Форма № 24

МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЯДЕР И ЯДЕРНОЙ АСТРОФИЗИКИ

ТЕМА: «ТЕОРИЯ ЯДЕРНЫХ СИСТЕМ»

ЛТФ ОИЯИ

ФАМИЛИИ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРОЕКТА: Воронов В.В., Джиоев А.А.

ДАТА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА В ДНОД \_\_06.04.2023\_

ДАТА НТС ЛАБОРАТОРИИ \_22.12.2022\_\_\_\_\_ НОМЕР ДОКУМЕНТА \_\_\_9\_\_\_\_\_

ДАТА НАЧАЛА ПРОЕКТА \_\_2024\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(ДЛЯ ПРОДЛЕНИЙ –– ДАТА ПЕРВОГО УТВЕРЖДЕНИЯ ПРОЕКТА)\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**APPROVED   
JINR DIRECTOR**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /  
“\_\_\_ “\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 202\_ г.**

**Блок Теоретическая физика  
Наименование проекта по теме «Теория ядерных систем»**

**Микроскопические модели для экзотических ядер и ядерной астрофизики**

**Сроки выполнения проекта: 2024-2028**

**1. Общие сведения о проекте**

**1.1. Шифр темы 01-3-1136-2019**

**1.2. Лаборатория ЛТФ**

**1.3. Научное направление Теоретическая физика**

**1.4. Наименование проекта**

**Микроскопические модели для экзотических ядер и ядерной астрофизики**

**1.5. Руководители проекта: Воронов В.В., Джиоев А.А**.

**2. Научное обоснование и организационная структура**

**2.1. Аннотация**

Проект посвящен решению фундаментальной задачи современной ядерной физики - разработке и совершенствованию самосогласованного микроскопического подхода к описанию структуры основного и возбужденных состояний экзотических и сверхтяжелых атомных ядер, а также предсказанию их распадных свойств. Такой подход необходим, с одной стороны, для составления научной программы современных ускорителях тяжелых ионов (SHE-Factory в ОИЯИ, SPIRAL 2 в GANIL, FAIR в GSI, RIBF в RIKEN) и интерпретации получаемых на них результатов. С другой стороны, потребность в надежных теоретических ядерных данных актуальна и для моделирования различных астрофизических процессов. Так для изучения быстрого нуклеосинтеза (*r*-процесса) требуются прецизионные ядерные данные для приблизительно двух тысяч нейтронно-избыточных изотопов, которые рождаются в астрофизических условиях, и большая часть которых никогда не будет доступна в земных лабораториях. Кроме того, ряд астрофизических процессов с участием экзотических ядер происходят при экстремальных плотностях и температурах, которые не могут быть воспроизведены в земных условиях и поэтому требуют теоретического моделирования

**2.2. Научное обоснование** (цель, актуальность и научная новизна, методы и подходы, методики, ожидаемые результаты, риски)

Строительство и совершенствование крупномасштабных научных ядерно-физических установок и работа экспериментальных групп как в России, так и во многих мировых исследовательских центрах стимулируют теоретические исследований в области изучения структуры экзотических ядер и ядерной астрофизики. Главной задачей таких исследований является разгадка механизма образования ядер из их строительных блоков, сильно взаимодействующих протонов и нейтронов, определение пределов ядерной стабильности, предсказание свойств и особенностей структуры экзотических и сверхтяжелых ядер, а также изучение ядерных реакций в астрофизических условиях. Основываясь на тесной координации с экспериментальными программами на базовых установках ОИЯИ и принимая во внимание существующие связи с международными проектами, теоретические исследования в рамках Проекта будут направлены на поиск ответов на следующие вопросы:

- Как можно улучшить самосогласованные подходы по описанию ядерной структуры, чтобы они стали универсальными?

- Где находятся границы протонной и нейтронной стабильности ядер?

- Какова структура и как происходит распад экзотических ядерных систем в области сверхтяжелых и легких ядер?

- Как изменяется структура ядра в зависимости от температуры и углового момента?

- Как влияет астрофизическая среда на свойства ядер и ядерные реакции?

