Форма № 24

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ НЕСКОЛЬКИХ ЧАСТИЦ

ТЕМА: «ТЕОРИЯ ЯДЕРНЫХ СИСТЕМ»

ЛТФ ОИЯИ

ФАМИЛИИ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРОЕКТА: Мотовилов А.К., Мележик В.С.

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)\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ   
Директор Института**

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

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

Квантовые системы нескольких частиц **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**

Квантовые системы нескольких частиц

**1.5. Руководители проекта:** Мотовилов А.К., Мележик В.С.

**2. Научное обоснование и организационная структура**

**2.1. Аннотация**

Проект направлен на изучение свойств систем, состоящих из небольшого набора конститьюентов ядерной, субъядерной или атомно-молекулярной природы. Малость числа конститьэнтов в системе позволяет создавать и использовать математически строгие, точные и последовательные подходы к ее исследованию, не требующие дальнейших упрощающих физических предположений и приближений. Целью проекта является разработка и совершенствование методов численного решения малочастичных задач в ядерной, атомной и молекулярной физике, а также в астрофизике. Одной из центральных задач проекта является изучение универсальных закономерностей поведения систем нескольких частиц при ультранизких энергиях и численные расчеты характеристик ультрахолодных трехатомных систем в ефимовских или предъефимовских состояниях. Универсальные черты в поведении ультрахолодных малочастичных систем будут исследоваться также и при числе измерений пространства меньшем трех.

**2.2. Научное обоснование**

Предметом исследований теории малочастичных систем являются различные квантовые системы, которые можно считать состоящими из нескольких (скажем, двух, трех или четырех) элементарных конститьюэнтов [1,2]. В зависимости от конкретной ситуации и рассматриваемого диапазона энергий в роли таких конститьюэнтов могут выступать кварки, мезоны, отдельные нуклоны, ядра или даже атомы и молекулы [2,3]. Малость числа конститьюэнтов в системе позволяет создавать и использовать математически строгие, точные и последовательные подходы к ее исследованию, не требующие дальнейших упрощающих физических предположений и приближений. Благодаря своей универсальности теория малочастичных систем имеет междисциплинарный характер. Подходы, основанные на теории малочастичных систем, открывают путь к решению различных задач ядерной физики, физики атомов и молекул, квантовой химии и т.д.

К настоящему времени теория малочастичных систем достигла значительных успехов. Прежде всего, это относится к квантовой задаче нескольких частиц с быстро убывающими взаимодействиями. При численном решении задач трёх и четырех частиц можно с большой эффективностью использовать аппарат дифференциальных и интегральных уравнений Фаддеева-Якубовского [4]. Однако в теории *N*-частичных систем с кулоновским взаимодействием при *N* > 2все еще остаются значительные нерешенные вопросы, касающиеся, в частности, асимптотических граничных условий для волновых функций рассеяния на бесконечности в координатном пространстве, определения и аналитических свойств трехчастичных матриц рассеяния, S-матричной интерпретации резонансов и др.

Важное место в теории малочастичных систем занимает изучение их поведения во внешних полях и, частности, в полях, зависящих от времени [5]. Примером такой малочастичной системы является система нескольких атомов в оптической ловушке, создаваемой с помощью противоположно направленных лазерных излучений. Практическое исследование таких систем даже в случае двух частиц требует разработки адекватных математических моделей и создания новых подходов к численному решению возникающих нестационарных задач.

Одним из самых интересных направлений является исследование универсальных закономерностей в поведении малочастичных систем при ультранизких энергиях. Примерами таких универсальных явлений, определяемых радиусом парных взаимодейcтвий или парными длинами рассеяния, являются эффекты Томаса и Ефимова для трехчастичных систем [6-8]. Экспериментальные проявления эффекта Ефимова были впервые открыты в 2005 году [9], спустя 35 лет после чисто теоретического предсказания этого эффекта [6]. Универсальные черты в поведении ультрахолодных малочастичных систем типа эффекта Ефимова теоретически предсказаны и для размерностей пространства, меньших трех [10], а также в случае задачи нескольких частиц на решетке [11]. Уже возникла новая дисциплина, сводящая воедино универсальные явления в малочастичных системах, получившая название «ефимовская физика» [7,8]. Многие вопросы этой новой дисциплины по-прежнему остаются открытыми. Значительный интерес представляет выявление новых универсальных закономерностей в поведении малочастичных систем. Важным является также проведение численных расчетов ультрахолодных трехатомных систем в ефимовских или предъефимовских состояниях [6].

