

**КРАТКИЙ ОБЗОР
ВАЖНЕЙШИХ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В 2024 ГОДУ**

**BRIEF REVIEW
OF TOPMOST SCIENTIFIC RESULTS
OBTAINED IN 2024
AT THE JOINT INSTITUTE
FOR NUCLEAR RESEARCH**



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

**КРАТКИЙ ОБЗОР
ВАЖНЕЙШИХ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В 2024 ГОДУ**

**BRIEF REVIEW
OF TOPMOST SCIENTIFIC RESULTS
OBTAINED IN 2024
AT THE JOINT INSTITUTE
FOR NUCLEAR RESEARCH**

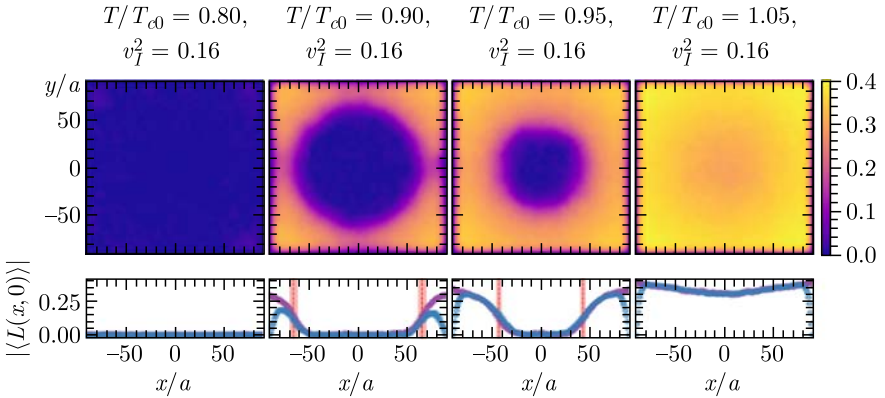
Дубна 2025

ISBN 978-5-9530-0638-5

© Объединенный институт
ядерных исследований, 2025

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

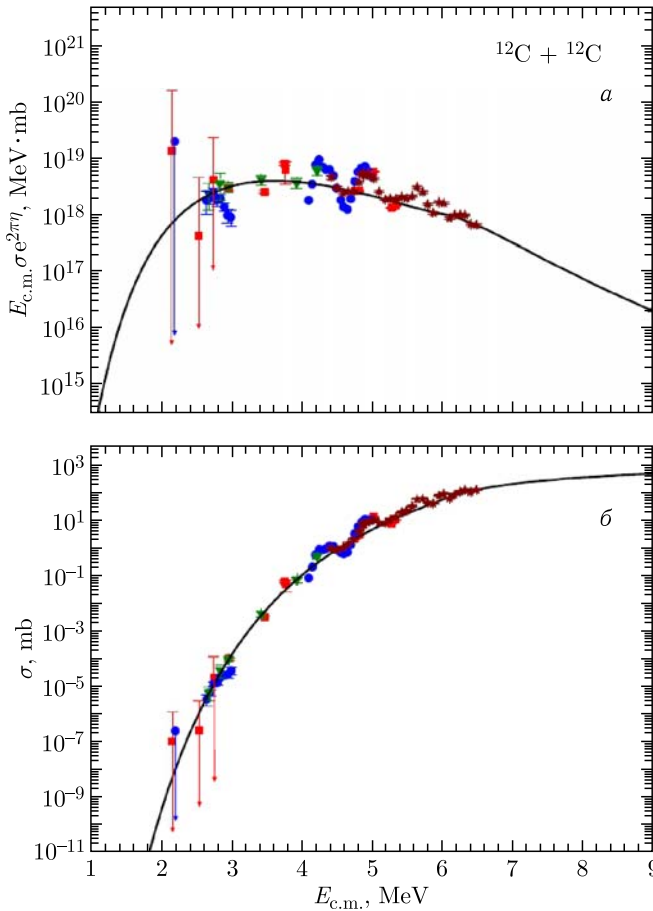
С использованием численного моделирования, основанного на первопринципах теории поля, обнаружена новая пространственно-неоднородная фаза во вращающейся $N_c = 3$ глюонной плазме. В этой смешанной фазе одновременно сосуществуют области в фазах конфайнмента и деконфайнмента в состоянии термального равновесия. Оказалось, что локальная критическая температура фазового перехода на оси вращения не зависит от угловой скорости с точностью до нескольких процентов. Аналитическое продолжение результатов в область действительных значений угловой скорости свидетельствует о нарушении закона Толмана–Эренфеста в окрестности фазового перехода, поскольку фаза конфайнмента (деконфайнмента) оказывается локализованной вдали (вблизи) оси вращения.



Вверху: распределение локальной петли Полякова в плоскости x, y для решетки размером $5 \times 30 \times 181^2$ с открытыми граничными условиями при фиксированной температуре на оси $T = 0,95 T_{c0}$ и различных мнимых угловых частотах. Внизу: петля Полякова на оси x . Вертикальные линии обозначают границы фаз. Фиолетовые (синие) точки данных соответствуют периодическим (открытым) граничным условиям

- *Braguta V. V., Chernodub M. N., Roenko A. A.* New Mixed Inhomogeneous Phase in Vortical Gluon Plasma: First-Principle Results from

Реакции слияния легких ядер при чрезвычайно низких энергиях (относительно соответствующего кулоновского барьера) имеют фундаментальное значение для астрофизики. Сечения этих реакций определяют ключевые этапы эволюции массивных звезд, оказывают существенное влияние на взрывные астрофизические процессы и формируют распределение химических элементов во Вселенной. Исследования, выполненные в рамках расширенного

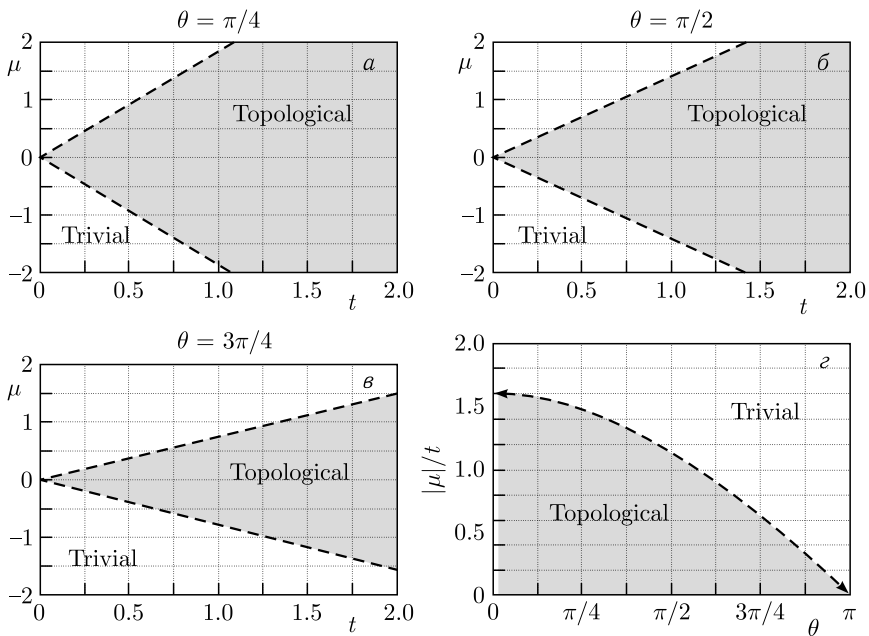


Рассчитанный астрофизический S-фактор (а) и функция возбуждения (б) для реакции слияния $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$

квантового диффузионного подхода, выявили наличие максимума в структуре астрофизического S-фактора для данных реакций. На примере таких ключевых для астрофизики реакций, как $^{12,13}\text{C} + ^{12,13}\text{C}$, была продемонстрирована сильная энергетическая зависимость S-фактора при низких энергиях. Наличие максимума и выраженная энергетическая зависимость S-фактора указывают на значительное подавление сечения слияния для этих реакций, что, в свою очередь, приводит к существенному снижению скоростей термоядерного синтеза.

- *Sargsyan V. V., Adamian G. G., Antonenko N. V. Astrophysical S-Factors for Complete Fusion Reactions $^{12,13}\text{C} + ^{12,13}\text{C}$ // Eur. Phys. J. A. 2024. V. 60. P. 180; <https://doi.org/10.1140/epja/s10050-024-01406-3>.*

Топологические сверхпроводники с нулевыми майорановскими модами имеют фундаментальное научное значение в связи с их предполагаемым применением в топологически защищенных квантовых вычислениях. Среди различных предлагаемых платформ ши-



a–в) Зависимость тривиальной и топологической фазы от угла поворота спина через соседние узлы (θ). г) Условие $|\mu|/t < 2 \cos(\theta/2)$, определяющее топологическую фазу

роко исследовалась как теоретически, так и экспериментально гетероструктура, в которой одномерная полупроводниковая нанопроволока помещена поверх s -волнового сверхпроводника. Наличие магнитного поля и спин-орбитальное взаимодействие типа Рашбы являются двумя обязательными условиями возникновения нулевых майорановских мод в этих гетероструктурах, однако эти же условия накладывают серьезные ограничения на выбор материалов и миниатюризацию гетероструктуры. Для решения этой проблемы предложена гетероструктура, в которой одномерная нанопроволока с сильной электрон-электронной корреляцией помещена поверх расширенного s -волнового сверхпроводника. Показано, что в предлагаемой гетероструктуре нулевые майорановские моды могут возникать за счет сильной электрон-электронной корреляции, которая эффективно заменяет поле Зеемана и обменное магнитное поле. Для экспериментальной реализации исследуемой системы предложены несколько схем гетероструктур.

- *Kesharpu K. K., Kochetov E. A., Ferraz A.* Proposal for Realizing Majorana Fermions without External Magnetic Field in Strongly Correlated Nanowires // *Phys. Rev. B.* 2024. V. 109. P. 115140; <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.109.115140>.

Геометрия гравитационной ударной волны определяется тем, что ее фронт является нулевой гиперповерхностью, при пересечении которой компоненты тензора кривизны изменяются скачкообразно. Для описания воздействия гравитационной ударной волны на полевые системы разработан общий подход, применимый к полям с различными спинами. Возмущения, вызывающие ударную волну, найдены как решения характеристической задачи Коши с начальными данными на волновом фронте, определяемыми супертрансляцией входящих полей. Предсказаны новые физические эффекты, такие как излучение электромагнитных и гравитационных волн из-за взаимодействия точечных зарядов или масс с гравитационной ударной волной, возникновение вторичных ударных волн в самих полевых системах и ряд других эффектов. Подход применим к гравитационным ударным волнам общего класса, включая геометрии, источниками которых являются нулевые частицы, нулевые космические струны и нулевые браны.

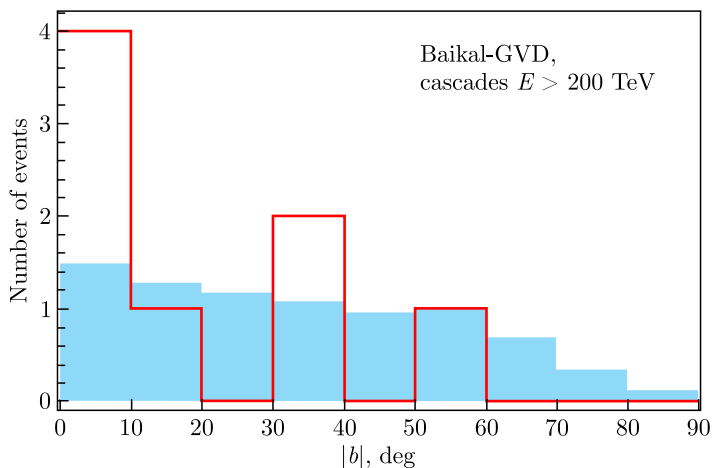
- *Fursaev D. V., Davydov E. A., Pirozhenko I. G., Tainov V. A.* Perturbations of Classical Fields by Gravitational Shockwaves // *J. High Energy Phys.* 2024. V. 11. P. 039.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА

Физика частиц

После завершения зимней экспедиции 2024 г. количество регистрирующих оптических модулей в составе глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD на озере Байкал превысило 4100, эффективный объем для регистрации событий от нейтрино высоких энергий (свыше 100 ТэВ) составил более 0,6 км³.