Таким образом Проект играет важную роль в развитии теоретических методов по самосогласованному описанию структуры ядер и их применение к изучению экзотических

и сверхтяжелых ядер, а также в предсказании их распадных свойств с целью планирования экспериментов и для астрофизических приложений.

До недавнего времени предсказание масс, энергетических и распадных характеристик сверхтяжелых и нейтронно-избыточных ядер проводилось в рамках макро-микроскопических моделей основанных на методе оболочечной поправки Струтинского. Это, прежде всего, феноменологическая модель жидкой капли конечного радиуса (FRLDM) [1]. Но хорошо известно, что макро-микроскопическиt модели с параметрами, найденными вблизи линии бета-стабильности, не могут обеспечить надежную экстраполяцию ядерных свойств при удалении даже на несколько массовых единиц от последних экспериментально изученных ядер, не говоря уже о нуклидах, удаленных от границы стабильности. Более обоснованную экстраполяцию могут дать только полностью микроскопические, самосогласованные модели, основанные на использовании реалистичных эффективных взаимодействий между нуклонами в сочетании с теорией функционала плотности энергии (ФПЭ). Такие модели в последнее время стали активно применяться для глобальных расчетов [2,3,4], и их применение к изучению экзотических яде предоставляет нам ценный инструмент для разработки нового подхода к построению ФПЭ и установлению связи между микроскопическими и феноменологическими моделями ядра. С этой целью и для обеспечения надежных предсказаний форму и параметры ФПЭ необходимо экстраполировать далеко за пределы долины ядерной стабильности.

Среди подходов к изучению возбужденных состояний экзотических ядер, развитых в последнее время, отметим следующие: 1. Метод квазичастичного приближения случайных фаз (КПСФ), основанный на релятивисткой модели Хартри-Боголюбова [5]. 2. Согласованные КПСФ расчеты с эффективным взаимодействием Скирма в деформированных ядрах [6]. 3. Крупномасштабные расчеты в рамках модели оболочек силовых функций разрешенных и запрещенных бета-переходов [7]. 4. В работе [8] для сверхтяжелых ядер, основываясь на микроскопическом аналоге соотношения Гродзинса, впервые получены оценки для энергии первого 2+ состояния, величина которой может служить критерием близости ядра к (полу)магическому. Перечисленные подходы, однако, на сегодняшний день имеют свои ограничения. В частности, микроскопические расчеты на основе эффективных нуклон-нуклон сил не учитывают одновременно двух факторов: самосогласование и взаимодействие со сложными конфигурациями. Оболочечные расчёты хоть и проводятся на очень большом конфигурационном пространстве, но используют сильно обрезанный одночастичный базис, из-за чего плохо применимы к высоковозбужденным и резонансным состояниям. Оценки [8] энергии первого 2+ в области ядер с небольшой деформацией дают лишь нижнюю границу энергии и нуждаются в дальнейшем улучшении.

Еще одним важным направлением современных исследований является разработка моделей для прогнозирования скоростей и сечений различных ядерных реакций в астрофизических условиях, в которых важную роль играют температурные эффекты. Используемые на сегодняшний день в компьютерных симуляциях различных астрофизических процессов ядерные данные получены либо на основе оболочечных расчётов [9] (для ядер *pf*-оболочки), либо на основе упрощенных параметризаций [10] (для тяжелых нейтронно-избыточных ядер). Но как показано в работах [11], такие расчёты часто недооценивают роль температурных эффектов и, как следствие, ведут к более низким значениям скоростей и сечений, чем предсказывают термодинамически последовательные оценки.

Подход, который намерены совместно разработать участники настоящего Проекта, должен преодолеть указанные ограничения и обеспечить качественный скачок в описании структуры экзотических и сверхтяжелых ядер на основе метода ФПЭ, в том числе и для астрофизических приложений. Следует особо подчеркнуть, что существенной особенностью разрабатываемого подхода является его самосогласованный характер, позволяющий одновременно с хорошей точностью описывать свойства как основного, так и возбужденных состояний экзотических ядер с одновременным учетом связи простых и сложных конфигураций. Будучи микроскопическим, разрабатываемый подход должен обладать надежной предсказательной силой, применимым к ядрам с четным и нечетным числом нуклонов, а также допускать естественное обобщение на случай нагретых ядер.