Сказанное означает, что исследования в области малочастичных систем по-прежнему актуальны. Здесь важна не только разработка чисто теоретических подходов, очень важным является также и создание новых методов практического численного исследования конкретных ядерных и атомно-молекулярных малочастичных систем.

Наши теоретические усилия направлены на поиск ответов, в частности, на следующие вопросы:

- В каких ядерных и молекулярных системах можно ожидать появления ефимовских состояний для экспериментальной идентификации? Возможно ли повлиять на формирование и распад таких систем?

- Как сильное лазерное поле влияет на атомы и ядра? Как ведет себя кубит, помещенный в термостаты с разной статистикой?

- Каковы особенности поведения холодных атомов в оптических ловушках?

Основными целями проекта состоят в разработке методов и подходов теории малочастичных системs, прояснении остающихся математических вопросов, таких, например, как строение координатных асимптотик кулоновских волновых функций непрерывного спектра, доказательство эквивалентности между резонансами, полученными, методом комплексного скейлинга, и *S*-матричными резонансами. При создании формальных теоретических инструментов мы будем изучать и смежные теоретико-операторные вопросы. Например, мы будем исследовать изменение инвариантных подпространств квантово-механических гамильтонианов под действием различных возмущений, не обязательно являющихся малыми. Мы будем искать оптимальные ограничения на скорость эволюции подпространств, описываемой время-независимыми и некоторыми зависящими от времени гамильтонианами.

Будет внесен вклад и в развитие ефимовской физики. На основании дифференциальных уравнений Фаддеева мы будем проводить численные расчеты характеристик ультрахолодных трехатомных систем в ефимовских или пред-ефимовских состояниях. Ожидается, что в результате теоретического исследования возможных вариантов регуляризации задачи трех частиц с точечными взаимодействиями будут установлены новые универсальные закономерности в поведении трехчастичных систем при ультранизких энергиях. Кроме того, ожидается, что в задаче трех частиц на двумерной решетке будет доказано существование эффекта, аналогичного суперэффекту Ефимова для трех частиц на плоскости.

Изучение малоразмерных систем с малым числом частиц необходимо также с целью описания резонансных процессов и моделирования критических явлений в ядерной физике и физике высоких энергий. Для установления связи между атомной и ядерной физикой мы воспользуемся анализом комптоновской ионизации сильным лазерным полем как методом динамической спектроскопии атомов и молекул. Динамическо-адиабатическая теория и теория скрытых пересечений уровней потенциальной энергии будут применяться для изучения неупругих переходов при атомных столкновениях. На основе метода конечных элементов, адиабатического гиперсферического представления и параметрических базисных функций будут разработаны новые численные подходы для анализа малочастичных связанных состояний, процессов рассеяния и резонансов. Будет продолжено совершенствование процедуры расчетов в рамках метода связанных каналов.

Сотрудники сектора № 3 НОТАЯ ЛТФ имеют многолетний опыт плодотворной работы в области физики малочастичных систем, ежегодно публикуют около 15 статей в высокорейтинговых международных журналах. Как следует из приведенного списка публикаций за последние 4 года, участники проекта успешно решают проблемы описания квантовых малонуклонных систем и обладают большим потенциалом для решения таких задач в будущем.

**Цитируемая литература**

[1] С.П.Меркурьев, Л.Д.Фаддеев. Теория рассеяния для систем нескольких частиц*.* Наука, Москва, 1985.

[2] А.А. Квицинский, Ю.А. Куперин, С.П. Меркурьев, А.К.Мотовилов, С.Л.Яковлев, Квантовая задача N тел в конфигурационном пространстве, *ЭЧАЯ* ***17*** *(1986), 267-317*.

[3] E.A. Kolganova, V.Roudnev, Weakly bound LiHe\_2 molecules in the framework of three-dimensional Faddeev equations, *Few-Body Syst.* ***60*** *(2019), 32 [7 pages].*

[4] A. K. Motovilov,Progress in methods to solve the Faddeev and Yakubovsky differential equations, *Few-Body Syst.* ***43*** *(2008), 121-127.*

[5] V.S.Melezhik,Improving efficiency of sympathetic cooling in atom-ion and atom-atom confined collisions*, Phys. Rev. A* ***103*** *(2021), 053109 [13 pages].*

[6] V.Efimov, Energy levels arising from resonant two-body forces in a three-body system*,* *Phys. Lett. B* ***33*** *(1970), 563-564.*

[7] E.Braaten, H.-W.Hammer. Efimov physics in cold atoms. *Ann. Phys.* ***322*** *(2007), 120-163*.