Анализ каскадных событий от нейтрино, полученных при работе детектора в конфигурациях 2018–2023 гг., показал, что поток галактических нейтрино с энергией $E > 200$ ТэВ намного выше, чем предсказывается современными моделями. Этот результат Baikal-GVD подтверждается анализом общедоступных данных нейтринного телескопа IceCube с энергией $E > 200$ ТэВ. Комбинированный результат двух экспериментов указывает на актуальность развития новых представлений о происхождении и распространении космических лучей в нашей Галактике и требует более точных измерений.



Распределение каскадных событий Baikal-GVD с энергией выше 200 ТэВ по галактической широте (модуль значения $|b|$ в градусах): наблюдаемых (красная гистограмма) и ожидаемых (заштрихованная)

- Allakhverdyan V. A., Avrorin A. D., Avrorin A. V., Aynutdinov V. M. et al. (Baikal-GVD Collab.), Kovalev Y. Y., Plavin A. V., Semikoz D. V., Troitsky S. V. Probing the Galactic Neutrino Flux at

На Калининской АЭС проводятся два эксперимента, направленных на исследование фундаментальных свойств нейтрино: νGeN и DANSS.

В 2024 г. в эксперименте νGeN получены новые верхние ограничения на регистрацию эффекта упругого когерентного рассеяния реакторных антинейтрино. Ограничения превышают в 4,3 и 1,4 раза число ожидаемых событий в зависимости от используемой модели квенчинга ядер отдачи. Проведено дополнительное исследование фоновых условий, создан мюонный телескоп для изучения потока космических мюонов в месте измерений, продолжается набор данных.

В эксперименте DANSS достигнута рекордная статистика в 7,7 млн зарегистрированных антинейтринных событий от реактора №4, что позволило получить новые ограничения на параметры осцилляций в стерильные нейтрино. Также проведен анализ работы сцинтилляционных ячеек детектора из полистирола за 6,5 лет измерений. Установленная деградация световыходов составляет $(0,55 \pm 0,05) \%$ в год, что заметно ниже, чем в аналогичных экспериментах. Наблюдается и сокращение длины затухания света в спектросмещающих волноводах на $(0,26 \pm 0,04) \%$ в год.

- *Belov V. et al. ($\nu\text{GeN Collab.}$). New Constraints on Coherent Elastic Neutrino–Nucleus Scattering by the νGeN Experiment // Chin. Phys. C (submitted).*
- *Alekseev I. G. et al. The DANSS Experiment: Recent Results and Perspective // Bull. Lebedev Phys. Inst. 2024. V. 51. P. 8–15.*
- *Alekseev I. G. et al. Study of Polyesterene Based Scintillator Ageing in the DANSS Experiment // J. Instrum. 2024. V. 19. P. 04031.*

В 2024 г. был представлен первый совместный анализ данных ускорительных нейтринных экспериментов NOvA (США) и T2K (Япония), активную роль в подготовке которого сыграл ОИЯИ. До этого времени ни в одном нейтринном эксперименте не проводился полноценный (со статистической точки зрения) совместный анализ данных с другим экспериментом такой же постановки. Полученные значения параметров осцилляций нейтрино являются более точными по сравнению с индивидуальными результатами, полученными в каждом эксперименте в отдельности.

- *Vallari Z., Atkin E.* <https://indico.fnal.gov/event/62062/>, <https://kds.kek.jp/event/49811/>.
- *Kolupaeva L.* NOvA and NOvA + T2K Results. <https://agenda.infn.it/event/39753/contributions/233599/>.

В международном эксперименте с реакторными электронными антинейтрино JUNO (Китай), нацеленном на определение иерархии масс нейтрино и прецизионное измерение параметров осцилляций, при весомом вкладе ОИЯИ завершена сборка центрального детектора (диаметром 35 м) и подключение электроники (18 000 фотоумножителей). Получена новая оценка чувствительности эксперимента к иерархии масс нейтрино, учитывающая наиболее точные и актуальные характеристики детектора: JUNO достигнет 3σ за 7 лет набора данных.

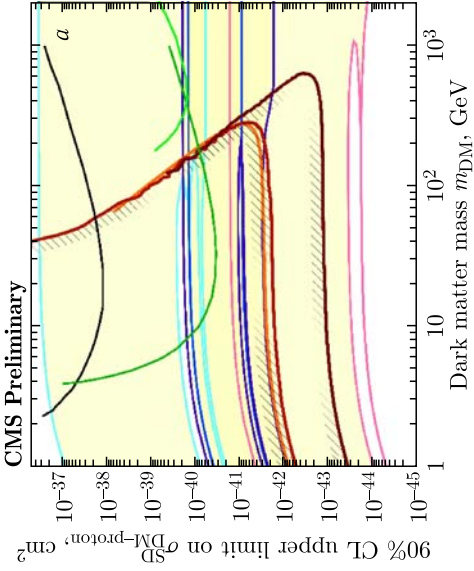
- *JUNO Collab.* Potential to Identify the Neutrino Mass Ordering with Reactor Antineutrinos in JUNO // *Chin. Phys. C.* (accepted); doi:10.1088/1674-1137/ad7f3e.

В эксперименте NA64 на SPS ЦЕРН в 2024 г. в электронном пучке набрано $5,2 \cdot 10^{11}$ e^- -событий при энергии 100 ГэВ и $2,3 \cdot 10^{10}$ e^+ -событий при 70 ГэВ на мюонном канале при энергии 160 ГэВ; установка зарегистрировала $2,5 \cdot 10^{11}$ событий. Суммарная статистика на электронах составила $2 \cdot 10^{12}$, а на мюонах $\sim 4,5 \cdot 10^{11}$ eot. Проведен первый анализ мюонных данных, опубликованы результаты поиска легкой темной материи, установлены ограничения на объяснение $(g-2)_\mu$ аномалии существованием Z' -бозона.

- *Andreev Yu. et al.* First Results in the Search for Dark Sectors at NA64 with the CERN SPS High Energy Muon Beam // *Phys. Rev. Lett.* 2024. V. 132. P. 211803.

Группа ОИЯИ в эксперименте CMS на LHC участвовала в поиске частиц-кандидатов на роль темной материи (ТМ) при энергии 13 ТэВ в канале образования калибровочного бозона Z^0 с большой долей недостающей поперечной энергии. В комбинации с другими каналами наблюдения получены уникальные ограничения на сечения взаимодействия частиц темной материи с веществом.

- *Hayrapetyan A. et al. (CMS Collab.).* Development of the CMS Detector for the CERN LHC Run 3 // *J. Instrum.* 2024. V. 19. P. 05064.



CMS observed exclusion 90% CL

Axial-vector med., Dirac DM;

$$g_q = 0.25, g_{\text{DM}} = 1.0$$

Boosted dijet (77 fb⁻¹)

Phys. Rev. D 100 (2019) 112007

Dijet + ISR j (18.3 fb⁻¹)

Phys. Lett. B 805 (2020) 135448

b-tagged dijet (19.7 fb⁻¹)

Phys. Rev. Lett. 120 (2018) 201801

Dijet (137 fb⁻¹)

JHEP 05 (2020) 033

DM + Zn (137 fb⁻¹)

Eur. Phys. J. C 81 (2021) 13

DM + γ (35.9 fb⁻¹)

JHEP 02 (2019) 074

DM + j/V_{ag} (137 fb⁻¹)

JHEP 11 (2021) 153

DD/ID observed exclusion 90% CL

— **PICASSO**

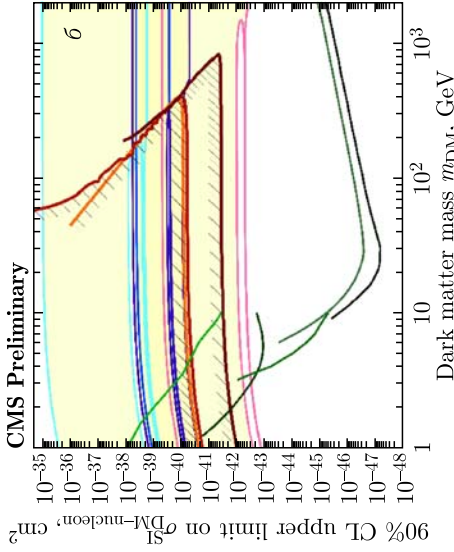
Astropart. Phys. 90 (2017) 85

— **PICO-60**

Phys. Rev. Lett. 118 (2017) 251301

— **IceCube (tt)**

JCAP 04 (2016) 022



CMS observed exclusion 90% CL

Vector med., Dirac DM;

$$g_q = 0.25, g_{\text{DM}} = 1.0$$

- **Boosted dijet** (77 fb^{-1})
Phys. Rev. D 100 (2019) 112007
- **Dijet + ISR j** (18.3 fb^{-1})
Phys. Lett. B 805 (2020) 135448
- **b-tagged dijet** (19.7 fb^{-1})
Phys. Rev. Lett. 120 (2018) 201801
- **Dijet** (137 fb^{-1})
Phys. Rev. D 100 (2020) 033
- **DM + Zn** (137 fb^{-1})
Eur. Phys. J. C 81 (2021) 13
- **DM + γ** (35.9 fb^{-1})
JHEP 02 (2019) 074
- **DM + $j/\bar{j}/V_{qq}$** (137 fb^{-1})
JHEP 11 (2021) 153

DD observed exclusion 90% CL

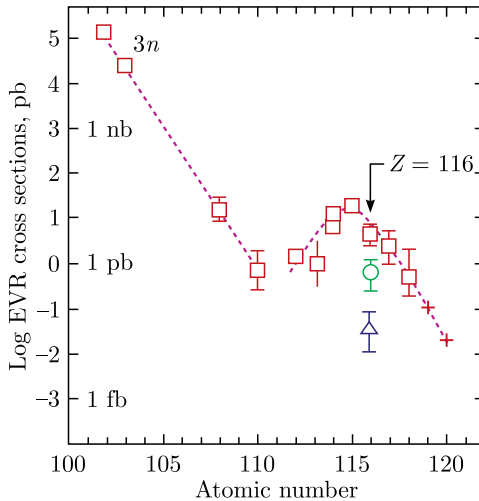
- **CRESST-III**
Phys. Rev. D 100 (2019) 102002
- **DarkSide-50**
Phys. Rev. D 107 (2023) 063001
- **PandaX-4T**
Phys. Rev. Lett. 130 (2023) 021802
- **XENONnT**
Phys. Rev. Lett. 131 (2023) 041003
- **LZ**
Phys. Rev. Lett. 131 (2023) 041002

Верхние пределы на сечения взаимодействия частиц темной материи с нуклонами в предположении аксиально-го (а) и векторного (б) переносчиков взаимодействий. Рассмотрен случай дираковских частиц ТМ с константами взаимодействия $g_q = 0,25$ и $g_{\text{DM}} = 1,0$

- *Hayrapetyan A. et al. (CMS Collab.). Performance of CMS Muon Reconstruction from Proton–Proton to Heavy Ion Collisions // J. Instrum. 2024. V. 19. P. 09012.*

Физика тяжелых ионов низких энергий

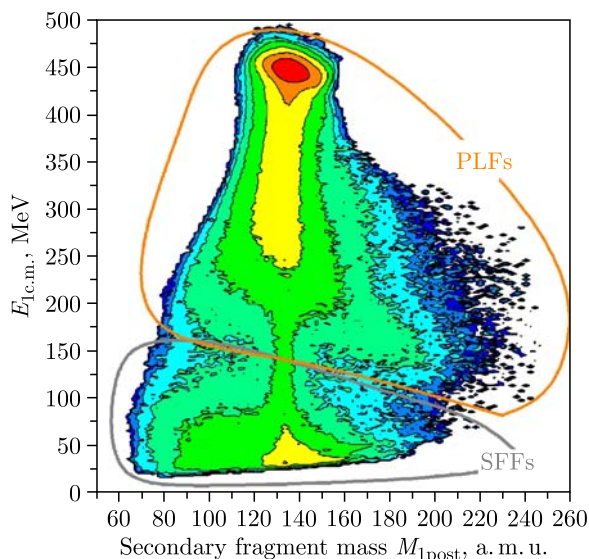
На ускорительном комплексе «Фабрика сверхтяжелых элементов» впервые выполнен эксперимент по синтезу изотопов 116-го элемента в реакции $^{50}\text{Ti} + ^{242}\text{Pu}$. Эксперимент направлен на поиск оптимальной реакции для синтеза новых сверхтяжелых элементов с номерами 119 и 120. Было измерено сечение при двух энергиях налетающего иона, а также зарегистрирован новый изотоп 116-го элемента — ^{289}Lv . Обработка экспериментальных данных продолжается.



