Ю. Г. Соболев, С. С. Стукалов ПРОЯВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ ГАЛО И СКИНА В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ С ИЗОТОПАМИ Li и Be	132
V. V. Samarin, M. A. Naumenko, Yu. E. Penionzhkevich, Yu. G. Sobolev, S. S. Stukalov MANIFESTATION OF HALO AND SKIN STRUCTURES IN NUCLEAR REACTIONS WITH Li and Be ISOTOPES	133
В. И. Кудряшов, М. С. Онегин АНАЛИЗ ВОЗБУЖДЕНИЯ НИЗКОЛЕЖАЩИХ УРОВНЕЙ В ЯДРАХ $^{54,56}\text{Fe}$ ПРИ НЕУПРУГОМ РАССЕЯНИИ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 16 МэВ ...	133
V. I. Kudriashov, M. S. Onegin ANALYSIS OF LOW ENERGY EXCITATIONS IN $^{54,56}\text{Fe}$ NUCLEI BY INELASTIC SCATTERING OF 16 MEV POLARISED PROTONS	134
М. С. Онегин АНАЛИЗ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПРОТОНОВ НА ЯДРЕ ^{56}Fe	135
M. S. Onegin ANALYSIS OF INELASTIC POLARIZED PROTON SCATTERING ON ^{56}Fe	135
С. Р. Палванов, А. Х. Иноят, С. Ашуров, Д. И. Тоймуродов, А. А. Тоймурадов, Б. И. Курбонов, О. Тожибоев, Г. С. Палванова ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОМЕРНЫХ ОТНОШЕНИЙ В РЕАКЦИЯХ (γ, n) , $(n, 2n)$ И (n, γ) НА ЯДРАХ $^{85,87}\text{Rb}$	136
S. R. Palvanov, A. H. Inoyatov, S. Ashurov, D. I. To'yumurodov, A. A. To'yumuradov, B. I. Kurbonov, O. Tojiboev, G. S. Palvanova INVESTIGATION OF ISOMER RATIOS IN THE REACTIONS (γ, n) , $(n, 2n)$ AND (n, γ) ON $^{85,87}\text{Rb}$ NUCLEI	137
Г. В. Пампушик, Н. А. Фёдоров ПРИМЕНЕНИЕ БИБЛИОТЕКИ TalysLib ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ РЕАКЦИЙ РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ НА ЯДРАХ ^{28}Si И ^{32}S	138

G. V. Pampushik, N. A. Fedorov APPLYING TalysLib LIBRARY FOR OPTIMIZATION OF OPTICAL POTENTIAL PARAMETERS FOR NEUTRON SCATTERING ON ^{28}Si AND ^{32}S	138
П. С. Прусаченко, Т. Л. Бобровский, М. В. Боховко, А. Ф. Гурбич ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ $^{13}\text{C}(\alpha, \alpha_0)^{13}\text{C}$ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ 2.0-7.0 МэВ	138
P. S. Prusachenko, T. L. Bobrovskiy, M. V. Bokhovko, A. F. Gurbich THE MEASUREMENTS OF THE $^{13}\text{C}(\alpha, \alpha_0)^{13}\text{C}$ REACTION CROSS-SECTION IN THE ENERGY RANGE OF 2.0–7.0 MeV	139
F. A. Rasulova, R. A. Aliev, S. S. Belyshev, D. L. Demin, S. A. Evseev, N. J. Fursova, V. V. Khankin, J. H. Khushvaktov, V. V. Kobets, A. A. Kuznetsov, S. V. Rozov, E. T. Ruziev, T. N. Tran, E. A. Yakushev, B. S. Yuldashev МНОГОЧАСТИЧНЫЕ РЕАКЦИИ $^{76}\text{Se}(\gamma, \text{xnyp})$, ИНДУЦИРОВАННЫЕ С КОНЕЧНЫМИ ЭНЕРГИЯМИ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 20–80 МэВ	139
F. A. Rasulova, R. A. Aliev, S. S. Belyshev, D. L. Demin, S. A. Evseev, N. J. Fursova, V. V. Khankin, J. H. Khushvaktov, V. V. Kobets, A. A. Kuznetsov, S. V. Rozov, E. T. Ruziev, T. N. Tran, E. A. Yakushev, B. S. Yuldashev MULTIPARTICLE $^{76}\text{Se}(\gamma, \text{xnyp})$ REACTIONS INDUCED WITH BREMSSTRAHLUNG END-POINT ENERGIES OF 20-80 MeV	140
F. A. Rasulova, R. A. Aliev, S. S. Belyshev, N. J. Fursova, V. V. Khankin, A. A. Kuznetsov МНОГОЧАСТИЧНЫЕ РЕАКЦИИ $^{88}\text{Sr}(\gamma, \text{xnyp})$, ИНДУЦИРОВАННЫЕ С КОНЕЧНОЙ ЭНЕРГИЕЙ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 55 МэВ	140
F. A. Rasulova, R. A. Aliev, S. S. Belyshev, N. J. Fursova, V. V. Khankin, A. A. Kuznetsov MULTIPARTICLE $^{88}\text{Sr}(\gamma, \text{xnyp})$ REACTIONS INDUCED WITH BREMSSTRAHLUNG END-POINT ENERGY OF 55 MeV	141
С. Б. Сакута, Маулен Нассурлла, Н. Буртебаев, С. В. Артемов, К. Русек, Маржан Нассурлла, Ф. Эргашев, А. Сабидолда, Р. Ходжаев, И. Б. Муханов, Е. Пясецки, Ш. Хамада ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ $^{11}\text{B}(^{10}\text{B}, ^9\text{Be})^{12}\text{C}$ ПРИ ЭНЕРГИИ 41.3 МэВ	141
Maulen Nassurlla, N. Burtebayev, S. B. Sakuta, S. V. Artemov, K. Rusek, Marzhan Nassurlla, F. Ergashev, A. Sabidolda, R. Khodjaev, Y. B. Mukanov, E. Piasecki, Sh. Hamada INVESTIGATION OF THE $^{11}\text{B}(^{10}\text{B}, ^9\text{Be})^{12}\text{C}$ REACTION AT AN ENERGY OF 41.3 MeV	142
Л. Н. Генералов, В. А. Жеребцов, С. М. Селянкина ОПТИКО-МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНА И ПРОТОНА НА ЯДРЕ ^6Li С УЧЁТОМ РЕЗОНАНСНОГО ВКЛАДА	142
L. N. Generalov, V. A. Zherebtsov, S. M. Selyankina OPTICAL MODEL ANALYSIS OF NEUTRON AND PROTON ELASTIC SCATTERING ON ^6Li NUCLEI WITH RESONANCE CONTRIBUTION.	143
Л. Н. Генералов, В. А. Жеребцов, С. М. Селянкина СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ $^{19}\text{F}(\text{d}, \text{t})^{18}\text{F}$	144
L. N. Generalov, V. A. Zherebtsov, S. M. Selyankina $^{19}\text{F}(\text{d}, \text{t})^{18}\text{F}$ REACTION CROSS SECTIONS	145
О. В. Сидорова, Ш. Зейналов ОЦЕНКА ДОЛИ КРОСС-ТОЛКОВ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОНОВ В ДЕТЕКТОРЕ МНОЖЕСТВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ (МНД)	146

O. V. Sidorova, Sh. Zeynalov CROSS-TALK RATE ESTIMATION USING COMPUTER SIMULATION OF PFN DETECTOR	146
A. С. Соловьев ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ ЯДЕР ДЕЙТЕРИЯ	146
A. S. Solovyev THEORETICAL STUDY OF THE DEUTEON + DEUTERON RADIATIVE CAPTURE	147
С. С. Стукалов, Ю. Г. Соболев, Ю. Э. Пенионжкевич, В. В. Самарин ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ РЕАКЦИЙ С ЯДРАМИ У ГРАНИЦЫ НУКЛОННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ С ПОМОЩЬЮ 4П-СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА.	147
S. S. Stukalov, Yu. G. Sobolev, Yu. E. Penionzhkevich, V. V. Samarin MEASUREMENTS OF THE TOTAL CROSS SECTIONS FOR REACTIONS WITH NUCLEI NEAR THE NUCLEON STABILITY BOUNDARY USING A 4PI SCINTILLATION SPECTROMETER	148
D. Bajpai, L. Baudis, B. B. Белов, E. Bossio, T.E. Cocolios, H. Ejiri, M. B. Фомина, I. H. Hashim, M. Heines, K. H. Гусев, С. В. Казарцев, A. Knecht, E. Mondragon, Ng Zheng Wei, I. Ostrovskiy, F. Othman, G. Rodrigues Araujo, H. С. Румянцева, S. Schönert, M. Schwarz, E. A. Шевчик, M. B. Ширченко, Ю. А. Шитов, J. Suhonen, E. O. Сушенок, S. M. Vogiatzi, C. Wiesinger, И. В. Житников, Д. Р. Зинатулина ЭКСПЕРИМЕНТ MONUMENT: ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАХВАТА МЮОНОВ АТОМНЫМИ ЯДРАМИ	149
D. Bajpai, L. Baudis, V. V. Belov, E. Bossio, T. E. Cocolios, H. Ejiri, M. V. Fomina, I. H. Hashim, M. Heines, K. N. Gusev, S. V. Kazartsev, A. Knecht, E. Mondragon, Ng Zheng Wei, I. Ostrovskiy, F. Othman, G. Rodrigues Araujo, N. S. Rumyantseva, S. Schönert, M. Schwarz, E. A. Shevchik, M. V. Shirchenko, Yu. A. Shitov, J. Suhonen, E. O. Sushenok, S. M. Vogiatzi, C. Wiesinger, I. V. Zhitnikov, D. R. Zinatulina MONUMENT: MUON ORDINARY CAPTURE FOR THE NUCLEAR MATRIX ELEMENTS ...	150
С. Г. Кадменский, Л. В. Титова, Я. О. Отводенко, Е. С. Петрыкина НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТРОЙНОЕ ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР-АКТИНИДОВ С ВЫЛЕТОМ НУКЛОНОВ И ЛЕГКИХ ЯДЕР	151
L. V. Titova, S. G. Kadmsky, Ya. O. Otvoidenko, E. S. Petrykina LOW-ENERGY TERNARY FISSION OF ACTNIDES WICH NUCLEONS AND LIGHT CHARGED PARTICLES EMISSION	151
М. Н. Платонова, Н. Т. Турсунбаев, Ю. Н. Узиков РАССЕЯНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЯДЕР ^3He НА ТЕНЗОРНО-ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ДЕЙТРОНАХ И ПРОВЕРКА Т-ИНВАРИАНТНОСТИ	152
M. N. Platonova, N. T. Tursunbayev, Yu. N. Uzikov SCATTERING OF POLARIZED ^3He NUCLEI ON TENSOR-POLARIZED DEUTERONS AND TEST OF T-INVARIANCE	153
A. В. Унжакова, Ю. В. Иванский ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В МУЛЬТИМОДАЛЬНОМ ДЕЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР	154
A. V. Unzhakova, Y. V. Ivansky DYNAMICAL MODELLING OF CLUSTERING IN MULTIMODAL HEAVY NUCLEI FISSION	154