[8] H.-W.Hammer, L.Platter, Efimov states in nuclear and particle physics, *Annual Review of Nuclear and Particle Science* ***60*** *(2010), 207-236.*

[9]T. Kraemer, M. Mark, P. Waldburger, J. G. Danzl, C. Chin, B. Engeser, A. D. Lange, K. Pilch, A. Jaakkola, H.-C. Nägerl,R. Grimm , Evidenc for Efimov quantum states in an ultracold gas of Caesium atoms, *Nature* ***440*** *(2006) , 315-318*.

[10] Y. Nishida, S. Moroz, D.T. Son,Super Efimov effect of resonantly interacting fermions in two dimensions, *Phys. Rev. Lett.* ***110*** *(2013), 235301 [4 pages].*

[11] S.Albeverio, S.N.Lakaev, Z.I.Muminov, Schrödinger operators on lattices. The Efimov effect and discrete spectrum ssymptotics, *Annales Henri Poincaré* ***5*** *(2004), 743–772.*

**Избранные публикации**

**сотрудников сектора № 3 НОТАЯ ЛТФ (2019-2022)**

**МОНОГРАФИИ**

“Новые подходы в квантовой физике”, Соловьёв Е.А., Физматлит (2019)

“Jost Functions in Quantum Mechanics. A Unified Approach to Scattering, Bound, and Resonant State Problems”, Sergei A. Rakityansky, Springer (2022)