Предлагаемый подход во многом опирается на ядерные модели, разработанные в ЛТФ ОИЯИ и хорошо зарекомендовавшими себя как при изучении низкоэнергетических ядерных состояний, так и при описании свойств гигантских резонансов. Речь прежде всего идет о квазичастично-фононной модели ядра (КФМЯ) [12]. Планируемое в Проекте обобщение КФМЯ на реалистичные эффективные нуклон-нуклонные силы в рамках метода ФПЭ повышает предсказательную силу подхода и делает его полностью самосогласованным. Более того, использование метода супероператоров позволяет сравнительно легко перейти от рассмотрения связи простых и сложных конфигураций в холодных ядрах к изучению аналогичных эффектов в нагретых ядрах.

[1] P. Möller et al., At. Data Nucl. Data Tables **125** (2019) 1.

[2] P.N. Stoitsov, et al., Phys. Rev. C **68** (2003) 054312.

[3] N. Schunck and J.L. Egido. Phys. Rev. C **78** (2008) 064305.

[4] S. V. Tolokonnikov et al., J. Phys. G **42** (2015) 075102.

[5] N. Paar et al., Phys. Rev. C **67** (2003) 034312.

[6] K. Yoshida and N. V. Giai. Phys. Rev. C **78** (2008) 064316.

[7] Q. Zhi, et al., Phys. Rev. C **87** (2013) 025803.

[8] N.Yu. Shirikova et al., Phys. Rev. C **105** (2022) 024309;

[9] K. Langanke and G. Martinez-Pinedo, At. Data Nucl. Data Tables **79** (2001) 1.

[10] K. Langanke et al., Phys. Rev. Lett. **90** (2003) 241102.

[11] A.A. Джиоев и А.И. Вдовин, ЭЧАЯ **53** (2022) 1007, 1111, 1281.

[12] В.Г. Соловьев «Теория атомного ядра. Квазичастицы и фононы», Москва, Энергатомиздат, 1989.

Используемый в рамках Проекта самосогласованный микроскопический подход к описанию основных и возбужденных ядерных состояний основан на объединение метода функционала плотности энергии и квазичастично-фононной модели ядра. Метод ФПЭ давно и успешно применяется в теории конденсированного состояния и в квантовой химии. Он также хорошо зарекомендовал себя в глобальных расчётах ядерных характеристик и в использовании полученных на его основе данных в астрофизическом моделировании.

Методы КФМЯ основаны на представлении об элементарных модах ядерных возбуждений – квазичастицах и фононах. Квазичастицы определяют одночастичные возбуждения в ядерных системах с парными корреляциями, и их структура находится путем решений уравнений Хартри-Фока-Боголюбова. Коллективные ядерные возбуждения описываются как фононы, чья энергия и структура находятся из уравнений КПСФ. В рамках КФМЯ возможно учесть связь между квазичастицами и фононами с одновременным учетом принципа Паули. Использование связи простых и сложных конфигураций в рамках КФМЯ на сегодняшний день является практически единственным способом позволяющим выйти за рамка гармонического приближения с использованием большого конфигурационного пространства и не нарушая принципа Паули.

Существенно новым в предлагаемом Проекте является использование метода супероператоров. Данный метод, основываясь на возможности трактовки смешанного состояния в пространстве Гильберта как чистого состояния в пространстве Лиувилля, позволяет единообразно изучать свойства четно-четных, нечетных и нагретых ядер. Это, в свою очередь, позволяет естественно обобщить на случай нагретых ядер в астрофизических условиях все стандартные методы и концепции, использующейся в теоретической ядерной физики (квазичастица, фонон, метод уравнения движения, и т.д.).