Н. А. Федоров, Д. Н. Грозданов, Ю. Н. Копач, В. Р. Ской, Т. Ю. Третьякова, К. Храмко, И. Н. Русков, Г. Ахмедов, Д. Бериков, А. В. Андреев, П. Г. Филончик и коллаборация “TANGRA” ВЫХОДЫ γ -КВАНТОВ, ИСПУСКАЕМЫХ КАЛЬЦИЕМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 14.1 МэВ	155
N. A. Fedorov, D. N. Grozdanov, Yu. N. Kopatch, V. R. Skoy, T. Yu. Tretyakova, K. Hramco, I. N. Ruskov, G. Akhmedov, D. Berikov, A. V. Andreev, P. G. Filonchik and “TANGRA” collaboration YIELDS OF γ -QUANTA EMITTED BY CALCIUM DURING 14.1 MeV NEUTRONS IRRADIATION	156
Т. А. Хромылева, В. В. Кетлеров, Н. Н. Титаренко, О. Г. Томилов, В. А. Хрячков ИЗУЧЕНИЕ СЕЧЕНИЯ $^{54,57}\text{Fe}(n,\alpha)^{51,54}\text{Cr}$ РЕАКЦИЙ ПРИ ЭНЕРГИЯХ НЕЙТРОНОВ ОТ 4,3 до 7,0 МэВ	156
T. A. Khromyleva, V. V. Ketlerov, N. N. Titarenko, O. G. Tomilov, V. A. Khryachkov STUDY OF THE CROSS SECTION OF $^{54,57}\text{Fe}(n,\alpha)^{51,54}\text{Cr}$ REACTIONS AT NEUTRON ENERGIES FROM 4.3 TO 7.0 MeV	157
В. А. Хрячков, В. В. Кетлеров, Н. Н. Титаренко, О. Г. Томилов, Т. А. Хромылева ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ В СЕЧЕНИИ РЕАКЦИИ $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$	157
Khryachkov V., Ketlerov V., Titarenko N., Tomilov O., Khromyleva T. EXPERIMENTAL STUDY OF THE FINE STRUCTURE IN THE REACTION CROSS SECTION $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$	157
J. N. Khushvaktov, D. L. Demin, S. A. Evseev, V. V. Kobets, F. A. Rasulova, S. V. Rozov, E. T. Ruziev, A. A. Solnyshkin, V. I. Stegailov, T. N. Tran, E. A. Yakushev, B. S. Yuldashev INTERACTION OF PHOTONS WITH SILVER AND INDIUM NUCLEI AT ENERGIES UP TO 20 MeV	158
Д. А. Юсюк, М. В. Желтоножская, А. П. Черняев ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ НА ИЗОТОПАХ КАЛЬЦИЯ	158
D. A. Yussyuk, M. V. Zheltonozhskaya, A. P. Chernyaev STUDY OF PHOTONUCLEAR REACTIONS ON CALCIUM ISOTOPES	159
Секция 3. ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ, ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ, НЕЙТРИННАЯ ФИЗИКА, АСТРОФИЗИКА	
Н. Ю. Агафонова, А. С. Мальгин† АНАЛИТИЧЕСКАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫХОДА НЕЙТРОНОВ, ГЕНЕРИРОВАННЫХ МЮОНАМИ В РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВАХ	162
N. Yu. Agafonova, A. S. Malgin† ANALYTICAL FORMULA FOR CALCULATION OF THE YIELD OF NEUTRONS GENERATED BY MUONS IN VARIOUS SUBSTANCES	162
Н. Ю. Агафонова, А. С. Мальгин† О ПРОИСХОЖДЕНИИ СИГНАЛОВ В ГРАВИТАЦИОННЫХ АНТЕННАХ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ 23 ФЕВРАЛЯ 1987	163
N. Yu. Agafonova, A. S. Malgin† ON THE ORIGIN OF SIGNALS IN GRAVITY ANTENNA REGISTERED ON FEBRUARY 23, 1987	164

Е. В. Банников, А. Я. Бердников, Я. А. Бердников, Д. О. Котов, Ю. М. Митранков, М. М. Митранкова, Д. М. Ларионова, А. Д. Селезенев ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ПОТОКА π^0 МЕЗОНОВ ОТ ПОПЕРЕЧНОГО ИМПУЛЬСА В СТОЛКНОВЕНИЯХ Cu+Au ПРИ ЭНЕРГИИ 200 ГэВ	165
E. V. Bannikov ¹ , A. Ya. Berdnikov, Ya. A. Berdnikov, D. O. Kotov, Yu. M. Mitrankov, M. M. Mitrankova, D. M. Larionova, A. D. Selezenev DEPENDENCE OF THE ELLIPTIC FLOW FOR π^0 MESONS ON THE TRANSVERSE MOMENTUM IN Cu+Au COLLISIONS AT 200 GeV	165
Ф. Ф. Валиев*, В. В. Вечернин, Г. А. Феофилов ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА НУКЛОНОВ–СПЕКТАТОРОВ ПО ЭНЕРГИИ, РЕГИСТРИРУЕМОЙ В КАЛОРИМЕТРЕ В А+А СТОЛКНОВЕНИЯХ	166
F. F. Valiev*, V. V. Vechernin, G. A. Feofilov ESTIMATION OF THE ACCURACY OF DETERMINING THE NUMBER OF NUCLEON-SPECTATORS FROM THE ENERGY REGISTERED IN THE CALORIMETER IN A+A COLLISIONS	167
В. В. Волков, Ф. Ф. Губер, М. Б. Голубева, А. И. Махнев, М. В. Мамаев, С. В. Морозов ИЗМЕРЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ФРАГМЕНТОВ-СПЕКТАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ СТЕНКИ В СЕАНСЕ Xe+CsI ПРИ 3.8 AGEV ЭКСПЕРИМЕНТА BM@N	167
V. V. Volkov, F. F. Guber, M. B. Golubeva, A. I. Makhnev, M. V. Mamaev, S. V. Morozov CHARGED FRAGMENTS-SPECTATORS MEASUREMENTS WITH BM@N SCINTILLATION WALL IN Xe+CsI at 3.8 AGEV RUN	168
А. С. Галоян, В. В. Ужинский ВОЗМОЖНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВУХ-ЧАСТИЧНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ ПО ПОПЕРЕЧНОМУ ИМПУЛЬСУ В ПРОТОН-ПРОТОННЫХ И ДЕЙТРОН-ДЕЙТРОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИЯХ NICA	168
A. S. Galoyan, V. V. Uzhinsky POSSIBLE STUDY OF 2-PARTICLE TRANSVERSE MOMENTUM CORRELATIONS IN PROTON-PROTON AND DEUTERON-DEUTERON INTERACTIONS AT NICA ENERGIES	168
А. В. Дербин за коллаборацию Борекино РЕГИСТРАЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ CNO НЕЙТРИНО В ЭКСПЕРИМЕНТЕ БОРЕКСИНО	169
A. Derbin for the Borexino collaboration MEASUREMENT OF SOLAR CNO NEUTRINOS IN THE BOREXINO EXPERIMENT	169
А. Т. Дьяченко ОБ ОБНАРУЖЕНИИ НОВЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ДАННЫХ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ...	169
A. T. D'yachenko ON DETECTION OF NEW PARTICLES FROM COSMIC RAY DATA	170
А. Т. Дьяченко ОПИСАНИЕ ЭМИССИИ КУМУЛЯТИВНЫХ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ В СТОЛКНОВЕНИЯХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЙ НА ОСНОВЕ НЕРАВНОВЕСНОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДХОДА	171

