

# *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  $^{51}\text{V}$  до  $^{209}\text{Bi}$  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  $\gamma$ -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  $^{59}\text{Co}$ ,  $^{58,60}\text{Ni}$  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  $\gamma$ -излучения также актуальной и индивидуальной. Вместе с тем на примере оцененных данных для ядер  $^{159}\text{Tb}$  и  $^{197}\text{Au}$  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  $^{75}\text{As}$ ,  $^{127}\text{I}$ ,  $^{181}\text{Ta}$  и  $^{208}\text{Pb}$  // *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  $^{51}\text{V}$  to  $^{209}\text{Bi}$  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  $^{59}\text{Co}$ ,  $^{58,60}\text{Ni}$  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  $^{159}\text{Tb}$  и  $^{197}\text{Au}$  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  $^{75}\text{As}$ ,  $^{127}\text{I}$ ,  $^{181}\text{Ta}$ , and  $^{208}\text{Pb}$  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  $n$ ,  $p$ ,  $d$ ,  $t$ ,  $^3\text{He}$  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-модельного код OptModel [3,4] (номер гос. регистрации 2014619860), предназначенный для анализа упругого рассеяния  $n$ ,  $p$ ,  $d$ ,  $t$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^6\text{Li}$  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  $n, p, d, t, {}^3\text{He}$  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  $n, p, d, t, {}^3\text{He}, {}^6\text{Li}$  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  ${}^6\text{Li}, {}^9\text{Be}$  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., Zherebtsov V.A., Taova S.M. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2016. V. 80. P. 295.
- [4] Generalov L.N., Zherebtsov 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., Zherebtsov V.A., Selyankina S.M. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2021. V. 85. P. 1136.
- [11] Generalov L.N., Zherebtsov 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. Ториллов**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9, v.zhrebchevsky@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. Zherebchevsky, 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.zherebchevsky@spbu.ru](mailto:v.zherebchevsky@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](mailto: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  $\Delta L$  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  $\alpha$ -частиц, так и мгновенных нейтронов и  $\gamma$ -квантов.

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

S. G. Kadmensky

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  $\Delta L$  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  $\alpha$ -particles and prompt neutrons and  $\gamma$ -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  $^{212}\text{Rn}$  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  $^{212}\text{Rn}$  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. Карпешин<sup>1)</sup>, В. Н. Кондратьев<sup>2)</sup>**

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

<sup>2)</sup>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  $^{78}\text{Kr}$  на уровень  $2 + 2438$  кэВ  $^{78}\text{Se}$ . 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 бр-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](http://www.nature.com/naturephotonics), DOI: <https://doi.org/10.1038/s41566-019-0549-5>.

### EXTERNAL-RADIATION ASSISTANCE OF NEUTRINOLESS DOUBLE-ELECTRON CAPTURE

F. F. Karpeshin<sup>1)</sup>, V. N. Kondratiev<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>D. I. Mendeleev Institute for Metrology, Saint-Petersburg, Russia

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

<sup>2)</sup>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  $^{78}\text{Kr}$  to the  $2^+$  2438-keV level of  $^{78}\text{Se}$ . 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  $\beta = eE\langle 2p|r|2s\rangle/\delta$ ,  $\mathbf{E}$  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  $\hbar\omega_1$ , 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/cm $^2$ . 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](http://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  $\rho$ -мезона и поляризации  $\Lambda$ -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  $\rho$ -meson and the polarization of the  $\Lambda$ -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  $^{24}\text{Mg}$  // 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  $^{24}\text{Mg}$  // 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. Коваленко<sup>1</sup>, М. М. Мурашев<sup>1</sup>, К. М. Подурец<sup>1\*</sup>,  
Е. Ю. Терещенко<sup>1,2</sup>, Е. Б. Яцишина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

<sup>2</sup> 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 продуктах 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. Kovalenko<sup>1</sup>, M. M. Murashev<sup>1</sup>, K. M. Podurets<sup>1\*</sup>, E. Yu. Tereshchenko<sup>1,2</sup>, E. B. Yatsishina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow

<sup>2</sup> 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: <sup>238</sup>U , АКТИНИДОВ, <sup>165</sup>Ho И ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАСТМАССЫ

С. П. Авдеев, О. В. Белов, Д. Р. Дрноюн, 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 <sup>165</sup>Ho, <sup>238</sup>U, <sup>209</sup>Pb, 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:  $^{238}\text{U}$ , ACTINIDES,  $^{165}\text{Ho}$  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  $^{165}\text{Ho}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{209}\text{Bi}$ , 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  $^{238}\text{U}$  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  $^{23}\text{Na}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{45}\text{Sc}$ ,  $^{51}\text{V}$ ,  $^{55}\text{Mn}$ ,  $^{59}\text{Co}$ ,  $^{75}\text{As}$ ,  $^{89}\text{Y}$ ,  $^{93}\text{Nb}$ ,  $^{103}\text{Rh}$ ,  $^{113}\text{In}$ ,  $^{165}\text{Ho}$  до  $^{209}\text{Bi}$  и  $^{238}\text{U}$ , 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 $^{238}\text{U}$ 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  $^{23}\text{Na}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{45}\text{Sc}$ ,  $^{51}\text{V}$ ,  $^{55}\text{Mn}$ ,  $^{59}\text{Co}$ ,  $^{75}\text{As}$ ,  $^{89}\text{Y}$ ,  $^{93}\text{Nb}$ ,  $^{103}\text{Rh}$ ,  $^{113}\text{In}$ ,  $^{165}\text{Ho}$  to  $^{209}\text{Bi}$  and  $^{238}\text{U}$ , 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  $\Delta E$  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  $^{48}\text{Ca} + \text{Актинидная мишень} \rightarrow \text{Сверхтяжёлое ядро} + \text{xn}$ .

## 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  $\Delta E$  MWPC under conditions of ultra-high beam

intensities (up to 7  $\mu\text{A}$  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<sup>1,2\*</sup>, Е. Н. Лыкова<sup>1,2</sup>, М. В. Желтоножская<sup>1,2</sup>, В. В. Розанов<sup>1</sup>,  
У. А. Близинок<sup>1,2</sup>, П. Ю. Борщеговская<sup>1,2</sup>, Ф. Р. Студеникин<sup>1,2</sup>**

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

<sup>2</sup> 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<sup>1,2\*</sup>, E. N. Lykova<sup>1,2</sup>, M. V. Zheltonozhskaya<sup>1,2</sup>, V. V. Rozanov<sup>1</sup>,  
U. A. Bliznyuk<sup>1,2</sup>, P. Yu. Borshchegovskaya<sup>1,2</sup>, F. R. Studenikin<sup>1,2</sup>

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

<sup>2)</sup> 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 Medicinem".*

## НОВАЯ РИМАНОВА ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА: ТЕОРИЯ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СЛЕДСТВИЯ

A. В. Юшков<sup>1\*</sup>, М. Г. Иткин<sup>2</sup>

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

<sup>2)</sup>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 околядерного пространства*. Второе следствие – это *границы протонных связанных состояний и границы нейтронных связанных структур*. Третье следствие – это *предел оконечности менделеевской таблицы по Z*. Например, для  $^{208}\text{Pb}$  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<sup>1,\*</sup>, M. Itkis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Experimental and Theoretical Physics al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>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 " $\kappa$ " 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  $^{208}\text{Pb}$  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<sup>1,\*</sup>, М. Г. Иткис<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Лаборатория ядерных реакций им. Флерова Г. Н., Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6  
\*yushkovalexv@mail.ru

Рассеяние  $\alpha$ -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 позволяет 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  $\beta_2$  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<sup>1,\*</sup>, M. Itkis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Experimental and Theoretical Physics al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan

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

\*yushkovalexv@mail.ru

The scattering of  $\alpha$ -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  $\beta_2$  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.