Сечения образования элементов с $Z = 102–118$ в реакциях с ^{48}Ca (красные квадраты). Для элемента 116 показаны предварительные данные, полученные в реакциях с ^{54}Cr (синий треугольник) и ^{50}Ti (зеленый кружок)

- *Oganessian Yu. Ts. // Eur. Phys. J. A. 2024. Topical Collection: Heavy and Super-Heavy Nuclei and Elements: Production and Properties (to be published).*

Измерены характеристики продуктов реакций многонуклонных передач для систем $^{136}\text{Xe} + ^{238}\text{U}$ и $^{209}\text{Bi} + ^{238}\text{U}$. Данный тип реакций в последние годы рассматривается как перспективный (в отли-



Массово-энергетические распределения продуктов многоуклонных передач, зарегистрированных под углом 30° для реакции $^{136}\text{Xe} + ^{238}\text{U}$ при энергии пучка 1,11 ГэВ

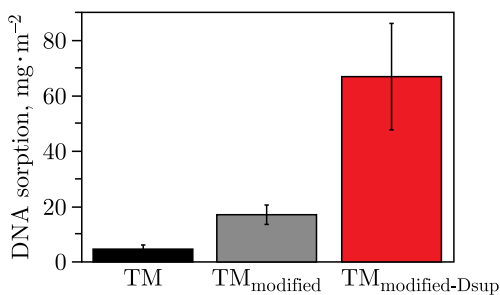
чие от других) метод получения новых тяжелых ядер. Изучены как характеристики выживших продуктов реакции (PLFs на рисунке), так и характеристики событий деления тяжелого фрагмента реакции (SFFs). Наиболее тяжелыми выжившими фрагментами, обнаруженными в настоящем исследовании для реакции $^{136}\text{Xe} + ^{238}\text{U}$, являются изотопы Es–Fm с массой 255 а. е. м. и сечением около 2 мкб.

- Kozulin E. M., Knyazheva G. N., Karpov A. V. et al. // Phys. Rev. C. 2024. V. 109. P. 034616.

Методами просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения, рентгеновской дифракции и рамановской спектроскопии изучена структура частично стабилизированного оксида циркония, облученного тяжелыми ионами высоких энергий. Показано, что основным эффектом такого воздействия, характерного для осколков деления, является переход $t \rightarrow t''$ из стабильной тетрагональной (t) в метастабильную тетрагональную фазу (t''). Установлено, что кристаллическая фаза t'' является более радиационно стойкой по сравнению с исходным состоянием, что делает оксид циркония одним из наиболее перспективных материалов нового поколения ядерного топлива.

- Kirilkin N. S., Vershinina T. N., O'Connell J. H., Rymzhanov R. A., Skuratov V. A., Boltueva V. A., Ghyngazov S. A. Exploring Metastable Phase Formation: Swift Heavy Ion Effects on Partially Stabilized Zirconia // J. Nucl. Mater. 2024. V. 602. P. 155369; <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2024.155369>.

Разрабатываются новые функциональные композиты на основе трековых мембран — пористого материала, получаемого облучением полимерных пленок ускоренными на циклотроне тяжелыми ионами и последующей физико-химической обработкой. Создана методика нанесения на поверхность трековой мембраны белка-супрессора, выделенного из тихоходки (*Tardigrada*) — одного из экстремофильных организмов. Полученная композитная мембрана способна извлекать и удерживать на своей поверхности ДНК из растворов с очень низкой концентрацией. Свойство нового материала улавливать внеклеточную ДНК из огромных объемов растворов с микроскопическим содержанием нуклеиновых кислот открывает новые возможности в молекулярной биологии, биотехнологии и экологическом мониторинге.

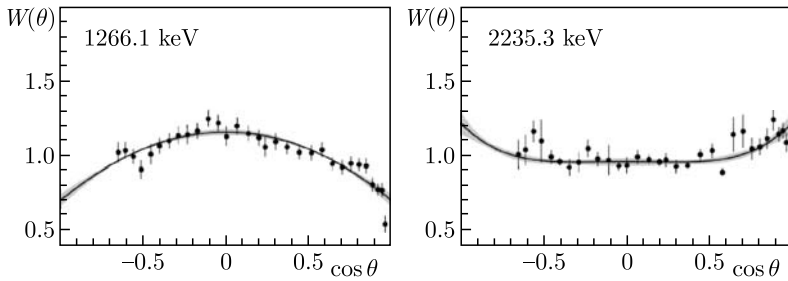


Сорбция плазмидной ДНК исходной трековой мембраной (TM), модифицированной мембраной с аминокруппами (TM_{modified}) и мембраной с ковалентно связанным белком тихоходки (TM_{modified}-Dsup)

- Zarubin M., Andreev E., Kravchenko E., Pinaeva U., Nechaev A., Apel P. Developing Tardigrade-Inspired Material: Track Membranes Functionalized with Dsup Protein for Cell-Free DNA Isolation // Biotechnol. Prog. 2024. V. 40. P. e3478; doi:10.1002/btpr.3478.

Нейтронная ядерная физика

Проведено изучение свойств γ -излучения, испускаемого продуктами реакций, вызываемых нейтронами с энергией 14 МэВ на легких и средних ядрах. Полученные данные о дифференциальных



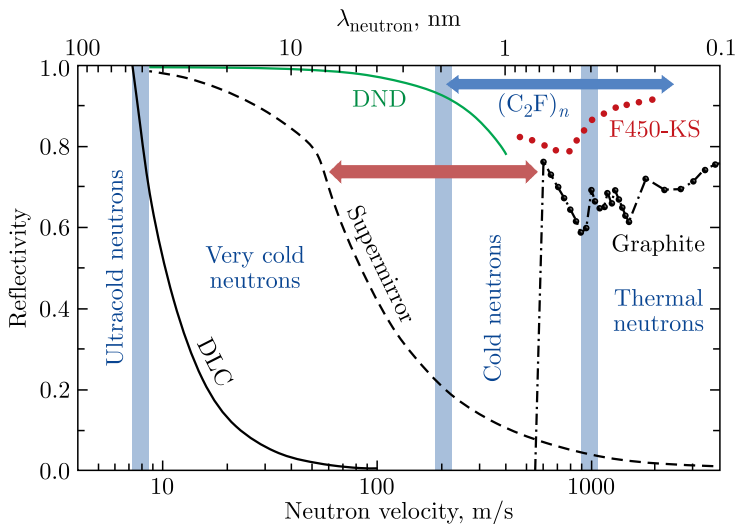
Угловое распределение γ -квантов, излучаемых ядром ^{30}Si , образующимся в реакции $^{31}\text{P}(n, d)$, в двух наиболее интенсивных переходах. Измерено впервые

сечениях ($d\sigma/d\Omega$) излучения γ -квантов важны для фундаментальных (тестирование моделей, получение данных о структуре ядра) и прикладных целей (создание установок для элементного анализа на основе ДТ-генераторов). Результаты для С, О, Si, S, Ti, P, Cr доложены на конференциях и опубликованы в 2024 г.

- *Grozdanov D.N., Fedorov N.A., Dabylova S.B., Kopatch Yu.N., Ruskov I.N., Skoy V.R., Tretyakova T.Yu., Hramco C., Kharlamov P.I., Pampushik G.V., Filonchik P.G., Andreev A.V.* Measurement of Yields and Angular Distributions of γ -Quanta from the Interaction of 14.1 MeV Neutrons with Oxygen, Phosphorus, and Sulfur // *Chin. Phys. C.* 2024. V. 48. P. 034003.

В рамках исследований возможностей создания высокопоточных источников холодных и очень холодных нейтронов в соответствии с рисунком (см. с. 16) было показано, что интеркалированные фтором графиты могут быть использованы в качестве эффективных отражателей холодных нейтронов с длинами волн 0,2–18 нм. Для этого был построен специальный дифрактометр и проведена серия измерений дважды дифференциальных сечений рассеяния нейтронов на графитах с использованием пучка PF1B в Институте им. Лауэ–Ланжевена (Франция).

- *Nesvizhevsky V., Henry K., Dauga L., Clavier B., Le Floch S., Lychagin E., Muzychka A., Nezvanov A., Pishedda V., Teander C., Turlybekuly K., Radescu S., Vigolo B., Cahen S., Hérolde C., Ghanbaja J., Zhernenkov K., Dubois M.* Poly(Dicarbon Monofluoride) (C_2F)_n Bridges the Neutron Reflectivity Gap // *Carbon.* 2024. V. 227. P. 119249; <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2024.119249>.



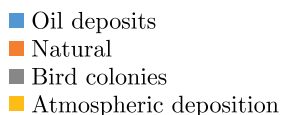
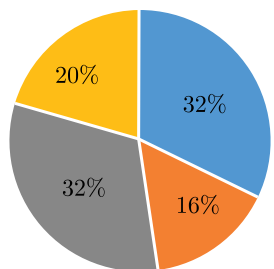
Вероятность упругого отражения для изотропного потока нейтронов как функция скорости нейтронов и длины волны для различных углеродных отражателей: 1) алмазоподобное покрытие (сплошная линия); 2) лучшее суперзеркало (штриховая линия); 3) порошок наноалмазов (зеленая сплошная линия), расчет; 4) реакторный графит (штрихпунктирная линия с точками), расчет; 5) интеркалированный фтором графит F450-KS (красная пунктирная линия)

Построен алгоритм численного решения нестационарного уравнения Шредингера десятого порядка точности, требующий в два раза меньшего количества математических операций по сравнению с классической формулой Ли–Троттера–Сузуки, что сокращает общее время расчета. Новый подход позволит проводить численное изучение более сложных современных нестационарных квантовых систем в нейтронной оптике, требующих высокое пространственное разрешение и одновременно большую исследуемую пространственную область.

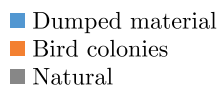
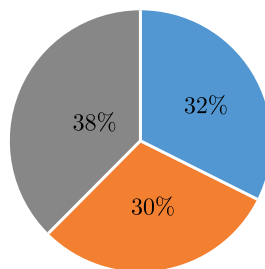
- *Zakharov M.A.* Tenth-Order Accurate Numerical Method for Solving the Time-Dependent Schrödinger Equation // *Comp. Math. Math. Phys.* 2024. V.64. P.248; <https://doi.org/10.1134/S0965542524020131>.