A. T. D'yachenko DESCRIPTION OF THE EMISSION OF CUMULATIVE SECONDARY PARTICLES IN COLLISIONS OF HEAVY IONS OF INTERMEDIATE ENERGIES BASED ON THE NON-EQUILIBRIUM HYDRODYNAMIC APPROACH	172
A. Т. Дьяченко УРАВНЕНИЕ КЛЕЙНА-ГОРДОНА, УРАВНЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ГИДРОДИНАМИКИ И КВАНТОВЫЕ УДАРНЫЕ ВОЛНЫ ПРИ ОПИСАНИИ СТОЛКНОВЕНИЙ АТОМНЫХ ЯДЕР	172
A. T. D'yachenko KLEIN-GORDON EQUATION, EQUATIONS OF RELATIVISTIC HYDRODYNAMICS AND QUANTUM SHOCK WAVES IN THE DESCRIPTION OF COLLISIONS OF ATOMIC NUCLEI	173
A. П. Звягина, Е. В. Андронов МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИЙ ПОПЕРЕЧНОГО ИМПУЛЬСА И МНОЖЕСТВЕННОСТИ В ДИАПАЗОНЕ NICA И SPS В ЯДРО-ЯДЕРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ	174
A. P. Zviagina, E. V. Andronov MODEL ANALYSIS OF THE TRANSVERSE MOMENTUM AND MULTIPLICITY CORRELATIONS IN THE NICA AND SPS RANGE IN NUCLEUS-NUCLEAR COLLISIONS ...	175
A. А. Зубанков ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТОТИПА ВЫСОКОГРАНУЛИРОВАННОГО НЕЙТРОННОГО ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО ДЕТЕКТОРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА BM@N	176
A. Zubankov PERFORMANCE OF HIGH GRANULAR NEUTRON TIME-OF-FLIGHT DETECTOR PROTOTYPE FOR THE BM@N EXPERIMENT	176
Д. М. Идрисов СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОСТИ, ОСНОВАННЫХ НА ТЕОРЕМЕ БАЙЕСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОЖЕСТВЕННОСТИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И ЭНЕРГИИ НУКЛЕОНОВ СПЕКТАТОРОВ	176
D. M. Idrisov COMPARISON CENTRALITY DETERMINATION METHOD BASED ON BAYESIAN APPROACH USING MULTIPLICITY OF CHARGED PARTICLES AND ENERGY OF SPECTATORS	177
A. В. Известный, Ф. Ф. Губер, М. Б. Голубева, С. В. Морозов, Н. М. Карпушкин, А. А. Зубанков ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕДНИХ ДЕТЕКТОРОВ СПЕКТАТОРОВ ЭКСПЕРИМЕНТА БАРИОННАЯ МАТЕРИЯ НА НУКЛОТРОНЕ	178
A. Izvestnyy, F. Guber, M. Golubeva, S. Morozov, N. Karpushkin, A. Zubankov PERFORMANCE OF THE BARYONIC MATTER AT NUCLOTRON FORWARD SPECTATORS DETECTORS	179
A. П. Власенко, С. В. Ингерман, В. В. Синев НОВЫЕ СПЕКТРЫ АНТИНЕЙТРИНО УРАНА И ПЛУТОНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТА DOUBLE CHOOZ	179
S. V. Ingerman, V. V. Sinev, A. P. Vlasenko NEW ANTINEUTRINO SPECTRA OF URANIUM AND PLUTONIUM OBTAINED FROM THE DOUBLE CHOOZ EXPERIMENT	180

Н. М. Карпушкин, Ф. Ф. Губер, Д. Д. Ляпин, А. И. Махнев, С. В. Морозов, Д. В. Серебряков РАЗРАБОТКА МЕТОДА ТОТ ДЛЯ ВЫСОКО-ГРАНУЛИРОВАННОГО ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ BM@N	181
N. M. Karpushkin, F. F. Guber, D. D. Liapin, A. I. Maknev, S. V. Morozov, D. V. Serebryakov TOT METHOD DEVELOPMENT FOR THE BM@N HIGH-GRANULAR NEUTRON DETECTOR	181
В. Н. Коваленко, В. В. Петров МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО НЕСОХРАНЕНИЯ ЧЕТНОСТИ В СИЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ В РЕЛЯТИВИСТСКИХ СТОЛКНОВЕНИЯХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ	181
V. N. Kovalenko, V. V. Petrov MODELING OF LOCAL STRONG PARITY NON-CONSERVATION EFFECTS IN RELATIVISTIC HEAVY-ION COLLISIONS	182
В. Н. Кондратьев НАМАГНИЧЕННЫЕ ЯДРА В R-ПРОЦЕССЕ	183
V. N. Kondratyev MAGNETIZED NUCLEI IN R-PROCESS	183
В. Н. Кондратьев НЕЙТРИНО МАГНИТОРОТАЦИОННЫХ СВЕРХНОВЫХ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЧЕРЕНКОВСКИМИ ДЕТЕКТОРАМИ	184
V. N. Kondratyev NEUTRINOS FROM MAGNETOROTATIONAL SUPERNOVAE AND PROSPECTS FOR THEIR OBSERVATIONS BY CHERENKOV DETECTORS	184
А. В. Абрамов, А. С. Чепурнов, Д. Чмыхало, А. В. Этенко, М. Б. Громов, А. В. Константинов, Д. С. Кузнецов, Е. А. Литвинович, Г. А. Лукьянченко, И. Н. Мачулин, А. Е. Мурченко, А. М. Немерюк, Р. Р. Нугманов, А. Ю. Оралбаев, Д. В. Попов, А. А. Растимешин, С. В. Сухотин, И. Н. Жутиков СТАБИЛЬНОСТЬ ОТКЛИКА ДЕТЕКТОРА НЕЙТРИНО IDREAM НА КАЛИНИНСКОЙ АЭС	185
A. Abramov, A. Chepurnov, D. Chmyhalo, A. Etenko, M. Gromov, A. Konstantinov, D. Kuznetsov, E. Litvinovich, G. Lukyanchenko, A. Murchenko, I. Machulin, A. Nemeryuk, R. Nugmanov, A. Oralbaev, D. Popov, A. Rastimeshin, S. Sukhotin, I. Zhutikov STABILITY OF THE IDREAM NEUTRINO DETECTOR'S RESPONSE AT KALININ NUCLEAR POWER PLANT	186
Ю. В. Коровина, В. Н. Кондратьев МЯГКИЕ ГАММА-ВСПЛЕСКИ ОТ МАГНИТАРОВ	186
Yu. V. Korovina, V. N. Kondratyev SOFT GAMMA-RAY (SGR) BURSTS FROM MAGNETARS	187
А. Краева (от коллаборации STAR) ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА ИСПУСКАНИЯ ПИОНОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ Au+Au ПРИ $\sqrt{s_{NN}} = 3$ ГэВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ STAR	188
A. Kraeva (for the STAR Collaboration) ESTIMATION OF PION EMISSION SOURCE CHARACTERISTICS IN Au+Au COLLISIONS AT $\sqrt{s_{NN}} = 3$ GeV IN THE STAR EXPERIMENT	188

A. В. Лубашевский от коллаборации nuGeN РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА NUGEN ПО ПОИСКУ КОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ РЕАКТОРНЫХ АНТИНЕЙТРИНО И ДРУГИХ РЕДКИХ ПРОЦЕССОВ	189
A. V. Lubashevskiy for the nuGeN collaboration RESULTS OF THE NUGEN EXPERIMENT ON SEARCH FOR COHERENT ELASTIC REACTOR ANTINEUTRINO-NUCLEUS SCATTERING AND OTHER RARE PROCESSES	189
М. В. Малаев, В. Г. Рябов ИЗМЕРЕНИЕ АДРОНОВ С ОТКРЫТЫМ ОЧАРОВАНИЕМ В ДЕТЕКТОРЕ ALICE-3 НА LHC-HL	190
M. V. Malaev, V. G. Riabov PROBING OPEN CHARM PRODUCTION WITH ALICE-3 DETECTOR AT LHC-HL	191
А. И. Махнёв РАЗРАБОТКА ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ И ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА BM@N	191
A. I. Makhnev DEVELOPMENT OF A HIGH GRANULAR NEUTRON TIME-OF-FLIGHT DETECTOR FOR THE BM@N EXPERIMENT	191
С. А. Михеев, Д. Е. Ланской, С. В. Сидоров, Т. Ю. Третьякова НАРУШЕНИЕ ЗАРЯДОВОЙ СИММЕТРИИ ДЛЯ Λ -ГИПЕРОНА В ГИПЕРЯДРАХ И НЕЙТРОННЫХ ЗВЁЗДАХ	192
S. A. Mikheev, D. E. Lanskooy, S. V. Sidorov, T. Yu. Tretyakova CHARGE SYMMETRY BREAKINF FOR Λ -HYPERON IN HYPERNUCLEI AND NEUTRON STARS	192
С. В. Морозов ПЕРЕДНИЙ АДРОННЫЙ КАЛОРИМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ЯДРО-ЯДЕРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ NA61/SHINE	193
S. V. Morozov FORWARD HADRON CALORIMETER FOR MEASURING GEOMETRY OF NUCLEUS-NUCLEUS COLLISIONS AT NA61/SHINE EXPERIMENTS	193
В. Н. Муратова ПОИСКИ РЕЗОНАНСНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ АКСИОНОВ АТОМНЫМИ ЯДРАМИ	194
V. Muratova SEARCHES FOR THE RESONANT ABSORPTION OF SOLAR AXIONS BY ATOMIC NUCLEI	194
Судхир Пандуранг Роде за сотрудничество MPD СТАТУС ЭКСПЕРИМЕНТА MPD В NICA	194
Sudhir Pandurang Rode for the MPD collaboration STATUS OF THE MPD EXPERIMENT AT NICA	195
В. А. Плотников от имени коллаборации BM@N ПРОИЗВОДСТВО π^+ И K^+ МЕЗОНОВ В АРГОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ ПУЧКА 3.2 АГэВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ BM@N НА НУКЛОТРОНЕ	195