Перечислим результаты, ожидаемые по окончанию работ в рамках Проекта:

1. Для обеспечения надежных предсказаний форма и параметры ФПЭ будут экстраполированы далеко за пределы долины стабильности. Особое внимание будет уделено изовекторным свойствам, играющим решающую роль в ядрах с большой нейтрон-протонной асимметрией.
2. С использованием единого набора параметров ФПЭ будет проведено исследование влияния взаимодействия простых и сложных конфигураций на свойства зарядово-нейтральных и зарядово-обменных ядерных возбуждений с учетом их резонансной структуры, а также на распадные характеристики ядер на границе стабильности.
3. Разработанные самосогласованные методы ФПЭ будут применяться к изучению бета-распада в контексте астрофизического r-процесса и слабых ядерных реакций с нагретыми ядрами в различных астрофизических сценариях (взрывы сверхновых, звездный нуклеосинтез и образование нейтрино).
4. Актуальные вопросы, на которые должен дать ответы Проект: роль тензорного взаимодействия в описании фрагментации гамов-теллеровского резонанса; бета-распад нейтроноизбыточных ядер; эмиссия нескольких нейтронов; гамма-спектроскопия с задержкой из-за бета-распада.
5. Взаимодействие нейтрино с веществом — важная проблема в различных астрофизических явлениях, например, сверхновых, слияниях нейтронных звезд, образовании коры нейтронных звезд. Необходимо выяснить роль неупругого рассеяния нейтрино на ядрах и магнитного поля в процессе термализации нейтрино.
6. Проведение расчётов радиусов распределения заряда и материи для длинных изотопических цепочек, включая деформированные ядра. Теоретический анализ изотопического поведения радиусов и наблюдаемых аномалий
7. Хорошо известны магические числа для стабильных ядер. Однако, чтобы понять стабильность самых тяжелых ядер с Z>118, необходимо изучить их оболочечную структуру. Для этого планируется изучить эволюцию магических чисел в зависимости от соотношения нейтронов и протонов в ядре и предсказать новые ядра с замкнутыми (под)оболочкой вблизи границ протонной и нейтронной стабильности.
8. Предсказание альфа-спектров сверхтяжелых ядер для планирования будущих экспериментов. Будут рассмотрены альфа-распады из изомерных состояний, а также деление из этих состояний.
9. Для того чтобы определить конкуренцию различных мод радиоактивного распада сверхтяжелых ядер для них будут осуществлены расчёты времён жизни относительно захвата орбитальные электронов и *β+* распада с учетом вклада переходов первого порядка запрета и влияния ядерной деформации.

Следует подчеркнуть, что сотрудники сектора № 1 НОТАЯ ЛТФ имеют многолетний опыт успешной работы по изучению ядерной структуры, ежегодно публикуют около 15 статей в высокорейтинговых международных журналах.