**СТАТЬИ**

1. T. P. Grozdanov, E. A. Solov’ev, “Classical representation for hydrogen atom in s-states”, *Quantum Stud.: Math. Found*, **6**, 225–233 (2019)
2. I.A. Gnilozub, A. Galstyan, Yu.V. Popov, I.P. Volobuev, “Compton scattering from hydrogen and helium atoms”, *J. Phys. B* **52**, 035204 [9 pages] (2019)
3. S. Shadmehri, V.S. Melezhik, “Confinement-induced resonances in two-center problem via a pseudopotential approach”, *Phys. Rev. A* **99**, 032705 [11 pages] (2019)
4. A.A. Gusev, S.I. Vinitsky, O. Chuluunbaatar, A. Gozdz, A. Dobrowolski, K. Mazurek, P.M. Krassovitskiy, “Finite element method for solving the collective nuclear model with tetrahedral symmetry”, *Acta Phys. Pol. B* **12**, 589–594 (2019)
5. V.S. Melezhik, Z. Idziaszek, A. Negretti, “Impact of ion motion on atom-ion confinement-induced resonances in hybrid traps”, *Phys. Rev. A* **12**, 063406 [12 pages] (2019)
6. N. Burtebayev, M. Nassurlla, A. Sabidolda, S. B. Sakuta, A. A. Karakhodjaev, F. X. Ergashev, K. Rusek, E. Piasecki, A. Trzciska, M. Woliska-Cichocka, Michal Kowalczyk, D. Janseitov et al, “Measurement and analysis of 10B+12C elastic scattering at energy of 41.3MeV”, *Int. J. Mod. Phys. E* **28**, 1950028 [9 pages] (2019)
7. P.Vaandrager, S.A.Rakityansky, “Residues of the S-matrix for several alpha-12C resonances from the Jost function analysis”, *Nucl. Phys. A* **992**, 121627 [15 pages] (2019)
8. O. Chuluunbaatar, K. A. Kouzakov, S. A. Zaytsev, A. S. Zaytsev, V. L. Shablov, Yu. V. Popov, H. Gassert, M. Waitz, H.-K. Kim, T. Bauer, A. Laucke, Ch. Muller, J. Voigtsberger, M. W et al, “Single ionization of helium by fast proton impact in different kinematical regimes”, *Phys. Rev. A* **99**, 062711 [11 pages] (2019)
9. A. Galstyan, V.L. Shablov, Yu.V. Popov, F. Mota-Furtado, P.F. O'Mahony, B. Piraux, “Static field limit of excitation probabilities in laser-atom interactions”, *J. Phys. B* **52**, 085004 [12 pages] (2019)
10. A. Deveikis, A.A. Gusev, V.P. Gerdt, S. I. Vinitsky, A. Gozdz, A. Pedrak, C. Burdik, “Symbolic-Numerical Algorithm for Large Scale Calculations the Orthonormal SU(3) BM Basis”, *Lecture Notes in Computer Science* **1166**, 91-106 (2019)
11. A.K.Motovilov, “Unphysical energy sheets and resonances in the Friedrichs-Faddeev model”, *Few-Body Systems* **60**, 21 [9 pages] (2019)
12. E.A.Kolganova, V. Roudnev, “Weakly Bound LiHe2 Molecules in the Framework of Three-Dimensional Faddeev Equations”, *Few-Body Systems* **60**, 32 [7 pages] (2019)
13. V.S. Melezhik, “Efficient computational scheme for ion dynamics in RF-field of Paul trap”, *Discrete and Continuous Models and Applied Computational Science* **27**, 378-385 (2019)
14. Пупышев В.В., “Двумерное движение медленной квантовой частицы в поле центрального дальнодействующего потенциала”, *Теоретическая и математическая физика* **199**, 405—428 (2019)
15. С.Альбеверио, А.К.Мотовилов, “Разрешимость операторного уравнения Риккати в фешбаховском случае”, *Математические заметки* **105**, 483–506 (2019)
16. А. К. Мотовилов, А. А. Шкаликов, “Сохранение свойства безусловной базисности при несамосопряженных возмущениях самосопряженных операторов”, *Функциональный анализ и его приложения* **53**, 45–60 (2019)
17. В.Н. Кондратьев, “Магнитоэмиссия магнитаров”, *ЭЧАЯ*, **50**, 613-615 (2019)
18. В.Н. Кондратьев, “Нуклеосинтез при сильном намагничивании и проблема титана”, *ЭЧАЯ*, **50**, 576–580 (2019)
19. S. Shadmehri, S. Saeidian, V. S. Melezhik, “2D nondirect product discrete variable representation for Schrodinger equation with nonseparable angular variables”, *J. Phys. B* **53**, 085001 [7 pages] (2020)
20. S.I. Vinitsky, P.W. Wen, A.A. Gusev, O. Chuluunbaatar, R.G. Nazmitdinov, A.K. Nasirov, C.J. Lin, H.M. Jia, A. Gozdz, “Application of KANTBP Program of Finite Element Method in the Coupled-channels Calculations for Heavy-ion Fusion Reactions”, *Acta Phys. Pol. B* **13**, 549-558 (2020)
21. E.A. Koval, O.A. Koval, “Aspects of arbitrarily oriented dipoles scattering in plane: short-range interaction influence”, *Phys. Rev. A* **102**, 042815 [11 pages] (2020)
22. S. Houamer, O. Chuluunbaatar, I.P. Volobuev, Yu.V. Popov, “Compton ionization of hydrogen atom near threshold by photons in the energy range of a few keV: Nonrelativistic approach”, *Eur. Phys. J. D* **74**, 81 [9 pages] (2020)
23. T. P. Grozdanov, A. A. Gusev, E. A. Solov’ev, S.I. Vinitsky, “Frozen-planet resonances in doubly excited helium atom; adiabatic approach”, *Eur. Phys. J. D* **74**, 161 [7 pages] (2020)