V. A. Plotnikov for the BM@N Collaboration PRODUCTION OF π^+ AND K^+ MESONS IN ARGON-NUCLEUS INTERACTIONS AT 3.2 AGeV IN THE BM@N EXPERIMENT AT THE NUCLOTRON	195
Р. К. Барак, С. П. Мерц ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГИПЕРОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ BM@N	196
R. Barak, S. P. Merts 2 STUDYING THE POSSIBILITY OF HYPERON RECONSTRUCTION IN THE BM@N EXPERIMENT	197
R. García Formentí, A. Ayala, E. Cuautle, R. Guzmán, W. Bietenholz PROTON AND KAON CUMULANT RATIOS AS FUNCTIONS OF COLLISION ENERGY IN RELATIVISTIC HEAVY-ION COLLISIONS	199
И. В. Сегаль, Д. М. Идрисов, П. Е. Парфенов, А. В. Тараненко, М. В. Мамаев для Коллаборации BM@N МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОСТИ СТОЛКНОВЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ BM@N	199
I. Segal, D. Idrisov, P. Parfenov, A. Taranenko, M. Mamaev for the BM@N Collaboration METHODS FOR CENTRALITY DETERMINATION IN HEAVY-ION COLLISIONS WITH THE BM@N EXPERIMENT	200
А. Д. Селезенев, Е. В. Банников, М. М. Митранкова, А. Я. Бердников, Я. А. Бердников, Д. О. Котов, Д. М. Ларионова, Ю. М. Митранков ВЫЧИСЛЕНИЕ ФАКТОРОВ ЯДЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ЭТА-МЕЗОНОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ He+Au ПРИ ЭНЕРГИИ 200 ГэВ	200
A. D. Selezenev, E. V. Bannikov, M. M. Mitrankova, A. Ya. Berdnikov, Ya. A. Berdnikov, D. O. Kotov, D. M. Larionova, Yu. M. Mitrankov CALCULATION OF NUCLEAR MODIFICATION FACTORS OF ETA-MESONS IN He+Au COLLISIONS AT 200 GeV	201
С. В. Семенов, Р. У. Хафизов ЗАХВАТ ПРОТОНАМИ ЭЛЕКТРОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ	201
S. V. Semenov, R. U. Khafizov CAPTURE OF PROTONS BY HIGH-ENERGY ELECTRONS	202
С. В. Семенов СЕЧЕНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ НЕЙТРИНО ЯДРАМИ ^{100}Mo	202
S. V. Semenov CROSS SECTION OF NEUTRINO ABSORPTION BY ^{100}Mo NUCLEI	203
С. И. Середняков НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВРЕМЕНИПОДОБНЫМ ФОРМФАКТОРАМ НЕЙТРОНА И ПРОТОНА В ПОРОГОВОЙ ОБЛАСТИ	203
S. I. Serednyakov NEW DATA ON THE ELECTROMAGNETIC TIMELIKE FORMFACTORS OF THE NEUTRON AND PROTON IN THE THRESHOLD REGION	204
В. В. Тарасов для коллабораций PrimEx-D и GlueX СТАТУС ЭКСПЕРИМЕНТА PRIMEX-D ПО ПРЕЦИЗИОННОМУ ИЗМЕРЕНИЮ ШИРИНЫ РАСПАДА $\eta \rightarrow \gamma\gamma$	204

V. V. Tarasov for PrimEx-D and GlueX collaborations STATUS REPORT OF THE PrimEx-D EXPERIMENT AT JEFFERSON LAB ON PRECISION MEASUREMENTS OF THE $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ DECAY WIDTH	205
В. В. Трошин СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА НАПРАВЛЕННОГО И ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ПОТОКА ДЛЯ BIBI@9.2 ГЭВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ MPD	205
V. Troshin METHODS COMPARISON FOR DIRECTED AND ELLIPTICAL FLOW ANALYSIS FOR BIBI@9.2 GEV WITH THE MPD EXPERIMENT	205
В. В. Ужинский, А. С. Галоян ОПИСАНИЕ ПОСЛЕДНИХ ДАННЫХ HADES КОЛЛАБОРАЦИИ О ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ π -МЕЗОНОВ С ЯДРАМИ С И W ПРИ ЭНЕРГИИ 1.7 ГэВ В МОДЕЛЯХ Geant4	206
V. V. Uzhinsky, A. S. Galoyan DESCRIPTION OF THE LATEST DATA BY THE HADES COLLABORATION ON π -MESON INTERACTIONS WITH C AND W NUCLEI AT THE ENERGY 1.7 GeV IN GEANT4 MODELS	206
Ю. С. Лютостанский, А. Н. Фазлиахметов, Б. К. Лубсандоржиев, Н. А. Белогорцева, Г. А. Коротеев, А. Ю. Лютостанский, В. Н. Тихонов ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО С ЯДРАМИ ТЕЛЛУРА 128 И 130	207
Yu. S. Lutostansky, A. N. Fazliakhmetov, B. K. Lubsandorzhiev, N. A. Belogortseva, G. A. Koroteev, A. Yu. Lutostansky, V. N. Tikhonov INTERACTION OF SOLAR NEUTRINOS WITH TELLURIUM 128 AND 130 NUCLEI	208
М. Н. Дубинин, Е. Ю. Федотова КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ ДЛЯ МЕХАНИЗМА КАЧЕЛЕЙ ТИПА I НЕМИНИМАЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ РАСШИРЕНИЯ СМ ТРЕМЯ ПОКОЛЕНИЯМИ ПРАВЫХ НЕЙТРИНО	209
M. N. Dubinin, E. Yu. Fedotova COSMOLOGICAL CONSEQUENCES FOR THE NON-MINIMAL APPROXIMATION OF TYPE-I SEESAW IN THE SM EXTENSION BY THREE GENERATIONS OF RIGHT-HANDED NEUTRINOS	209
М. Н. Дубинин, Е. Ю. Федотова НАРУШЕНИЕ СР-ИНВАРИАНТНОСТИ В ПРЕДЕЛЕ НАСТРОЙКИ СВЯЗЕЙ ХИГГСОВСКОГО СЕКТОРА ДДМ И МССМ	210
M. N. Dubinin, E. Yu. Fedotova CP VIOLATION IN THE HIGGS ALIGNMENT LIMIT OF THE THDM AND MSSM	211
В. В. Хрущев, С. В. Фомичев ЭФФЕКТЫ ЛЕГКИХ СТЕРИЛЬНЫХ НЕЙТРИНО В ПРОЦЕССАХ С УЧАСТИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ И МЮОННЫХ НЕЙТРИНО	211
V. V. Khrushchov, S. V. Fomichev LIGHT STERILE NEUTRINOS EFFECTS IN PROCESSES WITH ELECTRON AND MUON NEUTRINOS	212
А. А. Щепкин, А. В. Иванчик ВЛИЯНИЕ ЛЕПТОННОЙ АСИММЕТРИИ И СТЕРИЛЬНЫХ НЕЙТРИНО НА ПЕРВИЧНЫЙ НУКЛЕОСИНТЕЗ	213

A. A. Shchepkin, A. V. Ivanchik THE EFFECTS OF LEPTON ASYMMETRY AND STERILE NEUTRINOS ON THE BIG BANG NUCLEOSYNTHESIS	213
Секция 4. РАДИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ	
Д. А. Аверьянов, Д. С. Блау ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ КАЛОРИМЕТРИИ	216
D. A. Averyanov, D. S. Blau APPLICATION OF NEW INORGANIC SCINTILLATORS FOR ELECTROMAGNETIC CALORIMETRY	216
А. В. Андреев и коллаборация "TANGRA" МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УГЛЕРОДА В ПОЧВЕ	217
A. V. Andreev and "TANGRA" collaboration SIMULATION OF A SETUP FOR CARBON ANALYSIS OF SOIL SAMPLE	217
М. Р. Андреев, М. А. Долгополов, В. М. Вахтель ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗОВОГО ПОЛЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ КОМПТОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ	218
M. R. Andreev, M. A. Dolgoplov, V. M. Vakhtel FORMATION OF GAMMA RADIATION DOSE FIELD USING THE METHOD OF COMPTON SCATTERING	218
С. Н. Апасов, В. М. Вахтель, М. И. Ляшенко, Д. Е. Костомаха ДЕТЕКТОР ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ НА ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ.	219
S. N. Apasov, V. M. Vakhtel, M. I. Lyashenko, D. E. Kostomakha GAMMA RADIATION DETECTOR WITH RADIATION SOURCE INDICATION CAPABILITIES	220
Б. А. Бакиров НОВЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НЕЙТРОННОЙ ТОМОГРАФИИ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	221
B. A. Bakirov NEW ALGORITHMS FOR PROCESSING NEUTRON TOMOGRAPHY DATA BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS	221
Т. Л. Бобровский, М. В. Боховко, А. Ф. Гурбич, П. С. Прусаченко ИЗМЕРЕНИЕ ПРОФИЛЯ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНОВ ПРОТОННЫМ ПУЧКОМ ...	222
T. L. Bobrovsky, M. V. Bokhovko, A. F. Gurbich, P. S. Prusachenko MEASUREMENT OF IMPLANTED IONS DISTRIBUTION BY A PROTON BEAM	223
Э. Н. Братишка, А. А. Городнов, А. А. Жирунов, М. С. Ефремов, А. Д. Решетняк, А. О. Пергаев, Е. В. Рыбакова УПРАВЛЕНИЕ РЕГИСТРАЦИЕЙ ПРОТОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАДИОГРАФИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА УСКОРИТЕЛЕ У-70	223
E. N. Bratishka, A. A. Gorodnov, A. A. Zhirunov, M. S. Efremov, A. D. Reshetnyak, A. O. Pergaev, E. V. Rybakova PROTON IMAGE REGISTRATION CONTROL DURING RADIOGRAPHIC EXPERIMENTS ON ACCELERATOR U-70	224