Ряд аналитических методов был применен для определения содержания радионуклидов и потенциально токсичных элементов в почвах, отобранных на Новой Земле. Средние содержания радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{235}U и ^{137}Cs) и металлов (Zn, Cu, Pb,

Factor contributions for toxic elements



Factor contributions for radionuclides



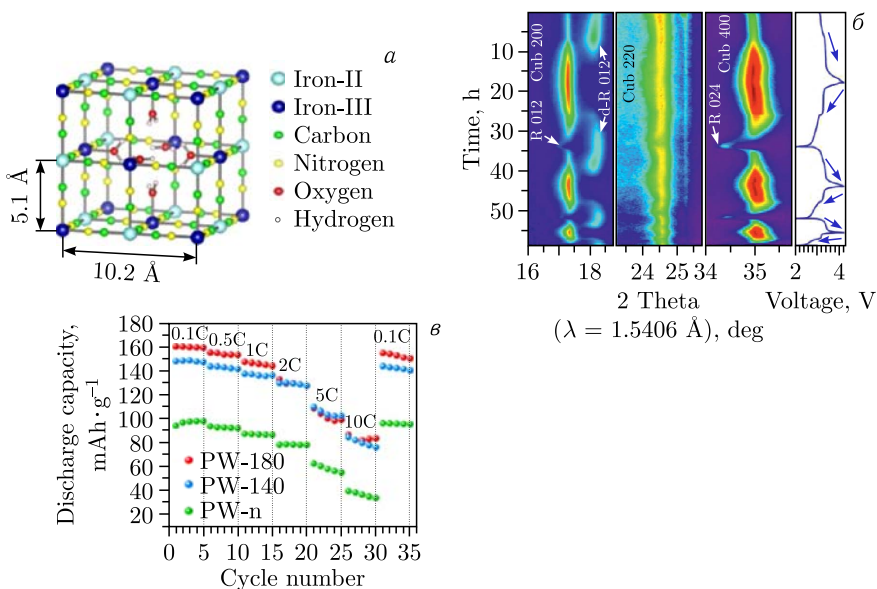
Основные источники тяжелых металлов и радионуклидов в почвах на Новой Земле

Cd, Ni и Cr) в некоторых точках превышали фоновые уровни. Основными источниками загрязнения можно считать добычу нефти, геологические породы, колонии птиц и атмосферные выпадения. Выявлены потенциальные риски (Ni и Fe) и для здоровья человека.

- *Yushin N., Jakhu R., Chaligava O., Grozdov D., Zinicovscaia I.* Evaluation of the Potentially Toxic Elements and Radionuclides in the Soil Sample of Novaya Zemlya in the Arctic Circle // *Environ. Pollut.* 2024. V. 361. P. 124871; <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124871>.

Физика конденсированных сред

Одним из путей улучшения свойств материалов для натрий-ионных аккумуляторов является удаление воды из структуры. Методами дифракции рентгеновских лучей и нейтронов было исследовано влияние дегидратации катодного материала из гексацианоферрата посредством предварительного отжига электродов на картину фазовых переходов в материале в ходе его заряда/разряда и на его электрохимические свойства (рисунок). После предварительного отжига наблюдалось формирование дегидратированной ромбоэдрической фазы в последовательности фазовых переходов в материале в ходе заряда/разряда электрохимической ячейки. Фрагментация микрометровых частиц исходного порошка гексацианоферрата до размеров порядка сотни нанометров в результате механического перемолта усиливает эффективность дегидратации в ходе предварительного отжига электродов и позволяет достичь

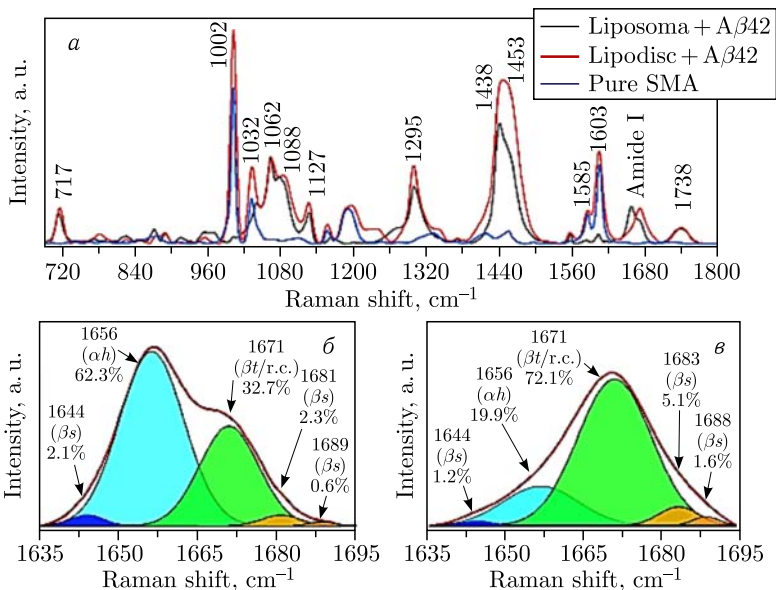


Структура гексацианоферрата натрия (PW) (а), рентгеновские дифракционные спектры образца PW после предварительного отжига, измеренные в ходе циклирования (б), емкость электродов PW при различных скоростях циклирования (в)

более высокой емкости на высоких скоростях электрохимического циклирования и меньшего падения емкости в ходе длительного циклирования.

- *Samoylova N. Yu., Bobrikov I. A., Razanau I., Sumnikov S. V., Vasin R. N., Korneeva E. A., Ponomareva O. Yu., Novikau U.* Peculiarities of Charge-Discharge Processes in Prussian White Electrodes with Different Level of Dehydration // *J. Alloys Compd.* 2024. V. 983. P. 173849.

Липид-белковые взаимодействия играют важную роль в поддержании целостности и функциональности клеточной мембраны. Понимание механизма взаимодействия пептида $A\beta$ с клетками имеет решающее значение для разработки методов ранней диагностики и профилактики различных нейродегенеративных заболеваний. С этой целью проведен комплексный анализ конформационной динамики пептида $A\beta_{42}$ в воде и в липосомах, а также и в липодисках, имитирующих мембранную систему, методами комбинационного рассеяния (КР) света и компьютерного моделирования.



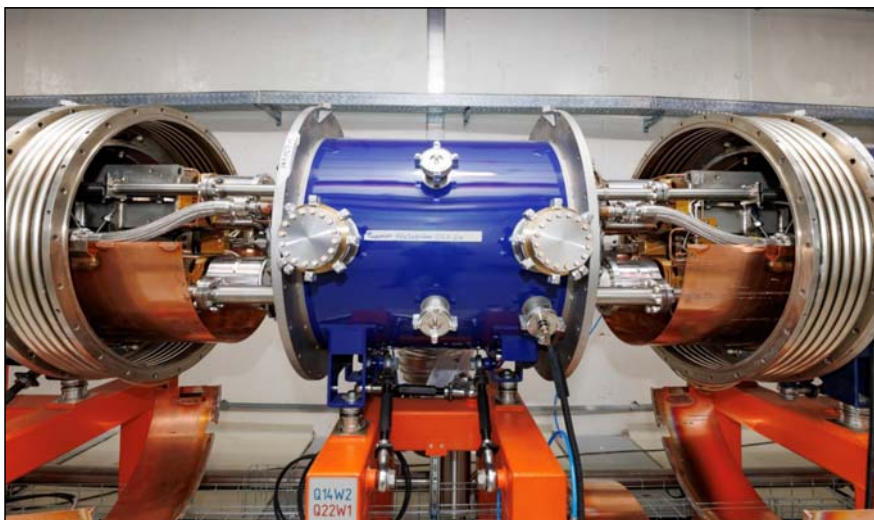
КР-спектры: стирол малеиновой кислоты (SMA, синяя линия), липосома/пептида (черная линия) и липодиска/пептида (красная линия) (а). Деконволюционные спектры КР в области Амид I линии: в липосоме/пептиде (б), в липодиске/пептиде (в). Красная линия — подогнанная кривая

Полученные результаты показывают, что вторичная структура Aβ42 в липосомах доминирует в конформации альфа-спирали, оставаясь стабильной с течением времени. В то же время было выявлено, что среда липодиска вызывает трансформацию вторичной структуры этого же пептида в β-поворот/произвольный виток (рисунок). Результаты спектроскопии КР были подтверждены моделированием методами молекулярной динамики и теории функционала плотности.

- Mamatkulov K., Zavatski S., Arynbeke Ye., Esawii H. A., Burko A., Bandarenka H., Arzumanyan G. Conformational Analysis of Lipid Membrane Mimetics Modified with Aβ42 Peptide by Raman Spectroscopy and Computer Simulations // J. Biomol. Struct. Dyn. 2024. V. 23; <https://doi.org/10.1080/07391102.2024.2330706>.

УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕМАТИКА

В ходе визита в ОИЯИ в июне 2024 г. Президент РФ В. В. Путин дал старт технологическому пуску ускорительного комплекса NICA, инжекторная часть которого была запущена ранее



Магниты коллайдера NICA собираются в единое кольцо

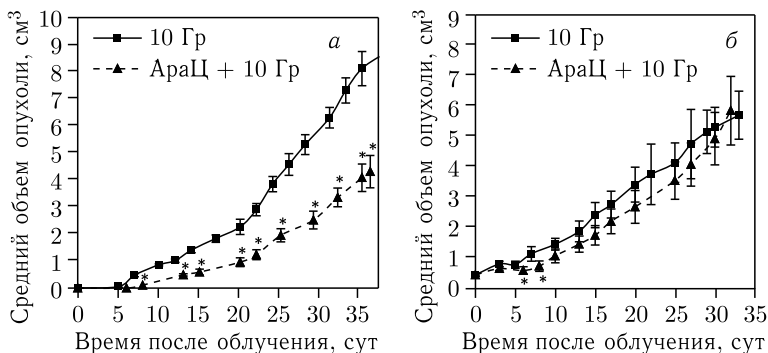
и продемонстрировала стабильную работу. Технологический пуск вывел подготовку запуска всего комплекса NICA на финишную прямую.

Ведется тестирование работы источников питания сверхпроводящей магнитной системы коллайдера, созданной в ЛФВЭ ОИЯИ по уникальной технологии. Она включает в себя 80 двухпертурных дипольных, 86 квадрупольных и более 100 корректирующих магнитов.

- <http://www.kremlin.ru/events/president/news/74273>.

РАДИАЦИОННЫЕ И РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовано модифицирующее действие 1- β -D-арабинофуранозилцитозина (АраЦ) при облучении протонами асцитной карциномы Эрлиха (АКЭ) в условиях *in vivo* и *ex vivo* на индукцию и рост солидных опухолей у мышей. Показано уменьшение скорости роста опухолей после облучения протонами в присутствии АраЦ в условиях как *in vivo*, так и *ex vivo*. Установлено, что количество формируемых двунитиевых разрывов (ДР) ДНК в условиях влияния модификатора при облучении как *ex vivo*, так и *in vivo* увеличивается. При этом количество ДР ДНК в клетках асцитной карциномы при облучении *in vivo* достоверно превышает уровень

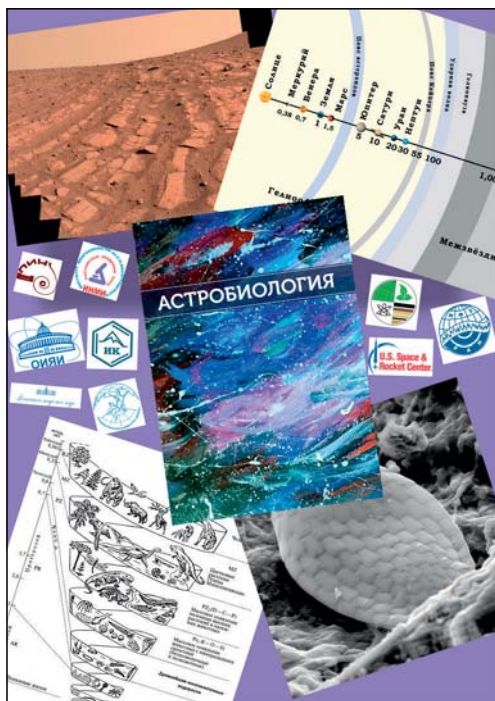


Динамика роста солидной АКЭ после имплантации облученных клеток *ex vivo* (а) и облучения протонами *in vivo* (б) в дозе 10 Гр и при комбинированном воздействии с АраЦ; * — $p \leq 0,05$ по сравнению с дозой протонов 10 Гр

повреждений при облучении *ex vivo*. Наиболее выраженные противоопухолевые эффекты АраЦ в комбинации с протонным излучением выявлены при облучении асцитных клеток *ex vivo*. Это может указывать на отличие в действии АраЦ на клетки, облучаемые *in vivo* и *ex vivo*, как на этапе первичного онкогенеза, так и в процессе развития сформировавшегося новообразования.