24. T. P. Grozdanov, E. A. Solov’ev, “Hidden-crossing explanation of frozen-planet resonances in antiprotonic helium; their positions and widths”, *Eur. Phys. J. D* **74**, 50 [5 pages] (2020)
25. D.M. Janseitov, N. Burtebayev, Zh. Kerimkulov, D. Alimov, M. Nassurlla, B. Mauyey, D.S. Valiolda, A.S. Demyanova, A. Danilov, Sh. Hamada, A. Aimaganbetov, “Investigation of Deuteron Scattering from 13C at Low Energy”, *Acta Physica Polonica B* **51**, 745-750 (2020)
26. M. Kircher, F. Trinter, S. Grundmann, I. Vela-Perez, S. Brennecke, N. Eicke, J. Rist, S. Eckart, S. Houamer, O. Chuluunbaatar, Yu. V. Popov, I.P. Volobuev, K. Bagschik, M. N. Pianc et al, “Kinematically complete experimental study of Compton scattering at helium atoms near the threshold”, *Nature Physics* **16**, 756-760 (2020)
27. A.S. Demyanova, V. I. Starastsin, A. N. Danilov, A. A. Ogloblin, S. V. Dmitriev, S. A. Goncharov, T. L. Belyaeva, V. A. Maslov, Yu. G. Sobolev, W. Trzaska, P. Heikkinen, G. P. Gur et al, “Possible neutron and proton halo structure in the isobaric analog states of A=12 nuclei”, *Phys. Rev. C* **102**, 054612 [8 pages] (2020)
28. V.N.Kondratyev, “Properties and Composition of Magnetized Nuclei”, *Particles* **3**, 272–277 (2020)
29. E.A.Solov'ev, “Semiclassical approach in classical representation”, *Quantum Stud.: Math. Found* **7**, 1 [4 pages] (2020)
30. M. Nassurlla, N. Burtebayev, D.M. Janseitov, Zh. Kerimkulov, D. Alimov, A.K. Morzabayev, K. Talpakova, Y. Mukhamejanov, L.I. Galanina, A.S. Demyanov, A.N. Danilov, V. Starastsin, “Study of elastic and inelastic scattering of deuterons by 9Be at energy E=14.5 MeV”, Acta Physica Polonica B 51, 751-756 (2020)
31. A. Deveikis, A.A. Gusev, V. P. Gerdt, S.I. Vinitsky, A. Gozdz, A. Pedrak, C. Burdik, G.S. Pogosyan, “Symbolic-Numeric Algorithm for Computing Orthonormal Basis of O(5) SU(1,1) Group”, *Lecture Notes in Computer Science* **12291**, 206-227 (2020)
32. Demyanova, A. S., Danilov, A. N., Ogloblin, A. A., Starastsin, V. I., Dmitriev, S. V., Trzaska, W. H., Goncharov, S. A., Belyaeva, T. L., Maslov, V. A., Sobolev, Yu. G. et al., “States of 12 N with Enhanced Radii”, *JETP Letters* **111**, 483-484 (2020)
33. Пупышев В.В., “Двумерное низкоэнергетическое рассеяние квантовой частицы в суммарном поле кулоновского и степенного потенциалов,” *Теоретическая и математическая физика* **203**, 280-299 (2020)
34. Пупышев В.В., “Правило квантования Бора-Зоммерфельда в случае двумерного движения квантовой частицы в поле убывающего степенного потенциала”, *ЭЧАЯ* **51**, 494-500 (2020)
35. Е.А.Колганова, В.Руднев, “Слабосвязанные трехатомные LiHe2молекулы”, *Известия РАН серия физическая* **84**, 607-610 (2020)
36. G. Chuluunbaatar, A. Gusev, V. Derbov, S. Vinitsky, O. Chuluunbaatar, L.L. Hai, V. Gerdt, “A Maple implementation of the finite element method for solving boundary-value problems for systems of second-order ordinary differential equations”, Communications in Computer and Information *Science* **1414**, 152-166 (2021)
37. O. Chuluunbaatar, S. Houamer, Yu.V. Popov, I.P. Volobuev, M. Kircher, R. Doerner, “Compton ionization of atoms as a method of dynamical spectroscopy”, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* **272**, 107820 [9 pages] (2021)
38. V.S. Melezhik, “Improving efficiency of sympathetic cooling in atom-ion and atom-atom confined collisions”, *Phys. Rev. A* **103**, 053109 [13 pages] (2021)
39. B. Piraux, A. Galstyan, Yu.V. Popov, F. Mota-Furtado, P.F. O’Mahony, “Perturbative treatment of the Coulomb potential in laser-atom interactions”, *Eur. Phys. J. D* **75**, 196 [9 pages] (2021)
40. V.N. Kondratyev, “R-Process with Magnetized Nuclei at Dynamo-Explosive Supernovae and Neutron Star Mergers” *Universe* **7,** 487-493 (2021)
41. V.L.Derbov, G.Chuluunbaatar, A.A.Gusev, O.Chuluunbaatar, S.I.Vinitsky, A.Gozdz, P.M.Krassovitskiy, I.Filikhin, A.V.Mitin, “Spectrum of beryllium dimer in ground X1 Sigma\_g+ state”, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* **262**, 107529 [10 pages] (2021)
42. V. Starastsin, A. Demyanova, A. Danilov, A. Ogloblin, S. Dmitriev, S. Goncharov, Cheng-Jian Lin, Lei Yang, Dong-Xi Wang, Hui-Ming Jia, Fu-Peng Zhong, Feng Yang, Yong-Jin Yao, Shan-Hao Zhong, Pei-Wei Wen, Nan-Ru Ma, Huan-Qiao Zhang, D. Janseitov, N. Burtebayev, S. Khlebnikov, G. Adamian, N. Antonenko, “Structures of the excited states in 9Be studied by scattering of 23 MeV deuterons”, *Eur. Phys. J. A* **57**, 334 [12 pages] (2021)