И. С. Бредихин РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОИСКА И ИДЕНТИФИКАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ НУКЛИДОВ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	225
I. S. Bredikhin DEVELOPMENT OF A SOFTWARE/HARDWARE INSTRUMENTATION FOR THE SEARCH AND IDENTIFICATION OF GAMMA-EMITTING NUCLIDES BASED ON MACHINE LEARNING	226
В. М. Вахтель, Д. Е. Костомаха, В. А. Работкин АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ ВЕКТОРОВ МЕТОДОМ КОМПЛЕКСНЫХ МОМЕНТОВ	227
V. M. Vahtel, D. E. Kostomakha, V. A. Rabotkin ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF RANDOM DISCRETE VECTORS BY THE METHOD OF COMPLEX MOMENTS	227
А. В. Вдовин, А. А. Гунбина, А. М. Красильников, М. А. Мансфельд, М. А. Маркина, К. В. Минеев, Е. Л. Певзнер, М. А. Тарасов, Н. В. Тятюшкин, А. Н. Черников, В. С. Эдельман, В. Ф. Вдовин РАЗРАБОТКА КРИОСТАТА ДЛЯ РАДИАЦИОННЫХ ТЕСТОВ ПРИЕМНИКОВ СУБТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ	228
A. V. Vdovin, A. A. Gunbina, A. M. Krasilnikov, M. A. Mansfeld, M. A. Markina, K. V. Mineev, E. L. Pevzner, M. A. Tarasov, N. V. Tyatyushkin, A. N. Chernikov, V. S. Edelman, V. F. Vdovin DEVELOPMENT OF A Crystat THE RADIATION TESTS OF SUBTERAHERTZ RECEIVERS	229
И. С. Вершинин, А. В. Долгополов, В. В. Гаганов МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО СОСТАВЛЯЮЩИХ АМПЛИТУДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ДЕТЕКТОРЕ ПРОТОНОВ ОТДАЧИ	230
I. S. Vershinin, A. V. Dolgoplov, V. V. Gaganov MONTE-CARLO METHOD SIMULATION OF AMPLITUDE DISTRIBUTION COMPONENTS IN PROTON RECOIL DETECTOR	230
О. П. Вихлянцев, Н. В. Завьялов, Л. Н. Генералов, А. В. Курякин, И. А. Карпов, Н. Е. Гурин, А. Д. Тумкин, С. В. Фильчагин, Д. С. Дроздова ШЕСТИДЕТЕКТОРНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С РАЗДЕЛЕНИЕМ ИХ ВИДА МЕТОДОМ ΔE-E	231
O. P. Vikhlyantsev, N. V. Zavyalov, L. N. Generalov, A. V. Kuryakin, I. A. Karpov, N. Ye. Gurin, A. D. Tumkin, C. V. Fil'chagin, D. S. Drozdova SIX-DETECTOR SPECTROMETER OF CHARGED PARTICLES WITH THEIR TYPE SEPARATION BY METHOD ΔE-E	231
М. Э. Бузоверя, И. А. Карпов, А. Ю. Архипов, Г. Е. Гаврилов, А. А. Дзюба, О. Е. Маев, М. В. Суясова ПОИСК ТОЧЕЧНЫХ ЭМИССИОННЫХ ЦЕНТРОВ МЕТОДАМИ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ НА КАТОДЕ МНОГОВОЛОЧНОЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ КАМЕРЫ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТА НА БАК	232
M. E. Buzoverya, I. A. Karpov, A. Yu. Arkhipov, G. E. Gavrilov, A. A. Dzyuba, O. E. Maev, M. V. Suyasova SEARCH FOR THE CENTERS OF POINT EMISSION BY ATOMIC FORCE MICROSCOPY AT THE CATHODE OF A MULTIWIRE PROPORTIONAL CHAMBER FROM THE EXPERIMENT AT THE LHC	233

О. А. Горелова, А. В. Грунин, А. Н. Залялов, К. Н. Ковшов, С. А. Лазарев, А. Г. Малькин, М. С. Миронов, Н. К. Миронов ДЕТЕКТОРЫ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАССЕЙВАТЕЛЕМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ И ВЫСОКОДОЗНЫХ ПОЛЕЙ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	234
O. A. Gorelova, A. V. Grunin, A. N. Zalyalov, K. N. Kovshov, S. A. Lazarev, A. G. Mal'kin, M. S. Mironov, N. K. Mironov DETECTORS WITH DIELECTRIC SCATTERER FOR CHARACTERISTICS MEASURING OF HIGH-INTENSITY AND HIGH-DOSE BREMSSTRAHLUNG FIELDS	234
И. И. Дегтярев, Ф. Н. Новосколыцев, О. А. Ляшенко, Р. Ю. Синюков, Д. А. Цветков, А. Р. Селезнева МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРВИЧНЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АДРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКИХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЙ	235
I. I. Degtyarev, F. N. Novoskoltsev, O. A. Liashenko, R. Yu. Sinyukov, D. A. Tzvetkov, A. R. Selezneva MATHEMATICAL MODEL OF PRIMARY RADIATION DAMAGES OF SOLIDS IRRADIATED BY LOW- AND INTERMEDIATE ENERGY HADRONS	236
А. Л. Полонский, А. М. Лапик, Л. З. Джилаван*, В. П. Лисин, В. Н. Пономарёв, Н. В. Руднев, А. В. Русаков К ТЕСТИРОВАНИЮ ПОРОГОВЫХ SiO ₂ АЭРОГЕЛЕВЫХ ЧЕРЕНКОВСКИХ ДЕТЕКТОРОВ НА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ (МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИЗМЕРЕНИЯ)	236
A. L. Polonski, A. M. Lapik, L. Z. Dzhilavyan *, V. P. Lisin, V. N. Ponomarev, N. V. Rudnev, A. V. Rusakov TO TESTS OF THRESHOLD SILICA AEROGEL CHERENKOV DETECTORS ON COSMIC RAYS (SIMULATION AND MEASUREMENTS)	237
А. В. Долгополов, В. В. Гаганов РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛЮЕНСА НЕЙТРОНОВ И МОЩНОСТИ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ ГАММА - ИЗЛУЧЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ЗАЛЕ ГЕНЕРАТОРА НГ-11И	237
A. V. Dolgoplov, V. V. Gaganov CALCULATION STUDIES OF SPATIAL DISTRIBUTION OF NEUTRON FLUENCE AND POWER OF GAMMA-RAY EQUIVALENT DOSE IN GENERATOR NG-11I EXPERIMENTAL HALL	238
С. А. Евсеев, Ю. Б. Гуров, М. С. Довбненко, Н. И. Замятин, Ю. А. Копылов, С. В. Розов, В. Г. Сандуковский, Е. А. Стрелецкая, Л. Грубчин, Б. Затько РАДИАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ SiC-ДЕТЕКТОРОВ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ НЕЙТРОНАМИ	238
S. Evseev, Yu. Gurov, M. S. Dovbnenko, Yu. Kopylov, S. Rozov, V. Sandukovsky, E. Streletskaia, N. Zamyatin, L. Hrubcin, B. Zat'ko RADIATION DAMAGE OF SIC DETECTORS UNDER NEUTRON IRRADIATION	239
В. К. Еремин, Н. Н. Фадеева, Е. М. Вербицкая, И. В. Еремин, Д. Д. Митина КИНЕТИКА СИГНАЛА КРЕМНИЕВОГО ДЕТЕКТОРА ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ДЛИННОПРОБЕЖНЫХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ	239
V. Eremin, N. Fadeeva, E. Verbitskaya, I. Eremin, D. Mitina KINETICS OF THE SILICON DETECTOR SIGNAL IN REGISTERING LONG-RANGE HEAVY IONS	240