Избранные публикации сотрудников сектора № 1 НОТАЯ ЛТФ

1. E.T. Gregor, N.N. Arsenyev, M. Scheck, T.M. Shneidman, M. Thurauf, C. Bernards, A. Blanc, R. Chapman, F. Drouet, A.A. Dzhioev, G. de France, M. Jentschel, J. Jolie, J.M. Keatings, “Decay properties of the 3-1 level in 96Mo*”, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **49**, 075101 (2019).
2. H. G. Ganev, “E1 transitions in the extended proton-neutron symplectic model”, *Phys. Rev. C* **99**, 054304 [10 pages] (2019).
3. E.O. Sushenok, A.P. Severyukhin, N.N. Arsenyev, I.N. Borzov, “Effects of tensor interaction and neutron-proton pairing on beta-decay characteristics of 130,132Cd”, *Acta Physica Polonica B* **50**, 261-267 (2019).
4. J. Kvasil, A. Repko, V.O. Nesterenko, “Elimination of spurious modes before the solution of quasiparticle random-phase-approximation equations”, *Eur. Phys. J. A* **55**, 213 [15 pages] (2019).
5. A. Repko, J. Kvasil, V.O. Nesterenko,”Elimination of spurious modes within quasiparticle random-phase approximation*”, Phys. Rev. C* **99**, 044307 [14 pages] (2019)
6. V. N. Kondratyev, Alan A. Dzhioev, A. I. Vdovin, S. Cherubini, M. Baldo, “Energy exchange in neutrino nuclear scattering”, *Phys. Rev. C* **100**, [5 pages] 045802 (2019)
7. V.O. Nesterenko, A. Repko, J. Kvasil, P.-G. Reinhard, “Individual dipole toroidal states: main features and search in (e,e’) reaction”, *Phys. Rev. C* **100**, 064302 [11 pages] (2019)
8. H. G. Ganev, “Microscopic structure of the low-lying negative-parity states in 154Sm”, *Phys. Rev. C* **99**, 054305 [9 pages] (2019)
9. H. G. Ganev, “Some U(d1+d2) > U(d1) x U(d2) isoscalar factors involving two-rowed initial and final representations”, *Int. J. Mod. Phys. E* **28**, 1950071 [10 pages] (2019)
10. A. Repko, V.O. Nesterenko, J. Kvasil, P.-G. Reinhard, “Systematics of toroidal dipole modes in Ca, Ni, Zr, and Sn isotopes”, *Eur. Phys. J. A* **55**, 242 [15 pages] (2019)
11. E. B. Balbutsev, I.V. Molodtsova, P. Schuck, “The nuclear spin scissors mode – theory and experiment”, *Acta Phys. Pol. B* **12**, 637-648 (2019)
12. A.A. Dzhioev, A. I. Vdovin, Ch. Stoyanov, “Thermal quasiparticle random-phase approximation calculations of stellar electron capture rates with the Skyrme effective interaction”, *Phys. Rev. C* **100**, 025801 [16 pages] (2019)
13. H. G. Ganev, “U(6) quasi-dynamical symmetry in 238U”, *Nucl. Phys. A* **987**, 112-127 (2019)
14. Е. О. Сушенок, А. П. Северюхин, Н. Н. Арсеньев, И.Н. Борзов, “Влияние динамического спаривания на бета-распадные характеристики нейтронно-избыточных ядер”, *Ядерная физика* **82**, 132–140 (2019)
15. И.Н. Борзов, C.В. Толоконников, “Самосогласованное описание изобар-аналоговых резонансов в нейтронно-избыточных ядрах со спариванием”, *Ядерная Физика* **82**, 471-483 (2019)
16. П. Н. Усманов, А. И. Вдовин, Э. К. Юсупов, У. С. Салихбаев, “Феноменологический анализ характеристик ротационных полос изотопов 158,160Gd”, *Письма в ЭЧАЯ* **16**, 509-519 (2019)
17. L. M. Donaldson, J. Carter, P. von Neumann-Cosel, V. O. Nesterenko, R. Neveling, P.-G. Reinhard, I. T. Usman, P. Adsley, C. A. Bertulani, J. W. Brummer, E. Z. Buthelezi, G. R. J. Cooper, R. W. Fearick, S. V. Fortsch, H. Fujita, Y. Fujita, M. Jingo, N. Y. Kheswa, W. Kleinig, C. O. Kureba, J. Kvasil, M. Latif, K. C. W. Li, J. P. Mira, F. Nemulodi, P. Papka, L. Pellegri, N.Pietralla, V. Yu. Ponomarev, B. Rebeiro, A. Richter, N. Yu. Shirikova, E. Sideras-Haddad, A. V. Sushkov, F. D. Smit, G. F. Steyn, J. A. Swartz, A. Tamii, “Fine structure of the isovector giant dipole resonance in 142–150Nd and 152Sm”, *Phys. Rev. C* **102**, 064327 [17 pages] (2020)