43. A. Deveikis, A. Gusev, S. Vinitsky, A. Gozdz, A. Pedrak, C. Burdik, G.Pogosyan, “Symbolic-Numeric Algorithms for Computing Orthonormal Bases of SU(3) Group for Orbital Angular Momentum”, *Lecture Notes in Computer Science* **12865**, 100-120 (2021)
44. A. Demyanova, V. Starastsin, A. Ogloblin, A. Danilov, S. Dmitriev, W. Trzaska, P. Heikkinen, T.Belyaeva, S. Goncharov, V. Maslov, Yuri S et al, “The spin-parities of the 13.35 MeV state and high-lying excited states around 20 MeV in 12C nucleus”, *Eur. Phys. J. A* **57**, 204 [13 pages] (2021)
45. A.S. Demyanova, A.N. Danilov, S.V. Dmitriev, A.A. Ogloblin, V.I. Starastsin, S.A. Goncharov, D.M. Janseitov, “Search for Exotic States in 13C”, *JETP Letters* **114**, 303-308 (2021)
46. Пупышев В.В., “Низкоэнергетические асимптотики фаз двумерного рассеяния квантовой частицы центральным дальнодействующим потенциалом”, *Теоретическая и математическая физика* **207**, 72-98 (2021)
47. С. И. Виницкий, А. А. Гусев, В. Л. Дербов, П. М. Красовицкий, Ф. М. Пеньков, Г. Чулуунбаатар, “Редуцированная модель SIR пандемии COVID-19”, *Журнал вычислительной математики и математической физики* **61**, 400-412 (2021)
48. В. Н. Кондратьев, “Синтез намагниченных тяжелых ядер*”, Известия РАН. Сер. Физ*. **85**, 673 – 677 (2021)
49. T.P. Grozdanov, E.A. Solov’ev, “3D scattering by 2D periodic zero-range potentials: total reflection/transmission and threshold effects”, *Eur. Phys. J. B* **95**, 16 [14 pages] (2022)
50. I. S. Stepantsov, I.P. Volobuev, Yu. V. Popov, “Comparative analysis of the Compton ionization of hydrogen and positronium”, *Eur. Phys. J. D* **76**, 30 [9 pages] (2022)
51. O. Chuluunbaatar, S. Houamer, Yu.V. Popov, I.P. Volobuev, M. Kircher, R. Doerner, “Compton double ionization of the helium atom: Can it be a method of dynamical spectroscopy of ground state electron correlation?”, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* **272**, 108020 [9 pages] (2022)
52. Yu. V. Popov, I. P. Volobuev, O. Chuluunbaatar, S. Houamer, “Compton Ionization of Atoms as a New Method of Spectroscopy of Outer Shells Physics of Particles and Nuclei”, *Physics of Particles and Nuclei* **53**, 191-196 (2022)
53. Kondratyev, V.N., Lobanovskaya, T.D., Torekhan, D.B., “Effect of Protoneutron Star Magnetized Envelops in Neutrino Energy Spectra”, *Particles* **5**, 128–134 (2022)
54. D. Valiolda, D. Janseitov, V. Melezhik, “Investigation of low-lying resonances in breakup of halo nuclei within the time-dependent approach”, *Eur. Phys. J. A* **58**, 34 [13 pages] (2022)
55. M. Kircher, F. Trinter, S. Grundmann, G. Kastirke, M. Weller, I. Vela-Perez, A.Khan, C. Janke, M. Waitz, S. Zeller, T. Mletzko, D. Kirchner, V. Honkimaki, S.Houamer, O. Chuluunbaa et al, “Ion and electron momentum distributions from single and double ionization of helium induced by Compton scattering”, *Phys. Rev. Lett*. **128**, 053001 [6 pages] (2022)
56. O. Chuluunbaatar, A.A. Gusev, S.I. Vinitsky and A.G. Abrashkevich, P.W. Wen, C.J. Lin, “KANTBP 3.1: A program for computing energy levels, reflection and transmission matrices, and corresponding wave functions in the coupled-channel and adiabatic approaches”, *Computer Physics Communications* **278**, 108397 [14 pages] (2022)
57. V.P. Tsvetkov, S.A. Mikheev, I.V. Tsvetkov, V.L. Derbov, A.A. Gusev, S.I. Vinitsky, “Modeling the multifractal dynamics of COVID-19 pandemic”, *Chaos, Solitons and Fractals* **161**, 110301 [9 pages] (2022)
58. S.Albeverio, A.K.Motovilov, “Optimal bounds on the speed of subspace evolution”, *J. Physics A* **55**, 235203 [17 pages] (2022)
59. G.Chuluunbaatar, O.Chuluunbaatar, A.A.Gusev, S.I.Vinitsky, “PI-type fully symmetric quadrature rules on the 3-, …, 6-simplexes”, *Computers & Mathematics with Applications* **124**, 89-97 (2022)
60. A. Deveikis, A.A. Gusev, S.I. Vinitsky, Y.A. Blinkov, A. Gozdz, A. Pedrak, P.O. Hess, “Symbolic-Numeric Algorithm for Calculations in Geometric Collective Model of Atomic Nuclei”, *Lecture Notes in Computer Science* **13066**, 103-123 (2022)
61. V.S. Melezhik, “A New Mechanism for Sympathetic Cooling of Atoms and Ions in Atomic and Ion-Atomic Traps”, *Physics of Particles and Nuclei* **53**, 795-799 (2022)
62. O. I. Kartavtsev and A. V. Malykh, “Minlos-Faddeev regularization of zero-range interactions in the three-body problem”, *JETP Letters* **116**, 179-180 (2022)
63. S.Albeverio, A.K.Motovilov, “Quantum speed limits for time evolution of a system subspace”, *Physics of Particles and Nuclei* **53**, 287-291 (2022)