К. В. Ершов, С. Е. Белов МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ОЯТ	241
S. E. Belov, K. V. Ershov RECORDING MULTIPARAMETRIC SYSTEM IONIZING RADIATION TO DETERMINE THE COMPOSITION OF SNF	241
И. Е. Алексеев, К. В. Ершов ТРАНСМУТАЦИЯ Am-241 НА СИНХРОТРОНЕ ПИЯФ	242
I. E. Alekseev, K. V. Ershov NUCLEAR TRANSMUTATION OF Am-241 ON THE PNPI SYNCHROTRON	243
М. В. Желтоножская, Д. А. Юсюк, Ю. О. Балаба, А. П. Черняев ФОТОАКТИВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОИЗОТОПОВ, РАСПАДАЮЩИХСЯ БЕЗ ИСПУСКАНИЯ ГАММА-КВАНТОВ, В ОБЛУЧЕННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ РЕАКТОРОВ	244
M. V. Zheltonozhskaya, D. A. Yussyuk, Yu. O. Balaba, A. P. Chernyaev PHOTOACTIVATION APPROACH TO DETERMINATION OF LONG-LIVED RADIOISOTOPES DECAYING WITHOUT GAMMA-QUANT EMISSION, IN REACTOR IRRADIATED STRUCTURAL MATERIALS	245
А. В. Грунин, С. А. Захарова, А. Е. Здарьев УЧЁТ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ В ОЦЕНКЕ СТОЙКОСТИ ЭКБ К ВОЗДЕЙСТВИЮ НЕЙТРОНОВ	245
A. V. Grunin, S. A. Zakharova, A. E. Zdaryev ACCOUNT OF NUCLEAR REACTIONS IN ESTIMATION OF ECB RESISTANCE TO NEUTRON EFFECTS	246
Е. П. Зеленецкая, А. Б. Тогузбаева ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ПЛОТНОМЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ПРОЦЕССОВ ЭКСТРАКЦИОННОГО АФФИНАЖА	247
E. P. Zelenetskaya, A. B. Toguzbaeva APPLICABILITY RESEARCH OF DENSITOMETRY TO PROCESS SOLUTIONS CONTROL OF EXTRACTION REFINING PROCESSES	247
С. А. Золотов, А. П. Черняев, У. А. Близнюк, Ф. Р. Студеникин, П. Ю. Борщеговская, А. Д. Никитченко, Н. А. Антипина, А. А. Николаева, Н. Д. Кречетов, С. А. Соколов ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ИЗМЕРЕННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ В ОПОРНОМ МАТЕРИАЛЕ	248
S. A. Zolotov, A. P. Chernyaev, U. A. Bliznyuk, F. R. Studenikin, P. Yu. Borshevskaya, A. D. Nikitchenko, N. A. Antipina, A. A. Nikolaeva, N. D. Krechetov, S. A. Sokolov RECONSTRUCTION OF ELECTRON ACCELERATOR ENERGY SPECTRUM FROM EXPERIMENTALLY MEASURED ABSORBED DOSE DISTRIBUTIONS IN BASE MATERIAL	249
Э. М. Ибрагимова, С. В. Артемов, О. О. Бахранов, Н. Э. Искандаров, Х. Т. Назаров, М. А. Муссаева, О. Т. Турсункулов, О. Р. Тожибоев, У. Т. Курбанов, Б. С. Юлдашев, М. С. Новиков, С. И. Тютюнников ДЕФЕКТЫ В YBCO-GdBCO ЛЕНТАХ, НАВЕДЕННЫЕ 18 МэВ ПРОТОНАМИ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ НАМАГНИЧИВАНИЯ	250

E. M. Ibragimova, S. V. Artemov, O. O. Bahrarov, N. E. Iskandarov, Kh. T. Nazarov, M. A. Mussaeva, O. T. Tursunkulov, O. R. Tojiboev, U. T. Kurbanov, B. S. Yuldashev, M. S. Novikov, S. I. Tyutyunnikov DEFECTS IN YBCO-GdBCO TAPES GENERATED BY 18 MeV PROTONS FOR ENHANCING MAGNETIZATION	250
В. С. Ипатова, У. А. Близнюк, П. Ю. Борщеговская, Т. А. Болотник, А. В. Браун, И. А. Родин, А. П. Черняев, М. К. Беклемишев, Д. С. Юров, Ф. Р. Студеникин, С. А. Золотов, А. Д. Никитченко, О. Ю. Хмелевский, Я. В. Зубрицкая, И. Т. Межетова, В. С. Иванцова ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ ПОСЛЕ ИХ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ	251
V. S. Ipatova, U. A. Bliznyuk, P. Yu. Borshchegovskaya, T. A. Bolotnik, A. V. Braun, I. A. Rodin, A. P. Chernyaev, M. K. Beklemishev, D. S. Yurov, F. R. Studenikin, S. A. Zolotov, A. D. Nikitchenko, O. Yu. Khmelevsky, Ya. V. Zubritskaya, I. T. Mezhetova, V. S. Ivantsova PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES IN FOODS AFTER IRRADIATION	252
А. А. Кайгородов, Э. А. Гуменных, С. П. Котков, С. В. Финогеев ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ШЕСТРАНДА НА КОМПЛЕКСЕ ФКБН-3 ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РЕАКТИВНОСТИ РАЗМНОЖАЮЩИХ СИСТЕМ	253
A. A. Kaigorodov, Eh. A. Gumennykh, S. P. Kotkov, S. V. Finogeev SJÖSTRAND METHOD APPLICATION ON COMPLEX FKBN-3 FOR MEASURING MULTIPLYING SYSTEMS' REACTIVITY	254
В. Ф. Батяев, С. Г. Беличенко, М. Д. Каретников, А. Д. Мазницин, А. Ю. Пресняков ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МЕЧЕНЫХ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ПРИКЛАДНЫХ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	254
V. F. Batyaev, S. G. Belichenko, M. D. Karetnikov, A. D. Maznitsyn, A. Ju. Presnyakov APPLICATION OF TAGGED NEUTRON TECHNOLOGY FOR APPLIED AND FUNDAMENTAL NUCLEAR PROBLEMS	255
О. А. Васильев, Д. Е. Карманов, И. М. Ковалев, А. А. Курганов, А. Д. Панов, Д. М. Подорожный, А. Н. Турундаевский ИТОГОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВЫХ ПУЧКОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРОТОТИПА ДЕТЕКТОРНОЙ ЧАСТИ СТАНЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБЛУЧЕНИЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ ПУЧКАМИ ИОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ	256
O. A. Vasiliev, D. E. Karmanov, I. M. Kovalev, A. A. Kurganov, A. D. Panov, D. M. Podorozhnyy, A. N. Turundaevskiy FINAL RESULTS OF THE FIRST BEAM TEST OF THE DETECTOR PART OF THE STATION FOR INVESTIGATION AND IRRADIATION OF SEMICONDUCTOR MICRO- AND NANOELECTRONICS USING HIGH ENERGY ION BEAMS	256
В. А. Кузнецов, С. И. Козырева, Р. О. Банин, Н. Г. Данченко, А. В. Силаев, А. А. Кубасов, С. О. Табаков МОДЕЛЬ ПОЛЯ ГАММА-НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВБЛИЗИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ НА ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ ВИР-2М	257
V. A. Kuznetsov, S. I. Kozyreva, R. O. Banin, N. G. Danchenko, A. V. Silaev, A. A. Kubasov, S. O. Tabakov MODEL OF GAMMA-NEUTRON RADIATION FIELD NEAR LARGE-SCALE OBJECTS UNDER TEST ON VIR-2M NUCLEAR REACTOR	257

В. Н. Кононов, Г. А. Игнатъева, К. А. Петрова, С. Н. Мамаева ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ ДОЧЕРНИХ ПРОДУКТОВ РАСПАДА РАДОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ГАММА-СПЕКТРОМЕТРА	258
V. N. Kononov, G. A. Ignateva, K. A. Petrova, S. N. Mamaeva STUDY OF ACTIVITY OF RADON DECAY DAUGHTER PRODUCTS USING SEMICONDUCTOR GAMMA SPECTROMETRY	258
Т. Н. Корбут, С. В. Рыбчак ПРОЦЕССЫ ПРЕВРАЩЕНИЯ ЯДЕР ДЛЯ ТОЧЕЧНОГО РЕАКТОРА В РАМКАХ МОДЕЛИ РОЖДЕНИЯ И ГИБЕЛИ ЧАСТИЦ	259
T. N. Korbut, S. V. Rybchak NUCLEAR TRANSFORMATION PROCESSES FOR A POINT REACTOR IN THE FRAMEWORK OF THE PARTICLE BIRTH AND DEATH MODEL	260
Т. Н. Корбут, С. В. Рыбчак УЧЕТ ВЫГОРАНИЯ ТОПЛИВА В МОДЕЛИ РОЖДЕНИЯ И ГИБЕЛИ ЧАСТИЦ	260
T. N. Korbut, S. V. Rybchak ACCOUNT FOR FUEL BURNUP IN A MODEL OF THE BIRTH AND DEATH OF PARTICLES	261
Д. Е. Костомаха, В. М. Вахтель, П. В. Середин РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НИТРИДА ГАЛЛИЯ	261
D. E. Kostomaha, V. M. Vakhtel, P. V. Seredin RADIATION EFFECT ON THE CHARACTERISTICS OF EPITAXIAL STRUCTURES BASED ON GALLIUM NITRIDE	262
О. Н. Лис, Д. П. Козленко, С. Е. Кичанов, Е. В. Лукин, И. Ю. Зель ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ, МАГНИТНУЮ СТРУКТУРУ И КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ	263
O. N. Lis, D. P. Kozlenko, S. E. Kichanov, E. V. Lukin, I. Yu. Zel HIGH PRESSURE EFFECT ON CRYSTAL, MAGNETIC STRUCTURE AND VIBRATIONAL SPECTRA OF VAN DER WAALS COMPOUNDS	264
Ф. Ф. Валиев, Н. И. Калиниченко, Н. А. Макаров, Г. А. Феофилов АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ТЕСТИРОВАНИЕ 4-Х КАНАЛЬНОГО БЫСТРОГО ДЕТЕКТОРА НА МКП	264
F. F. Valiev, N. I. Kalinichenko, N. A. Makarov, G. A. Feofilov HARDWARE IMPLEMENTATION AND TESTING 4-CHANNEL FAST DETECTOR ON MCP	265
А. Н. Иванов, А. Г. Малькин, Е. О. Митянин, Е. В. Артемьева РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ СМК ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА ИОНОВ	265
A. N. Ivanov, A. G. Malkin, E. O. Mityanin, E. V. Artemyeva EXPANDING POSSIBILITIES OF CMK SOFTWARE PACKAGE TO SIMULATE ION TRANSPORT	266