- Белякова Т.А., Розанова О.М., Смирнова Е.Н., Стрельникова Н.С., Красавин Е.А., Борейко А.В. Модифицирующее действие 1- β -D-арабинофуранозилцитозина при облучении протонами клеток карциномы Эрлиха в условиях *in vivo* и *ex vivo* на рост солидной опухоли у мышей // Письма в ЭЧАЯ. 2025. Т. 22, № 2(259) (в печати).
- Белякова Т.А., Розанова О.М., Смирнова Е.Н., Стрельникова Н.С., Красавин Е.А., Борейко А.В. Модифицирующее действие АраЦ при облучении протонами клеток карциномы Эрлиха в условиях *in vivo* и *ex vivo* на рост солидной опухоли у мышей // Матер. конф. «Актуальные проблемы радиационной биологии. Модификация радиационно-индуцированных эффектов». 2024. С. 51–53.

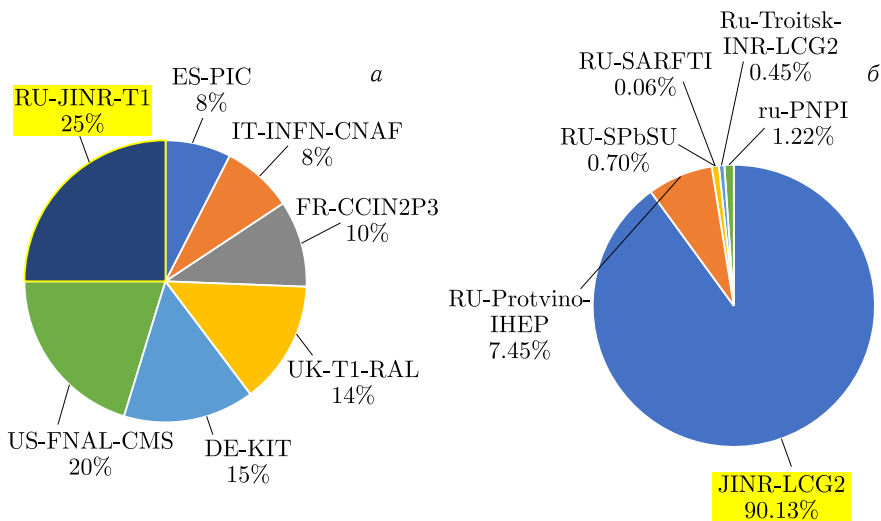
Издана монография «Астробиология». Предлагаемый читателю труд является первой попыткой обобщения накопленных знаний по астробиологии. В его создании приняли участие специалисты из разных научных организаций и областей науки. В книге изложена история развития взглядов на вопрос происхождения жизни, этапы становления астробиологии как науки, описаны фактология и модели, на которых эти мировоззрения основаны, и очерчен круг нерешенных вопросов и перспективных направлений исследований.



- *Алексеев А. О., Алексеева Т. В., Афанасьева А. Н., Гувер Р. Б., Капралов М. И., Ривкина Е. М., Рюмин А. К., Самылина О. С., Симаков М. Б., Снытников В. Н., Фронтасьева М. В., Цельмович В. А., Сапрыкин Е. А., Розанов А. Ю.* Астробиология / Под ред. А. Ю. Розанова, Е. А. Сапрыкина. Дубна, 2024. 199 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

В 2024 г. продолжились успешная эксплуатация и развитие Многофункционального информационно-вычислительного комплекса ОИЯИ. Создание в ОИЯИ ускорительного комплекса в рамках мегасайенс-проекта NICA и экспериментальных установок на нем потребовало расширения функций грид-сайтов ОИЯИ с включением их ресурсов в систему моделирования, обработки и хранения данных экспериментов VM@N, MPD и SPD. Емкость ленточного хранилища данных была увеличена с 50 до 90 ПБ. Грид-сайт Tier-1 ОИЯИ вышел на первое место в мире по суммарному времени ЦПУ, затраченному на обработку данных, среди центров Tier-1 для эксперимента CMS LHC. Сайт Tier-2



Распределение по нормированному времени загрузки CPU в HS23 часах за 2024 г. для Tier-1 сайтов для эксперимента CMS (а) и Tier-2 сайтов, входящих в консорциум RDIG (б)

в ОИЯИ является наиболее производительным в российском грид-сегменте (RDIG).

- *Baginyan A., Balandin A., Dolbilov A., Golunov A., Gromova N., Kashunin I., Korenkov V., Mitsyn V., Pelevanyuk I., Shmatov S., Strizh T., Trofimov V., Vorontsov A., Voytishin N.* JINR Grid Infrastructure: Status and Plans // Phys. Part. Nucl. 2024. V.55, No. 3. P. 355–359; <https://doi.org/10.1134/S1063779624030079>.

Для выполнения расчетов, связанных с массовой генерацией и обработкой данных экспериментов мегасайенс-проекта NICA, создана распределенная среда на основе платформы DIRAC Interware, объединяющая всю вычислительную инфраструктуру ОИЯИ. На ресурсах этой среды было проведено 36 сеансов массовой генерации данных и 10 сеансов анализа смоделированных данных эксперимента MPD. Общий объем смоделированных данных 1,6 ПБ. Коллаборация VM@N использует созданную инфраструктуру в том числе и для обработки экспериментальных данных, поступающих с детектора. На сегодня выполнено более 30 сеансов обработки данных разного объема, общее количество обработанных событий близко к 650 млн.

- *Gertsenberger K.V., Pelevanyuk I.S.* VM@N Run 8 Data Processing on a Distributed Infrastructure with DIRAC // Phys.

Part. Nucl. Lett. 2024. V.21. P.778–781; <https://doi.org/10.1134/S1547477124701334>.

- *Pelevanyuk I.S.* MLIT Resources and Services for the MPD Experiment // XIV Collab. Meet. of the MPD Experiment at NICA, Dubna, Russia, 14–16 Oct. 2024; <https://indico.jinr.ru/event/4806/contributions/27989/>.

Для эксперимента SPD развернут прототип системы обработки и анализа данных. На подготовленной платформе в 2024 г. обрабатывались задачи Монте-Карло моделирования: сгенерировано 200 млн событий общим объемом 100 ТБ. Совместно с коллегами из ЛЯП создан и введен в эксплуатацию стенд для разработки и отладки компонентов системы сбора данных установки SPD.

- *SPD Collab.* Technical Design Report of the Spin Physics Detector at NICA. arXiv:2404.08317.
- *Petrosyan A., Oleynik D., Zhemchugov A., Kiryanov A.* SPD Offline Computing System // Phys. Part. Nucl. 2024. V.55, No.3. P.450–452.

В рамках серии книг Mathematical Engineering издательство Springer Nature Switzerland опубликовало монографию «Новые разработки итерационных методов Ньютона для решения нелинейных задач». В монографии освещены основные результаты, полученные в ЛИТ ОИЯИ и Монгольском государственном университете. Исследуются итерации высшего порядка для решения нелинейных уравнений и их систем, а также их применение в линейной алгебре и некоторых нелинейных задачах теоретической физики.

- *Zhanlav T., Chuluunbaatar O.* New Developments of Newton-Type Iterations for Solving Nonlinear Problems. Cham: Springer, 2024. XIV. 281 p. Electronic book (Mathematical Engineering); <https://doi.org/10.1007/978-3-031-63361-4>.

На ресурсах экосистемы ML/DL/НРС гетерогенной платформы HybriLIT был развернут полигон для квантовых вычислений, позволяющий проводить расчеты с использованием библиотек, поддерживающих параллельные вычисления как на центральных процессорах, так и на графических ускорителях. Гетерогенная структура платформы позволяет оперативно изменять характеристики полигона, подстраивая его под требования задач пользователей, добавляя серверы с необходимыми вычислительными

компонентами в отношении как центральных процессоров, так и графических ускорителей.

- *Беляков Д. В., Боголюбская А. А., Зув М. И., Палий Ю. Г., Подгайный Д. В., Стрельцова О. И., Янович Д. А.* Полигон для квантовых вычислений на гетерогенной платформе HybriLIT // Матер. Всерос. конф. с междунар. участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высоко-технологичных систем». М.: РУДН, 2024. С. 303–309.
- *Anikina A., Belyakov D., Bezhanyan D., Kirakosyan M., Koko-
rev A., Lyubimova M., Matveev M., Podgainy D., Rakhmonova A.,
Shadmehri S., Streltsova O., Torosyan Sh., Valya M., Zuev M.* Capabilities of the Software and Information Environment of the HybriLIT Heterogeneous Computing Platform for JINR Tasks // Proc. of the XXVII Intern. Sci. Conf. “Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications”. Russia, Moscow, 2024. P. 244–249.

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В 2024 г. был организован учебный процесс студентов базовых кафедр МГУ, МИФИ, МФТИ, государственного университета «Дубна», СПбГУ и К(П)ФУ. Стажировки и практики в ОИЯИ прошли 520 студентов из университетов государств-членов ОИЯИ.

В двух этапах онлайн-программы INTEREST принимали участие 85 студентов и аспирантов из Белоруссии, Бразилии, Вьетнама, Германии, Египта, Индии, Кубы, Мексики, Румынии, России, Турции, Узбекистана, Швеции. Программа включает дистанционное выполнение научных проектов, лекции и экскурсии в онлайн-формате.

В 2024 г. в зимней и летней сессиях программы START (STudent Advanced Research Training at JINR) 88 представителей Армении, Белоруссии, Боливии, Египта, Индии, Казахстана, Кубы, Мексики, России, Сербии, Узбекистана и ЮАР очно выполняли исследовательские проекты под руководством сотрудников ОИЯИ в течение 6–8 недель.

В трех этапах очной Международной практики 2024 г. участвовали 74 студента из Армении, Белоруссии, Вьетнама, Египта, Казахстана, Мексики, Сербии, ЮАР.

В 2024 г. участниками научных школ для учителей в ОИЯИ стали 53 преподавателя из различных регионов РФ.

В Международной стажировке для руководителей науки и естественно-научного образования (JEMS-24) участвовали 18 ру-

ководителей различных уровней и координаторы по сотрудничеству из Белоруссии, России, Узбекистана.

Расширилась партнерская сеть информационных центров ОИЯИ — открылся информационный центр в iThemba LABS (ЮАР).

Проведена школа-интенсив по физике кварк-глюонной материи для 30 студентов 1–4-х курсов из вузов РФ — для подготовки к экспериментам по проверке фундаментальных основ квантовой хромодинамики на установке класса мегасайенс — адронном коллайдере NICA.

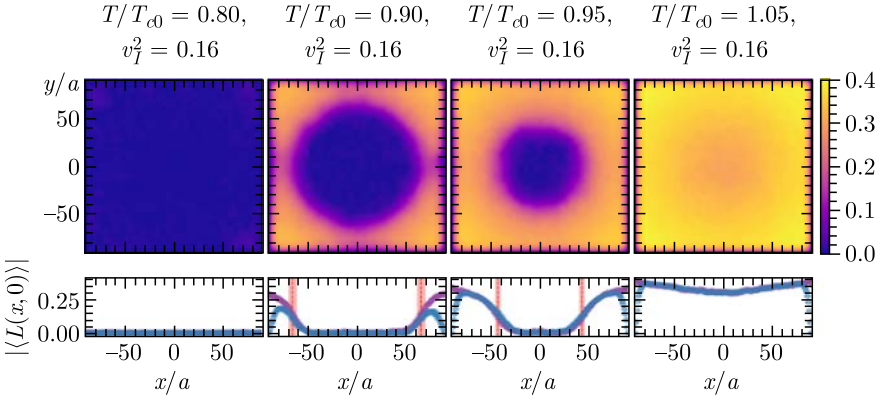
УНЦ участвовал в организации и проведении Всероссийского фестиваля НАУКА 0+, карьерных мероприятий в МГУ, МИФИ, МФТИ, ярмарки трудоустройства «Работа России. Время возможностей» в ОЭЗ «Дубна», мастерской физики «105-й элемент» в рамках Летней школы.