18. G. Colo, D. Gambacurta, W. Kleinig, J. Kvasil, V. O.Nesterenko, A. Pastore, ”Isoscalar monopole and quadrupole modes in Mo isotopes: Microscopic analysis”, *Phys. Lett. B* **811**, 135940 [6 pages] (2020)
19. V.N. Kondratyev, A.A. Dzhioev, A.A., Vdovin, “Magnetic and thermal effects in neutrino scattering in hot and dense nuclear matter”, *Bull. Russ. Ac. Sc.* **84**, 962–967 (2020)
20. T. Fischer, G. Guo, A.A. Dzhioev, G. Martinez-Pinedo, Meng-Ru Wu, A. Lohs, Yong-Zhong Qian, “Neutrino signal from proto-neutron star evolution: Effects of opacities from charged-current–neutrino interactions and inverse neutron decay”, *Phys. Rev. C* **101**, 025804 [15 pages] (2020)
21. A.P. Severyukhin, N.N. Arsenyev, I.N. Borzov, E.O. Sushenok, D. Testov, D. Verney, “Two-phonon structure of low-energy 1+ excitations of 130In”, *Phys. Rev. C* **101**, 054309 [7 pages] (2020)
22. A.A. Dzhioev, K. Langanke, G. Martinez-Pinedo, A.I. Vdovin, Ch. Stoyanov, “Unblocking of stellar electron capture for neutron-rich N=50 nuclei at finite temperature”, *Phys. Rev. C* **101**, 025805 [9 pages] (2020)
23. I.N. Borzov, S.V. Tolokonnikov, “Fully self-consistent study of isobaric analog resonances”, *Phys. At. Nucl.* **83**, 567-576 (2020)
24. I.N. Borzov, “Global calculations of beta-decay properties based on the Fayans functional”, *Phys. At. Nucl.* **83**, 413–426 (2020)
25. S. Mishev, V.V. Voronov, “Matter density in a simple core-plus-particle model”, *Bull. Russ. Ac. Sc.* **84**, 1534-1536 (2020)
26. A.P. Severyukhin, N.N. Arsenyev, I.N. Borzov, R.G. Nazmitdinov, S. Åberg, “On statistical properties of the Gamow-Teller strength distribution in 60Ca”, *Phys. At. Nucl*. **83**, 171–178 (2020)
27. I.N. Borzov, S.V. Tolokonnikov, “Self-consistent calculation of the charge radii in the 58-82Cu isotopic chain”, *Phys. At. Nucl.* **83**, 482-494 (2020)
28. A. A. Dzhioev, S. V. Sidorov, A. I. Vdovin, T. Yu. Tretyakova, “Tensor interaction effects on stellar electron capture and beta-decay Rates”, *Phys. At. Nucl.* **83**, 143-160 (2020)
29. E. B. Balbutsev, I. V. Molodtsova, P. Schuck, “Triplet of nuclear scissors modes”, *Phys. At. Nucl.* **83**, 212-218 (2020)
30. П. Н. Усманов, А. И. Вдовин, Э. К. Юсупов, “Анализ магнитных характеристик состояний 158,160Gd в рамках феноменологической модели”, *Известия РАН. Сер. Физ.* **84**, 1174 (2020)
31. И.Н. Борзов, С.В. Толоконников, “Функционал Фаянса: самосогласованное описание изоспиновых возбуждений”, Ядерная Физика, 83, 25-33 (2020)
32. P. Dimitriou, I.Dillmann, B.Singh, V.Piksaikin.P.Rykaczewski, J.L.Taing, A.Algora, K.Banerjee, I.N. Borzov, D. Cano-Ott, T. Chiba, M. Fallot, D.Foligno, R. Grzywacz, X.Huang, “Development of a reference database for beta-delayed neutron emission”, *Nucl. Data Sheets* **173**, 144-238 (2021)
33. A. P. Severyukhin, N. N. Arsenyev, N. Pietralla, “First calculation of the γγ-decay width of a nuclear 21+ state: The case of 48Ca”, *Phys. Rev. C* **104**, 024310 [6 pages] (2021)
34. A.P. Severyukhin, S. Åberg, N.N. Arsenyev, R.G. Nazmitdinov, “Hybrid model for the damped transient response of giant dipole resonances”, *Phys. Rev. C* **104**, 044327 [9 pages] (2021)
35. P. Adsley, V.O. Nesterenko, M. Kimura, L.M. Donaldson, R. Neveling, J.W. Brummer, D.G. Jenkins, N.Y. Kheswa, J. Kvasil, K.C.W. Li, D.J. Marin-Lambarri, Z. Mabika, P. Papka, “Isoscalar monopole and dipole transitions in 24Mg, 26Mg, and 28Si”, *Phys. Rev. C* **103**, 044315 [18 pages] (2021)