**2.3. Предполагаемый срок выполнения 2024-2028**

**2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ**

**ЛТФ в сотрудничестве с ЛЯР, ЛИТ, ЛЯП**

**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 | 14 | 1 |
| 2. | инженеры | 0 | 0 |
| 3. | специалисты | 2 | 0 |
| 4. | служащие | 0 | 0 |
| 5. | рабочие | 0 | 0 |
|  |  | **Итого: 16** | **1** |

**3.2. Доступные кадровые ресурсы**

**3.2.1. Основной персонал ОИЯИ, ЛТФ**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№№**  **п/п** | **Категория работников** | **ФИО** | **Должность** | **FTE** |
| 1. | научные работники | Валиолда Динара | м.н.с. | 100% |
| 2. |  | Джансейтов Данияр | н.с. | 50% |
| 3. |  | Коваль Евгений Александрович | н.с. | 100% |
| 4. |  | Малых Анастасия Владимировна | н.с. | 100% |
| 5. |  | Кондратьев Владимир Николаевич | с.н.с. | 100% |
| 6. |  | Попов Юрий Владимирович | с.н.с. | 50% |
| 7. |  | Шадмехри Сара Аббас | с.н.с. | 100% |
| 8. |  | Виницкий Сергей Ильич | в.н.с. | 100% |
| 9. |  | Колганова Елена Александровна | в.н.с. | 50% |
| 10. |  | Мележик Владимир Степанович | в.н.с. | 100% |
| 11. |  | Пупышев Василий Вениаминович | в.н.с. | 100% |
| 12. |  | Ракитянский Сергей Анатольевич | в.н.с. | 100% |
| 13. |  | Соловьев Евгений Александрович | в.н.с. | 100% |
| 14. |  | Мотовилов Александр Константинович | нач.сектора | 100% |
| 15. | специалисты | Торехан Димаш | ст.лаб | 50% |
| 16. |  | Хамитова Динара Райхатовна | ст.лаб | 50% |
|  | **Итого:** | **11 чел. – основное место работы**  **5 чел. - совместители** |  |  |

**4. Финансовое обеспечение**

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



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

Форма № 25

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ НЕСКОЛЬКИХ ЧАСТИЦ

ТЕМА: «ТЕОРИЯ ЯДЕРНЫХ СИСТЕМ»

ФАМИЛИИ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРОЕКТА: Мотовилов А.К., Мележик В.С.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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 |