В рамках профориентации для школьников были организованы: традиционный фестиваль науки «Дни физики» в Дубне, 36-я Международная компьютерная школа, 4-я научная школа для слушателей Школьного университета при Академии научных исследований и технологий Египта, трехдневная научно-инженерная школа-интенсив для старшеклассников из Томска, открытый региональный турнир по робототехнике CyberDubna-2024, технический хакатон «Дубна-2024», лекторий УНЦ, очные и онлайн-лекции и экскурсии для инфоцентров ДВФУ, КамГУ, ТПУ, СОГУ, САФУ, а также для групп школьников.

Издательством «Просвещение» выпущен учебно-методический комплекс по физике для школьников «Физика 7–9. Инженеры будущего», созданный авторским коллективом УНЦ. Учебник включен в федеральный перечень учебников приказом Министерства просвещения РФ.

THEORETICAL PHYSICS

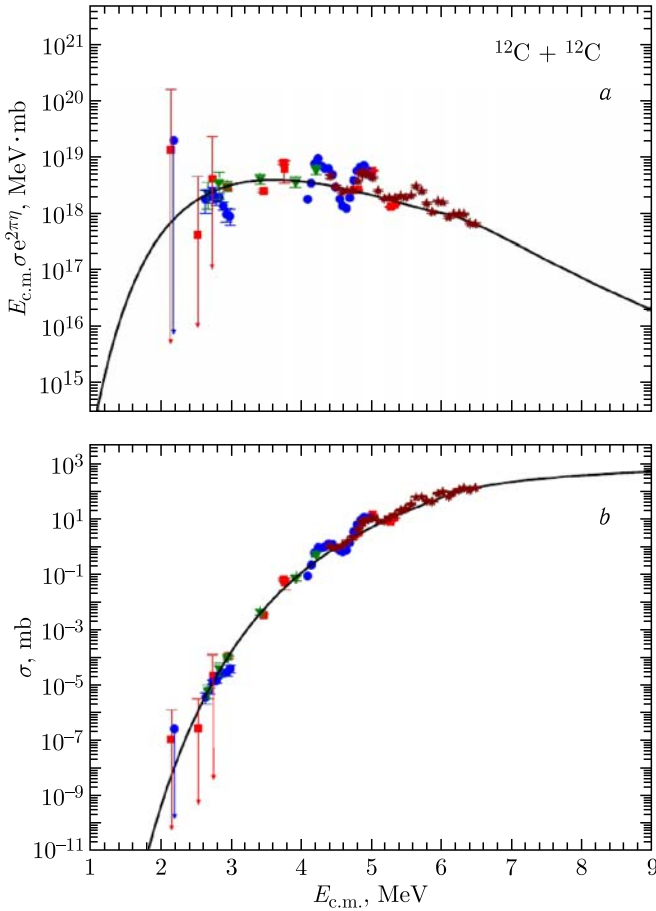
Using first-principle numerical simulations, a new spatially inhomogeneous phase in rigidly rotating $N_c = 3$ gluon plasma was found. This mixed phase simultaneously possesses both confining and deconfining phases in thermal equilibrium. Unexpectedly, the local critical temperature of the phase transition at the rotation axis does not depend on the angular frequency within a few percent accuracy. An analytic continuation of the results to the domain of real angular frequencies indicates a profound breaking of the Tolman–Ehrenfest law in the vicinity of the phase transition, with the confining (deconfining) phase appearing far (near) the rotation axis.



Top: The distribution of the local Polyakov loop in the x, y plane for lattice of size $5 \times 30 \times 181^2$ with open boundary conditions at the fixed on-axis temperature $T = 0.95 T_{c0}$ and different imaginary angular frequencies. Bottom: The Polyakov loop at the x axis. The vertical lines mark the phase boundaries. The violet (blue) data points correspond to periodic (open) boundary conditions

- *Braguta V. V., Chernodub M. N., Roenko A. A.* New Mixed Inhomogeneous Phase in Vortical Gluon Plasma: First-Principle Results from Rotating $SU(3)$ Lattice Gauge Theory // *Phys. Lett. B.* 2024. V. 855. P. 138783; <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2024.138783>.

Fusion reactions of light nuclei at extremely low energies (relative to the corresponding Coulomb barrier) are of fundamental importance in astrophysics. The cross sections of these reactions determine key stages in the evolution of massive stars, exert a significant influence on explosive astrophysical processes and the abundance distribution of elements in the Universe. Studies within the Extended Quantum Diffusion approach have revealed the presence of a maximum in the structure of the astrophysical S-factor for such reactions. Using key astrophysical reactions like $^{12,13}\text{C} + ^{12,13}\text{C}$ as an example, a

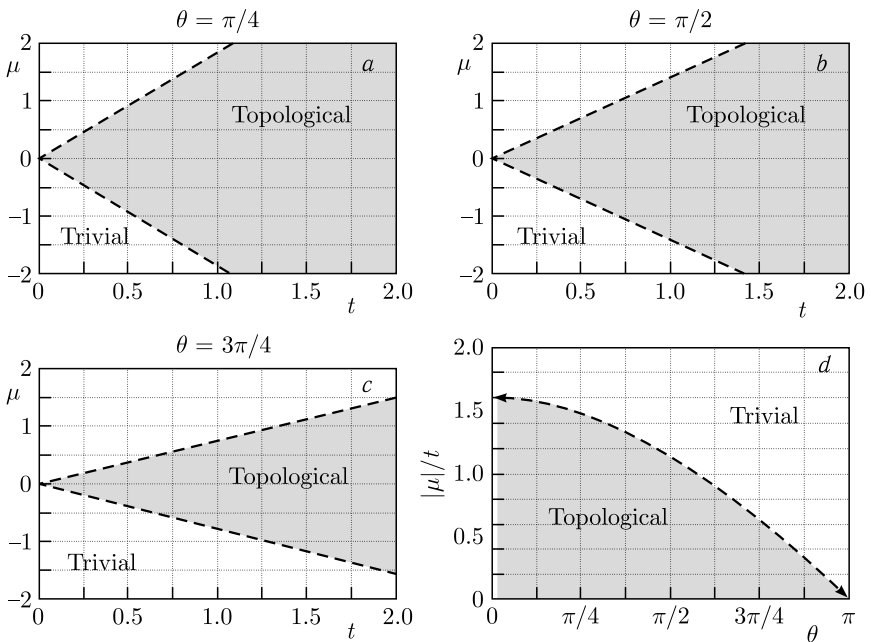


The calculated astrophysical S-factor (a) and fusion excitation function (b) for the $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ reaction

pronounced energy dependence of the S-factor at low energies was demonstrated. The presence of a maximum and the pronounced energy dependence of the S-factor indicate a significant suppression of the fusion cross section for these reactions, which, in turn, leads to a substantial reduction in thermonuclear reaction rates.

- *Sargsyan V. V., Adamian G. G., Antonenko N. V.* Astrophysical S-Factors for Complete Fusion Reactions $^{12,13}\text{C} + ^{12,13}\text{C}$ // Eur. Phys. J. A. 2024. V. 60. P. 180; <https://doi.org/10.1140/epja/s10050-024-01406-3>.

The topological superconductors with Majorana zero modes are of fundamental scientific importance due to their proposed application in topologically protected quantum computing. Among various proposed systems, the heterostructure where one-dimensional semiconducting nanowire is placed on top of a conventional (*s*-wave) superconductor has been widely studied, both theoretically and experimentally. Presence of the magnetic field and Rashba



a-c) Dependence of trivial and topological phase on the angle of the rotation of the spin through neighboring sites (θ). d) The condition $|\mu|/t < 2 \cos(\theta/2)$ determining the topological phase

spin-orbit coupling are the two imperative conditions for the emergence of Majorana zero modes in these heterostructures; however, these conditions also impose severe restrictions on material choice and miniaturization of the heterostructure. To tackle this outstanding problem, a heterostructure has been proposed where one-dimensional nanowire with strong $e-e$ correlation is placed over an unconventional (extended s -wave) superconductor. It has been shown that Majorana zero modes can emerge even without the magnetic field and Rashba spin-orbit coupling in the proposed system. The strong $e-e$ correlation effectively replaces the Zeeman field and exchange magnetic field which were imperative in the approaches based on mean-field treatments. Several schemes of heterostructures were proposed to experimentally realize the investigated system. There have been indirect proofs available experimentally that support the validity of the model and fidelity of the applied mathematical approach to treat strong $e-e$ correlation.

- *Kesharpu K. K., Kochetov E. A., Ferraz A.* Proposal for Realizing Majorana Fermions without External Magnetic Field in Strongly Correlated Nanowires // *Phys. Rev. B.* 2024. V. 109. P. 115140; <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.109.115140>.

Gravitational shockwaves are geometries where components of the transverse curvature have abrupt behaviour across null hypersurfaces, which are fronts of the waves. In order to describe the effect of a gravitational shockwave on field systems, a general approach is developed, which is applicable to fields of different spins. The perturbations caused by a shockwave are found as solutions to characteristic Cauchy problem with initial data on the wave front determined by a supertranslation of ingoing fields. New physical effects are predicted, such as radiation of electromagnetic and gravitational waves due to the interaction of point charges or masses with a gravitational shockwave, the occurrence of secondary shockwaves in the field systems themselves, and a number of other effects. The approach is applicable to gravitational shockwaves of a general class including geometries sourced by null particles, null cosmic strings, and null branes.

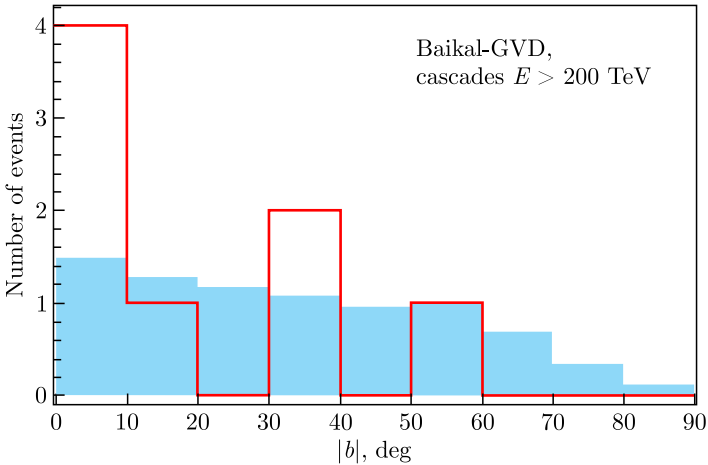
- *Fursaev D. V., Davydov E. A., Pirozhenko I. G., Tainov V. A.* Perturbations of Classical Fields by Gravitational Shockwaves // *J. High Energy Phys.* 2024. V. 11. P. 039.

EXPERIMENTAL PHYSICS

Particle Physics

After the completion of the 2024 Baikal Winter Expedition, the number of detecting optical modules in the Baikal-GVD Deep-Underwater Neutrino Telescope exceeded 4100, and its effective volume for detecting events from high-energy neutrinos (over 100 TeV) is now more than 0.6 km^3 .

The analysis of cascade events registered by the detector in the 2018–2023 configurations allowed us to conclude that the flux of galactic neutrinos with an energy of above 200 TeV is considerably higher than predicted by the current models. This Baikal-GVD result is confirmed by the analysis of the open-access IceCube data with an energy of above 200 TeV. The combined analysis of these two experiments indicates the relevance of elaborating new concepts of the origins of cosmic rays in our Galaxy and their distribution and requires more precise experimental measurements.