36. H.G. Ganev, “Matrix elements in the SU(1,1) x SO(6) limit of the proton-neutron symplectic model”, *Chinese Phys. C* **45**, 114101 [9 pages] (2021)
37. V. O. Nesterenko, P. I. Vishnevskiy, J. Kvasil, A. Repko, W. Kleinig, “Microscopic analysis of low-energy spin and orbital magnetic dipole excitations in deformed nuclei”, *Phys. Rev. C* **103**, 064313 [14 pages] (2021)
38. H. G. Ganev, “Microscopic shell-model counterpart of the Bohr–Mottelson model”, *Eur. Phys. J. A* **57**, 181 [14 pages] (2021)
39. N.N. Arsenyev, A.P. Severyukhin, “Origin of low- and high-energy monopole collectivity in 132 Sn”, *Universe* **7**, 145 [13 pages] (2021)
40. D. A. Testov, A. P. Severyukhin, B. Roussiere, N. Arsenyev, F. Ibrahim, M. Lebois, I. Matea, Yu. Penionzhkevich, V. Smirnov, E. Sokol, I. Stefan, D. Susuki, D. Verney, Jh. Wilson,”Study of 123Ag beta-decay at ALTO”, *Eur. Phys. J. A* **57**, 59 [6 pages] (2021)
41. П.Н. Усманов, А.И. Вдовин, Э.К. Юсупов, “Электрические свойства ротационных состояний ядра 156Gd*”, Известия РАН, Cер. Физ.***85**, 1423-1429 (2021)
42. A. Bahini, V.O. Nesterenko, I.T. Usman, P. von Neumann-Cosel, R. Neveling, J. Carter, J. Kvasil, A. Repko, P. Adsley, N. Botha, J. W. Brummer, L.M. Donaldson, S. Jongile, “Isoscalar giant monopole resonance in 24Mg and 28Si: effect of coupling between the isoscalar monopole and quadrupole strength”, *Phys. Rev. C* **105**, 024311 [15 pages] (2022)
43. H. G. Ganev, “Microscopic shell-model description of strongly deformed nuclei: 158Gd”, *Int. J. Mod. Phys. E* **31**, 2250047 [14 pages] (2022)
44. H. G. Ganev, “Microscopic shell-model description of transitional nuclei”, *Eur. Phys. J. A* **58**, 182 [10 pages] (2022)
45. N.Yu. Shirikova, A.V.Sushkov, R.V.Jolos, “Coriolis mixing of the K=1 and K=0 mixed symmetry states in the well deformed even-even nuclei”, *Eur. Phys. J. A* **58**, 98 [6 pages] (2022)
46. N.Yu.Shirikova, A.V.Sushkov, L.A.Malov, E.A.Kolganova, R.V.Jolos, “Prediction of the excitation energies of the 2+1 states for superheavy nuclei based on the microscopically derived Grodzins relation”, *Phys. Rev. C* **105**, 024309 [6 pages] (2022)
47. H. G. Ganev, “Proton-neutron symplectic model description of 20Ne”, *Chinese Phys. C* **46**, 044105 [9 pages] (2022)
48. E. B. Balbutsev, I. V. Molodtsova, A. V. Sushkov, N. Yu. Shirikova, P. Schuck, “Spin-isospin structure of the nuclear scissors mode”, *Phys. Rev. C* **105**, 044323 [20 pages] (2022)
49. N.N. Arsenyev, A.P. Severyukhin, “Microscopic description of isoscalar giant monopole resonance in 48Ca”, *Phys. At. Nucl.* **85**, 6, 581-586 (2022)
50. A. P. Severyukhin, N. N. Arsenyev, “On the double γ-decay width of the quadrupole state: the case of 132Sn”, Яд. Физ. **85**, 573-580 (2022)
51. N.E. Solonovich, N.N. Arsenyev, A.P. Severyukhin, “The dipole polarizability of the doubly magic nuclei”, Phys. *Part. Nucl. Lett*.,**19**, 473-476 (2022)
52. П.Н. Усманов, А.И. Вдовин, А.Н. Нишонов, “Исследование энергий и электромагнитных характеристик состояний отрицательной четности ядра 156Gd”, *Известия РАН, Cер. Физ.* **86**, 1112-1118 (2022)
53. Джиоев А. A., Вдовин А. И., “Метод супероператоров в теории нагретых ядер и астрофизические приложения. I. Спектральные характеристики нагретых ядер”, *ЭЧАЯ* **53**, 1007-1110 (2022)
54. Джиоев А. A., Вдовин А. И., “Метод супероператоров в теории нагретых ядер и астрофизические приложения. II. Захват электронов в звездах”, *ЭЧАЯ* **53**, 1111-1218 (2022)
55. Джиоев А. A., Вдовин А. И., “Метод супероператоров в теории нагретых ядер и астрофизические приложения. III. Нейтрино-ядерные реакции в звездах”, *ЭЧАЯ* **53**, 1281-1338 (2022)