Ш. Махкамов, М. Н. Эрдонов, М. Ю. Ташметов, Р. П. Саидов, Х. М. Холмедов ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ ФОРМИРОВАНИЯ P+– СЛОЯ В КРЕМНИЕВЫХ ДИФфуЗИОННЫХ СТРУКТУРАХ НА СКОРОСТЬ ВВЕДЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ	267
Sh. Makhkamov, M. Yu. Tashmetov, M. N. Erdonov, R. P. Saidov, Kh. M. Kholmedov STUDY OF THE INFLUENCE OF THE DEPTH OF P+– LAYER FORMATION IN SILICON DIFFUSION STRUCTURES ON THE INTRODUCTION RATE OF RADIATION DEFECTS UNDER ELECTRON IRRADIATION	268
И. И. Камнев, И. Б. Немченко, И. А. Суслов, А. Д. Быстрыков КОМПОЗИЦИОННЫЕ БОРСОДЕРЖАЮЩИЕ ПЛАСТМАССОВЫЕ СЦИНТИЛЛЯТОРЫ	269
I. I. Kamnev, I. B. Nemchenok, I. A. Suslov, A. D. Bystryakov COMPOSITE BORON-LOADED PLASTIC SCINTILLATORS	269
Н. А. Николаева, В. В. Розанов, И. В. Матвейчук, А. П. Черняев, С. Н. Мамаева О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СТЕРИЛИЗАЦИИ И КОНСЕРВАЦИИ ИСКОПАЕМЫХ БИООБЪЕКТОВ	269
N. A. Nikolaeva, V. V. Rozanov, I. V. Matveichuk, A. P. Chernyaev, S. N. Mamaeva ON THE POSSIBILITY OF APPLYING COMBINED RADIATION TECHNOLOGIES FOR STERILIZATION AND PRESERVATION OF FOSSIL BIO-OBJECTS	270
Н. В. Новиков, Н. Г. Чеченин, А. А. Широкова СОСТАВ И ЛИНЕЙНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ ПРОДУКТОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ W(p,x) И Ta(p,x)	271
N. V. Novikov, N. G. Chechenin, A. A. Shirokova THE COMPOSITION AND LINEAR ENERGY TRANSFER OF W(p,x) AND Ta(p,x) NUCLEAR REACTION PRODUCTS	271
А. В. Овсянников, М. В. Желтоножская, С. Р. Адоньев, А. П. Черняев ИССЛЕДОВАНИЕ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОТОННОЙ ТЕРАПИИ НА ПУЧКЕ 160 МэВ	272
A. V. Ovsyannikov, M. V. Zheltonozhskaya, S. R. Adoniev, A. P. Chernyaev STUDY OF NUCLEAR REACTIONS DURING PROTON THERAPY AT 160 MeV BEAM	272
А. О. Павлюк, Е. В. Беспала, Е. П. Зеленецкая, И. А. Ушаков МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ФРАГМЕНТОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В ГРАФИТОВЫХ БЛОКАХ, ИЗВЛЕКАЕМЫХ ПРИ ДЕМОНТАЖЕ ГРАФИТОВОЙ КЛАДКИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА	273
A. O. Pavlyuk, E. V. Bepala, E. P. Zelenetskaya, I. A. Ushakov METHOD FOR DETECTING NUCLEAR FUEL SPILLS IN GRAPHITE BLOCKS RETRIEVED DURING DISMANTLEMENT OF A NUCLEAR REACTOR GRAPHITE STACK	274
И. С. Бредихин, А. В. Пашков РОССИЙСКИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ (500-1000 МС/С) МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ДИДЖИТАЙЗЕРЫ	275
A. V. Pashkov, I. S. Bredikhin RUSSIAN HIGH-SPEED (500-1000 MS/S) MULTI-CHANNEL DIGITIZERS	276
А. Р. Ахметов, И. А. Журавлев, О. И. Мешков, И. В. Пензин, А. В. Петренко, Р. В. Протас, С. Д. Хренков СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА	277

A. R. Akhmetov, I. A. Zhuravlev, O. I. Meshkov, I. V. Penzin, A. V. Petrenko, R. V. Protas, S. D. Khrenkov DIAGNOSTIC SYSTEMS FOR HIGH-CURRENT ELECTRON BEAM	277
В. В. Петров, В. И. Жеребчевский, В. П. Кондратьев, В. В. Вечернин, Н. А. Мальцев, С. Ю. Торилов, Н. А. Прокофьев, С. Н. Белокурова, Е. О. Землин, И. И. Ерыгин ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИКСЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКОВ ПРОТОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ	277
V. Petrov, V. Zherebchevsky, V. Kondratiev, V. Vechernin, N. Maltsev, S. Torilov, N. Prokofiev, S. Belokurova, E. Zemlin, I. Erygin EXPERIMENTAL SETUP USING PIXEL DETECTORS FOR PRECISION DETERMINATION OF HIGH ENERGY PROTON BEAMS CHARACTERISTICS	278
А. С. Петровская, А. Б. Цыганов, С. В. Суров, Д. А. Блохин РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА	280
A. S. Petrovskaya, A. B. Tsyganov, S. V. Surov, D. A. Blokhin THE CALCULATION OF TEMPERATURE PARAMETERS OF ION SPUTTERING –THERMAL SEPARATION TECHNOLOGY FOR SPENT NUCLEAR FUEL PROCESSING	281
И. М. Пискорский, А. В. Арапов, А. В. Данилов, А. А. Девяткин, И. А. Кирилин, А. В. Жирнов, Н. А. Красавин, А. Е. Никифоров, К. А. Савасичев, Г. Н. Пикулина, А. Б. Соколов, В. А. Юхневич РЕЗУЛЬТАТЫ ВТОРОЙ СТАДИИ ФИЗИЧЕСКОГО ПУСКА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ БР-К1М	282
I. M. Piskorskii, A. V. Arapov, A. V. Danilov, A. A. Devyatkin, I. A. Kirilin, A. V. Zhirnov, N. A. Krasavin, A. Ye. Nikiforov, K. A. Savasichev, G. N. Pikulina, A. B. Sokolov, V. A. Yukhnevich RESULTS OF PHYSICAL START-UP SECOND STAGE FOR RESEARCH NUCLEAR INSTALLATION BR-K1M	282
Ю. И. Гусев, Ф. Ф. Карпешин, Ю. Н. Новиков, А. В. Попов ГЕНЕРАТОР ИОНОВ ИЗОМЕРА ТОРИЯ-229	283
Yu. I. Gusev, F. F. Karpeshin, Yu. N. Novikov, A. V. Popov ION GENERATOR OF THE THORIUM-229 ISOMER	284
К. А. Борников, Ю. В. Попов, И. П. Волобуев ЗАМЕТКИ ОБ ОБРАТНОМ КОМПТОНОВСКОМ РАССЕЯНИИ	284
K. A. Bornikov, Yu. V. Popov, I. P. Volobuev NOTES ON INVERSE COMPTON SCATTERING	285
С. И. Поташев, А. А. Афонин, Ю. М. Бурмистров, А. И. Драчев, А. А. Каспаров, С. Х. Караевский, В. Н. Пономарев, В. И. Разин ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР-МИШЕНЬ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАКЦИЙ С ЛЕГКИМИ ЯДРАМИ	286
S. I. Potashev, A. A. Afonin, Yu. M. Burmistrov, A. I. Drachev, A. A. Kasparov, S. Kh. Karaevsky, V. N. Ponomarev, V. I. Razin POSITION-SENSITIVE FAST NEUTRON TARGET DETECTOR FOR STUDYING REACTIONS WITH LIGHT NUCLEI	286