Distribution of Baikal-GVD cascade events with the energy of above 200 TeV in the galactic latitude (module of $|b|$ value in degrees): observable (red histogram) and expected ones (shaded)

- *Allakhverdyan V. A., Avrorin A. D., Avrorin A. V., Aynutdinov V. M. et al. (Baikal-GVD Collab.), Kovalev Y. Y., Plavin A. V., Semikoz D. V., Troitsky S. V. Probing the Galactic Neutrino Flux at Neutrino Energies above 200 TeV with the Baikal Gigaton Volume Detector. arXiv:2411.05608 [astro-ph.HE], 2024.*

Two experiments are being conducted at the Kalinin NPP to study the fundamental properties of neutrinos: ν GeN and DANSS.

New constraints on the coherent reactor antineutrino–nucleus scattering effect were obtained in the ν GeN experiment in 2024. The limits exceed the number of expected events by 4.3 and 1.4, depending on the chosen quenching model of nuclear recoils. Additional investigations of the background conditions were performed, and a new muon telescope for cosmic muon fluxes was created. The data taking continues.

In 2024, the DANSS experiment achieved record statistics of 7.7 million registered antineutrino events from reactor No.4, which allowed us to obtain new constraints on the parameters of oscillations into sterile neutrinos. The operation of polystyrene scintillation cells of the detector for 6.5 years of measurements was also analyzed. The determined degradation of the light output is $(0.55 \pm 0.05)\%$ per year, which is noticeably lower than in similar experiments. Also, the light attenuation length in the spectroscopic waveguides is seen to be reduced by $(0.26 \pm 0.04)\%$ per year.

- *Belov V. et al. (ν GeN Collab.). New Constraints on Coherent Elastic Neutrino–Nucleus Scattering by the ν GeN Experiment // Chin. Phys. C. 2024 (submitted).*
- *Alekseev I. G. et al. The DANSS Experiment: Recent Results and Perspective // Bull. Lebedev Phys. Inst. 2024. V. 51. P. 8–15.*
- *Alekseev I. G. et al. Study of Polysterene Based Scintillator Ageing in the DANSS Experiment // J. Instrum. 2024. V. 19. P. 04031.*

In 2024, the first joint data analysis of the NOvA (USA) and T2K (Japan) accelerator neutrino experiments was presented, with JINR playing an active role in its preparation. Until now, no neutrino experiment has ever performed a full-fledged (from a statistical point of view) joint data analysis with another experiment of the same design. The thus obtained values of the neutrino oscillation parameters are more accurate than the individual results of each of the experiments.

- *Vallari Z., Atkin E. <https://indico.fnal.gov/event/62062/>, <https://kds.kek.jp/event/49811/>.*
- *Kolupaeva L. NOvA and NOvA + T2K Results. <https://agenda.infn.it/event/39753/contributions/233599/>.*

In the JUNO international experiment (China) with reactor electron antineutrinos aimed at determination of neutrino mass ordering and high-precision measurement of neutrino oscillation parameters, the construction of the central detector (with a diameter of 35 m) has been completed. Electronics (18 000 photomultipliers) assembly is also completed. The new estimation of the JUNO sensitivity to neutrino mass ordering is obtained, considering the most accurate and relevant characteristics of the detector: JUNO will reach 3σ within 7 years of data taking.

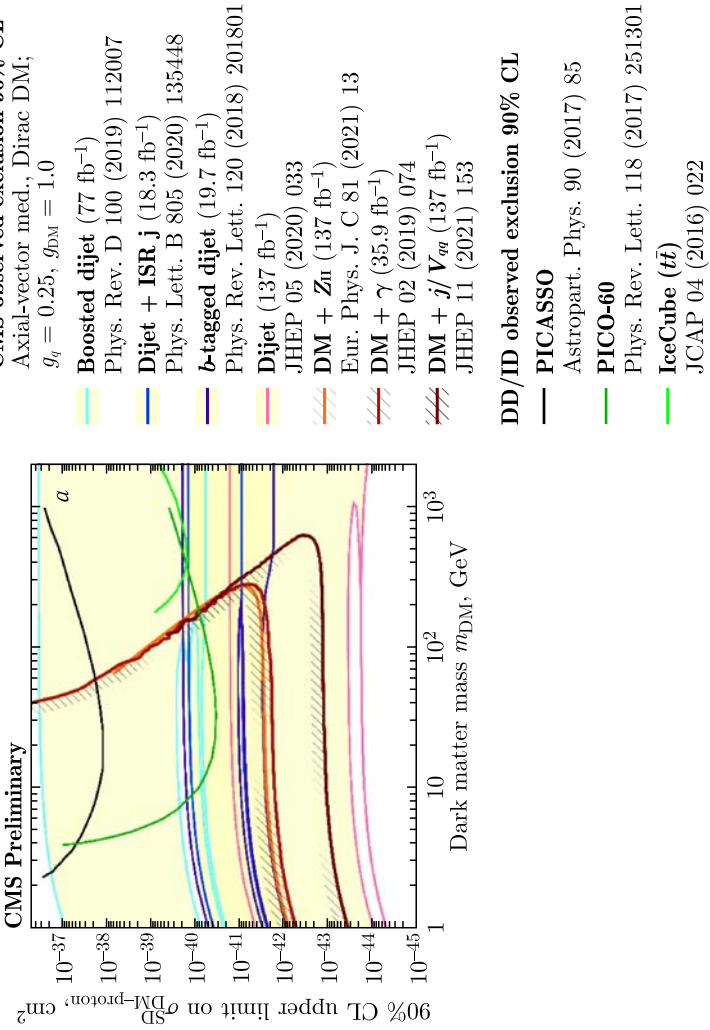
- *JUNO Collab.* Potential to Identify the Neutrino Mass Ordering with Reactor Antineutrinos in JUNO // Chin. Phys. C (accepted); doi:10.1088/1674-1137/ad7f3e.

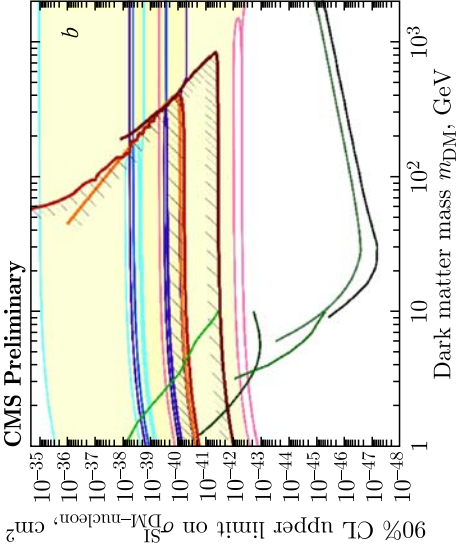
In the NA64 experiment at CERN SPS in 2024, $5.2 \cdot 10^{11} e^-$ events were collected in the electron beam at an energy of 100 GeV and $2.3 \cdot 10^{10} e^+$ events at 70 GeV in the muon channel at an energy of 160 GeV; the detector registered $2.5 \cdot 10^{11}$ events. The total statistics for electrons was $2 \cdot 10^{12}$, and for muons $\sim 4.5 \cdot 10^{11}$ eot. The first analysis of muon data was carried out, the results of the search for light dark matter were published and constraints were established on the explanation of the $(g-2)_\mu$ anomaly by the existence of the Z' boson.

- *Andreev Yu. et al.* First Results in the Search for Dark Sectors at NA64 with the CERN SPS High Energy Muon Beam // Phys. Rev. Lett. 2024. V. 132. P. 211803.

The JINR group in the CMS experiment (LHC) has participated in the search for dark matter (DM) particles at 13 TeV with Z^0 and missing transverse energy in the final state. The most stringent upper limits on the cross section of DM–nucleon interactions were set combining other channels.

- *Hayrapetyan A. et al. (CMS Collab.).* Development of the CMS Detector for the CERN LHC Run 3 // J. Instrum. 2024. V. 19. P. 05064.
- *Hayrapetyan A. et al. (CMS Collab.).* Performance of CMS Muon Reconstruction from Proton–Proton to Heavy Ion Collisions // J. Instrum. 2024. V. 19. P. 09012.





CMS observed exclusion 90% CL

Vector med., Dirac DM;

$$g_q = 0.25, g_{DM} = 1.0$$

- Boosted dijet (77 fb^{-1})
Phys. Rev. D 100 (2019) 112007
- Dijet + ISR j (18.3 fb^{-1})
Phys. Lett. B 805 (2020) 135448
- b -tagged dijet (19.7 fb^{-1})
Phys. Rev. Lett. 120 (2018) 201801
- Dijet (137 fb^{-1})
JHEP 05 (2020) 033
- DM + Z_n (137 fb^{-1})
Eur. Phys. J. C 81 (2021) 13
- DM + γ (35.9 fb^{-1})
JHEP 02 (2019) 074
- DM + j/V_{qq} (137 fb^{-1})
JHEP 11 (2021) 153

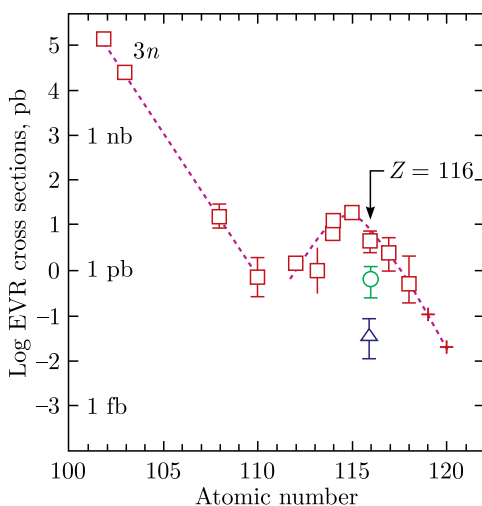
DD observed exclusion 90% CL

- CREST-III
Phys. Rev. D 100 (2019) 102002
- DarkSide-50
Phys. Rev. D 107 (2023) 063001
- PandaX-4T
Phys. Rev. Lett. 130 (2023) 021802
- XENONnT
Phys. Rev. Lett. 131 (2023) 041003
- LZ
Phys. Rev. Lett. 131 (2023) 041002

Upper limits on the cross section of DM-nucleon interactions. The CMS contour is for both axial-vector (a) and vector (b) mediators. The case of the Dirac DM with couplings $g_q = 0.25$ and $g_{DM} = 1.0$ is considered

Low-Energy Heavy-Ion Physics

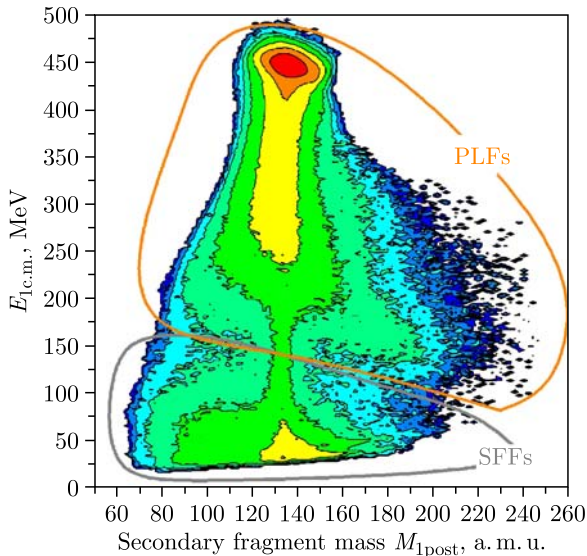
An experiment on the synthesis of the isotopes of element 116 in the $^{50}\text{Ti} + ^{242}\text{Pu}$ reaction was conducted for the first time at the Superheavy Element Factory accelerator complex. The experiment was aimed at searching for an optimal reaction for synthesizing new superheavy elements 119 and 120. The reaction cross section was measured at two projectile energies. In addition, a new isotope of element 116, ^{289}Lv , was registered. The experimental data are processed.