**2.3. Предполагаемый срок выполнения**

2024-2028

**2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ**

ЛТФ в сотрудничестве с ЛЯР, ЛЯП, ЛИТ

**2.5. Участвующие страны, научные и научно-образовательные организации**

Приведено в предложении по продлению темы

**3. Кадровое обеспечение**

**3.1. Кадровые потребности в течение первого года реализации**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№№**  **п/п** | **Категория**  **работника** | **Основной персонал, сумма FTE** | **Ассоциированный персонал, сумма FTE** |
| 1. | научные работники | 15 | 1 |
| 2. | инженеры | 0 | 0 |
| 3. | специалисты | 5 | 0 |
| 4. | служащие | 0 | 0 |
| 5. | рабочие | 0 | 0 |
|  |  | **Итого: 15** | **1** |

**3.2. Доступные кадровые ресурсы**

**3.2.1. Основной персонал ОИЯИ, ЛТФ**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**№ **п/п** | **Категория работников** | **ФИО** | **Должность** | **FTE** |
| 1. | научные работники | Арсеньев Николай Николаевич | с.н.с. | 100% |
| 2. |  | Молодцова Ирина Владимировна | с.н.с. | 100% |
| 3. |  | Северюхин Алексей Павлович | с.н.с. | 100% |
| 4. |  | Бальбуцев Евгений Борисович | в.н.с. | 100% |
| 5. |  | Борзов Иван Николаевич | в.н.с. | 50% |
| 6. |  | Ганев Хубен Ганев | в.н.с. | 100% |
| 7. |  | Кузьмин Владимир Александрович | в.н.с. | 100% |
| 8. |  | Малов Леонард Александрович | в.н.с. | 100% |
| 9. |  | Нестеренко Валентин Олегович | в.н.с. | 100% |
| 10. |  | Вдовин Андрей Иванович | г.н.с | 100% |
| 11. |  | Воронов Виктор Васильевич | г.н.с | 100% |
| 12. |  | Стратан Георг | г.н.с | 100% |
| 13. |  | Джиоев Алан Александрович | нач.сектора | 100% |
| 14. |  | Вишневский Петр | стажер-иссл | 100% |
| 15. |  | Мардыбан Мария Александровна | стажер-иссл | 100% |
|  | **Итого:** | **14 чел. – основное место работы**  **1 чел. - совместитель** |  |  |

**4. Финансовое обеспечение**

Проект будет финансироваться в рамках темы «Теория ядерных систем».



**Руководитель проекта \_\_\_\_\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/**

Форма № 25

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА

МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЯДЕР И ЯДЕРНОЙ АСТРОФИЗИКИ

ТЕМА: «ТЕОРИЯ ЯДЕРНЫХ СИСТЕМ»

ФАМИЛИИ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРОЕКТА: Воронов В.В., Джиоев А.А.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| УТВЕРЖДЕН ДИРЕКТОРОМ ОИЯИ | ПОДПИСЬ | ДАТА |
|  |  |  |
|  |  |  |
| СОГЛАСОВАНО |  |  |
|  |  |  |
| ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ОИЯИ | ПОДПИСЬ | ДАТА |
|  |  |  |
| ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ | ПОДПИСЬ | ДАТА |
|  |  |  |
| ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР | ПОДПИСЬ | ДАТА |
|  |  |  |
| ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ | ПОДПИСЬ | ДАТА |
|  |  |  |
| ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ | ПОДПИСЬ | ДАТА |
|  |  |  |
| РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА | ПОДПИСЬ | ДАТА |
|  |  |  |
| ЗАМ. РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА | ПОДПИСЬ | ДАТА |
|  |  |  |
| ОДОБРЕН |  |  |
|  |  |  |
| ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ | ПОДПИСЬ | ДАТА |