П. С. Прусаченко, Т. Л. Бобровский АНАЛИЗ ВРЕМЕНИ НАРАСТАНИЯ ДЛЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА CLYC	287
P. S. Prusachenko, T. L. Bobrovskiy ANALYSIS OF THE RISE TIME FOR THE CLYC-BASED SCINTILLATION DETECTOR ...	287
А. И. Пушкарев, Ю. И. Егорова, С. С. Полисадов МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТЕЗА ИЗОТОПА УГЛЕРОД-11 ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МИШЕНИ АТОМАМИ ДЕЙТЕРИЯ	288
A. Pushkarev, Yu. Egorova, S. Polisadov MODELING OF CARBON-11 ISOTOPE SYNTHESIS UNDER IRRADIATION OF A TARGET WITH DEUTERIUM ATOMS	288
Н. М. Близняков, В. М. Вахтель, Д. Е. Костомаха, В. А. Работкин МЕТОД АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СЛУЧАЙНЫХ ВЕКТОРОВ	289
N. M. Blizniakov, V. M. Vahtel, D. E. Kostomakha, V. A. Rabotkin METHOD OF ANALYSIS AND PREDICTION OF RANDOM VECTOR SEQUENCES CHARACTERISTICS	290
П. Д. Ремизов, М. В. Желтоножская, А. П. Черняев, Д. А. Юсюк ФОТОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ С ВЫЛЕТОМ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕДИЦИНСКИХ РАДИОИЗОТОПОВ	290
P. D. Remizov, M. V. Zheltonozhskaya, A. P. Chernyaev, D. A. Iusiuk PHOTONUCLEAR REACTIONS WITH THE EMISSION OF CHARGED PARTICLES FOR THE PRODUCTION OF MEDICAL RADIOISOTOPES	291
Д. А. Румянцева, В. Г. Зиновьев, И. А. Митропольский ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УРАНА НА ГРАНИЦЕ ПОЛЯРНОЙ И НЕПОЛЯРНОЙ СРЕДЫ	291
D. A. Rumyantseva, V. G. Zinovyev, I. A. Mitropolsky STUDY OF THE DISTRIBUTION OF URANIUM ISOTOPES AT THE BOUNDARY OF POLAR AND NONPOLAR ENVIRONMENTS	292
Ф. Н. Новоскольцев, Р. Ю. Синюков, А. А. Соколов, РАССМОТРЕНИЕ НЕЙТРИННОГО КАНАЛА НА УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ У-70 С ОТКЛОНЕНИЕМ ПУЧКА РОДИТЕЛЬСКИХ ЧАСТИЦ	293
F. N. Novoskoltsev, R. Yu. Sinyukov, A. A. Sokolov CONSIDERATION OF THE NEUTRINO CHANNEL AT THE U-70 ACCELERATOR COMPLEX WITH A DEFLECTED PARENT PARTICLE BEAM	293
И. А. Карпов, М. Э. Бузоверя, Д. А. Скворцов, Р. И. Сидоров, В. А. Неверов ЯДЕРНО-СКАНИРУЮЩИЙ МИКРОЗОНД В ИССЛЕДОВАНИИ ЭПИСЛОЕВ КАРБИДА КРЕМНИЯ	294
I. A. Karpov, M. E. Buzoverya, D. A. Skvortsov, R. I. Sidorov, V. A. Neverov NUCLEAR-SCANNING MICROPROBE IN THE STUDY OF SILICON CARBIDE EPITAXIAL LAYERS	295
В. М. Скоркин АКТИВАЦИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИМПУЛЬСНОМ ИСТОЧНИКЕ НЕЙТРОНОВ С МОНИТОРИНГОМ ПУЧКА	296

V. M. Skorkin ACTIVATION OF COMPOSITE MATERIALS ON A PULSED NEUTRON SOURCE WITH BEAM MONITORING	296
С. И. Поташев, В. М. Скоркин МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛАСТЕРНОГО РАСПАДА БЕРИЛЛИЯ В ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЕ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ	297
S. I. Potashev, V. M. Skorkin SIMULATION OF BERYLLIUM CLUSTER DECAY IN IONIZATION CHAMBER UNDER FAST NEUTRON IRRADIATION	297
Ю. Г. Соболев, С. С. Стукалов, Ю. Э. Пенионжкевич, Ж. Зейнулла КЛАСТЕР CeBr3-NaI(Tl) ФОСВИЧ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЙТРОНОВ И ГАММА-КВАНТОВ	298
Yu. G. Sobolev, S. S. Stukalov, Yu. E. Penionzhkevich, Zh. Zeinulla CLUSTER OF CeBr3-NaI(Tl) PHOSWICH DETECTORS FOR NEUTRONS AND GAMMA QUANTA MEASURING	299
Ф. Р. Студеникин, А. П. Черняев, У. А. Близнюк, С. А. Золотов, П. Ю. Борщеговская, В. С. Ипатова, С. А. Соколов, Н. Д. Кречетов МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ БИООБЪЕКТОВ И МАТЕРИАЛОВ	300
F. R. Studenikin, A. P. Chernyaev, U. A. Bliznyuk, S. A. Zolotov, P. Yu. Borshchegovskaya, V. S. Ipatova, S. A. Sokolov, N. D. Krechetov METHODS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF RADIATION PROCESSING OF BIOOBJECTS AND MATERIALS	300
И. А. Суслова, И. Б. Немченко, А. А. Клименко, А. Д. Быстрыков, И. И. Камнев ТЕЛЛУРСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СЦИНТИЛЛЯТОРЫ	301
I. A. Suslov, I. B. Nemchenok, A. A. Klimenko, A. D. Bystryakov, I. I. Kamnev TELLURIUM-LOADED ORGANIC SCINTILLATORS	302
К. В. Сухарев, А. П. Воробьев, С. Н. Головня, О. П. Толбанов, А. В. Тяжев, А. Е. Винник, М. С. Скакунов, А. Н. Зарубин САПФИРОВЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ ИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ	303
K. V. Sukharev, A. P. Vorobiev, S. N. Golovnya, O. P. Tolbanov, A. V. Tyzhev, A. E. Vinnik, M. S. Skakunov, A. N. Zarubin SAPPHIRE DOSIMETRIC SENSORS FOR ION BEAM THERAPY	303
А. О. Хуцистова, С. А. Золотов, В. В. Розанов, И. В. Матвейчук, А. П. Черняев ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ОЦЕНОК ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ БИОИМПЛАНТАТОВ	304
A. O. Khutsistova, S. A. Zolotov, V. V. Rozanov, I. V. Matveychuk, A. P. Chernyaev USE OF MODEL ESTIMATES FOR OPTIMIZATION OF TECHNOLOGIES FOR RADIATION STERILIZATION OF BIOIMPLANTS	305
И. И. Дегтярев, Ф. Н. Новоскольцев, О. А. Ляшенко, Р. Ю. Синюков, Д. А. Цветков, А. Р. Селезнева ФИЗИЧЕСКОЕ ЯДРО СИСТЕМЫ ДОЗНО-АНАТОМИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТА С ИСТОЧНИКОМ ИОНОВ УГЛЕРОДА	305

I. I. Degtyarev, F. N. Novoskoltsev, O. A. Liashenko, R. Yu. Sinyukov, D. A. Tzvetkov, A. R. Selezneva PHYSICAL CORE OF CARBON ION RADIATION THERAPY TREATMENT PLANNING SYSTEM	306
A. O. Черница, П. А. Колесников, И. А. Карачинский, Д. А. Старостенко, П. А. Бак, Д. А. Никифоров, Я. В. Куленко ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ЛИНЕЙНОМ ИНДУКЦИОННОМ УСКОРИТЕЛЕ	306
A. O. Chernitsa, P. A. Kolesnikov, I. A. Karachinskiy, D. A. Starostenko, P. A. Bak, D. N. Nikiforov, Ya. V. Kulenko THE LINEAR INDUCTION ACCELERATOR LIA-2 ELECTRON BEAM DYNAMICS INVESTIGATION	307
Н. Г. Чеченин, Н. В. Новиков, А. А. Широкова МНОГОБИТОВЫЕ СБОИ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ОТ ОДИНОЧНОЙ ЧАСТИЦЫ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	308
N. G. Chechenin, N. V. Novikov, A. A. Shirokova MULTIBIT FAILURES OF THE SPACECRAFT ON-BOARD ELECTRONICS CAUSED BY A SINGLE PARTICLE OF SPACE RADIATION	309
О. А. Никитин, И. В. Пензин, Е. И. Чухаев ПРИМЕНЕНИЕ МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО РЕГИСТРАЦИИ ФОТОНЕЙТРОНОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО ИМПУЛЬСА γ -КВАНТОВ	309
O. A. Nikitin, I. V. Penzin, E. I. Chukhaev MONTE-CARLO MODEL OF THE MEASURING CHANNEL USED IN THE EXPERIMENT TO RECORD PHOTONEUTRONS INDUCED BY HIGH-INTENSITY γ -QUANUM PULSE	310
А. В. Грунин, А. Н. Залялов, С. А. Лазарев, И. В. Пенягин, П. А. Шанина САМОСОГЛАСОВАННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЗАРЯЖЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ИНЖЕКЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ	310
A. V. Grunin, A. N. Zalyalov, S. A. Lazarev, I. V. Penyagin, P. A. Shanina SELF-CONSISTENT APPROACH TO ESTIMATION OF DIELECTRIC MATERIALS CHARGING AT PULSED INJECTION OF HIGH-ENERGY ELECTRONS	311
К. В. Шахов, Е. А. Якушев, А. В. Лубашевский, С. В. Розов, Д. В. Пономарев, С. А. Евсеев ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ В НИЗКОФОНОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ	311
K. V. Shakhov, E. A. Yakushev, A. V. Lubashevsky, S. V. Rozov, D. V. Ponomarev, S. A. Evseev APPLICATION OF 3D PRINTING TECHNOLOGY IN LOW-BACKGROUND EXPERIMENTS	312
М. С. Эпов, Н. Н. Моисеев СОЗДАНИЕ ЭТАЛОННОГО ПОЛЯ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРОВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ ФОТОНОВ ОТ 0,06 ДО 10 МэВ	313
M. S. Epov, N. N. Moiseev REFERENCE FIELD FOR CALIBRATION OF GAMMA SPECTROMETERS IN 0.06-10 MeV ENERGY RANGE	313

Научное издание

**73-я Международная конференция по ядерной физике
«ЯДРО-2023: фундаментальные вопросы и приложения»**

Тезисы докладов

Материалы публикуются в авторской редакции

Аутентичные переводы предоставлены авторами

Компьютерная подготовка оригинала-макета *Н. В. Мишкина*

Подписано в печать 18.09.2023 Формат 60×84/8
Печать офсетная. Уч.-изд. л. ~45,2. Усл. печ. ~40,2
Тираж 200 экз. Заказ 1832-2023

Отпечатано в ИПЦ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
607188, г. Саров Нижегородской обл., ул. Силкина, 23