Cross sections for the production of elements with $Z = 102\text{--}118$ in ^{48}Ca -induced reactions (red squares). Preliminary data obtained in reactions with ^{54}Cr (a blue triangle) and ^{50}Ti (a green circle) are shown for element 116

- *Oganessian Yu. Ts. // Eur. Phys. J. A. 2024. Topical Collection: Heavy and Super-Heavy Nuclei and Elements: Production and Properties (to be published).*

The characteristics of multinucleon transfer (MNT) reaction products were measured for the $^{136}\text{Xe} + ^{238}\text{U}$ and $^{209}\text{Bi} + ^{238}\text{U}$ reactions. MNT reactions have over the past years been considered as a promising tool for synthesizing new heavy nuclei not accessible with other techniques. The properties of both the survived reaction products (PLFs in the figure) and the fragments as products of the sequential fission of heavy MNT fragments (SFFs) were studied. The



Mass and energy distributions of MNT fragments formed in the $^{136}\text{Xe} + ^{238}\text{U}$ reaction, registered at an angle of 30° at a beam energy of 1.11 GeV

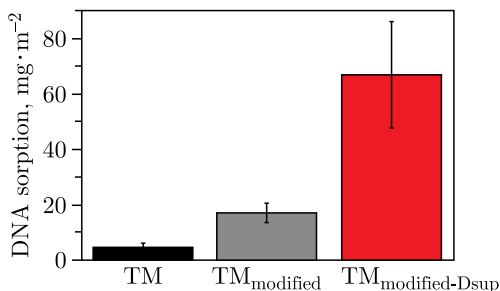
heaviest survived fragments in the $^{136}\text{Xe} + ^{238}\text{U}$ reaction were the isotopes of Es–Fm with a mass of 255 a.m.u. and a cross section of about $2 \mu\text{b}$.

- Kozulin E. M., Knyazheva G. N., Karpov A. V. et al. // Phys. Rev. C. 2024. V. 109. P. 034616.

The structure of partially stabilized ZrO_2 irradiated by swift heavy ions was studied using the high-resolution transmission electron microscopy, X-ray diffraction, and the Raman spectroscopy. The analysis showed an effect typical of fission fragments: the $t \rightarrow t''$ phase transition from a stable tetragonal t phase into a metastable t'' phase. The crystalline t'' phase was found to be more radiation resistant as compared to the initial structure. In this regard, ZrO_2 is one of the most promising materials in cutting-edge nuclear engineering.

- Kirilkin N. S., Vershinina T. N., O'Connell J. H., Rymzhanov R. A., Skuratov V. A., Boltueva V. A., Ghyngazov S. A. Exploring Metastable Phase Formation: Swift Heavy Ion Effects on Partially Stabilized Zirconia // J. Nucl. Mater. 2024. V. 602. P. 155369; <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2024.155369>.

Novel functional composites are developed based on track membranes, a porous material manufactured by irradiation of polymer films with swift heavy-ion beams at accelerator facilities followed by physicochemical treatment. A technique was developed for immobilizing the damage suppressor protein (Dsup) of the tardigrade *Ramazzottius varieornatus*, one of the extremophilic organisms, onto the surface of membranes. The fabricated composite membrane is capable of extracting DNA from solutions at extremely low concentrations and retaining it on the surface of the material. The ability of the novel material to extract extracellular DNA from large volumes of solutions with microscopic concentrations of nucleic acids opens up new possibilities in molecular biology, biotechnology, and ecological monitoring.

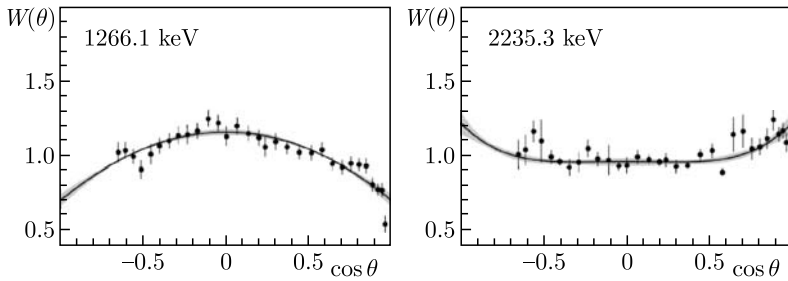


Adsorption of plasmid DNA on unmodified track-etched membranes (TM), on modified membrane with amino groups (TM_{modified}), and on TM functionalized with the Dsup protein via a covalent binding mechanism (TM_{modified}-Dsup)

- Zarubin M., Andreev E., Kravchenko E., Pinaeva U., Nechaev A., Apel P. Developing Tardigrade-Inspired Material: Track Membranes Functionalized with Dsup Protein for Cell-Free DNA Isolation // Biotechnol. Prog. 2024. V. 40. P. e3478; doi:10.1002/btpr.3478.

Neutron Nuclear Physics

The properties of γ radiation emitted by reaction products caused by 14 MeV neutrons on light and medium nuclei were studied. The obtained data on differential cross sections ($d\sigma/d\Omega$) of γ -quanta radiation are important for fundamental (model testing, obtaining data on the nuclear structure) and applied purposes (creation of elemental analysis setups based on DT generators). The results for C, O, Si, S, Ti, P, Cr were reported at conferences and published in 2024.



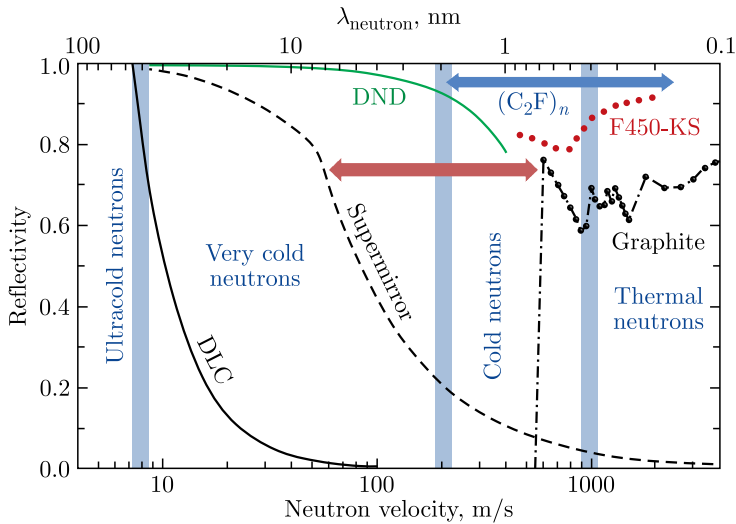
Angular distribution of γ quanta emitted by the ^{30}Si nucleus produced in the $^{31}\text{P}(n, d)$ reaction in two most intense transitions. Measured for the first time

- *Grozdanov D.N., Fedorov N.A., Dabylova S.B., Kopatch Yu.N., Ruskov I.N., Skoy V.R., Tretyakova T.Yu., Hramco C., Kharlamov P.I., Pampushik G.V., Filonchik P.G., Andreev A.V.* Measurement of Yields and Angular Distributions of γ Quanta from the Interaction of 14.1 MeV Neutrons with Oxygen, Phosphorus, and Sulfur // *Chin. Phys. C.* 2024. V. 48. P.034003.

As part of the research on the possibility of creating high-flux sources of cold and very cold neutrons, as demonstrated in the figure (see p.40), it was shown that fluorine-intercalated graphites can be used as effective reflectors of cold neutrons with wavelengths of 0.2–18 nm. For this purpose, a dedicated diffractometer was constructed, and a series of measurements of double differential neutron scattering cross sections on graphites using a PF1B beam were carried out at the Institut Laue–Langevin (France).

- *Nesvizhevsky V., Henry K., Dauga L., Clavier B., Le Floch S., Lychagin E., Muzychka A., Nezvanov A., Pishedda V., Teander C., Turlybekuly K., Radescu S., Vigolo B., Cahen S., Hérold C., Ghanbaja J., Zhernenkov K., Dubois M.* Poly(Dicarbon Monofluoride) $(\text{C}_2\text{F})_n$ Bridges the Neutron Reflectivity Gap // *Carbon.* 2024. V. 227. P. 119249; <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2024.119249>.

An algorithm for numerically solving the nonstationary Schrödinger equation of the tenth order of accuracy has been constructed, requiring two times fewer mathematical operations compared to the classical Lee–Trotter–Suzuki formula, which allows reducing the overall calculation time. The new approach will allow numerical study of more complex modern nonstationary quantum systems in neutron optics, requiring high spatial resolution and simultaneously a large studied spatial region.



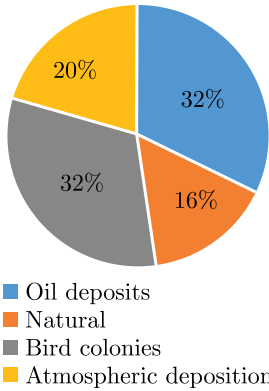
The elastic reflection probability for an isotropic neutron flux as a function of neutron velocity and wavelength for various carbon reflectors: 1) diamond-like coating (solid line); 2) the best supermirror (dashed line); 3) nanodiamond powder (green solid line), calculation; 4) reactor graphite (dashed-dotted line), calculation; 5) fluorine-intercalated graphite F450-KS (red dotted line)

- *Zakharov M. A.* Tenth-Order Accurate Numerical Method for Solving the Time-Dependent Schrödinger Equation // *Comp. Math. Math. Phys.* 2024. V. 64. P. 248; <https://doi.org/10.1134/S0965542524020131>.

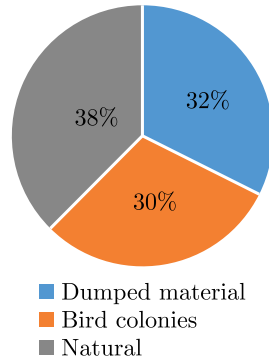
A number of analytical techniques were applied to determine the content of radionuclides and potentially toxic elements in soils collected on Novaya Zemlya. Average content of radionuclides (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{235}U , and ^{137}Cs) and metals (Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, and Cr) at some sites exceeded the background levels. The main sources of pollutants include oil extraction, geological rocks, bird colonies, and atmospheric precipitation. Potential risks of Ni and Fe for human health were identified.

- *Yushin N., Jakhu R., Chaligava O., Grozdov D., Zinicovskaia I.* Evaluation of the Potentially Toxic Elements and Radionuclides in the Soil Sample of Novaya Zemlya in the Arctic Circle // *Environ. Pollut.* 2024. V. 361. P. 124871; <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124871>.

Factor contributions for toxic elements



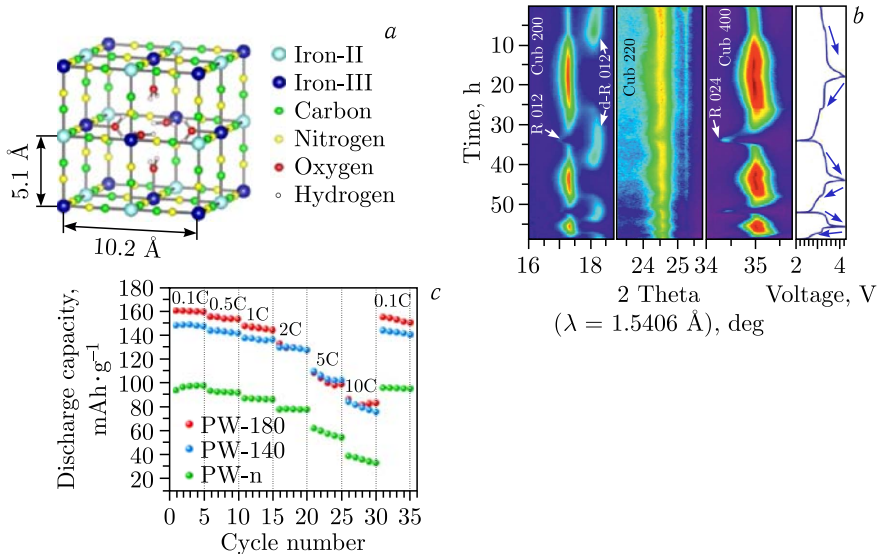
Factor contributions for radionuclides



The main sources of metals and radionuclides in soils collected on Novaya Zemlya

Condensed Matter Physics

One of the ways to improve the properties of materials for sodium-ion batteries is to delete water from the structure. The effect of dehydration of the PW material (via preheating of the

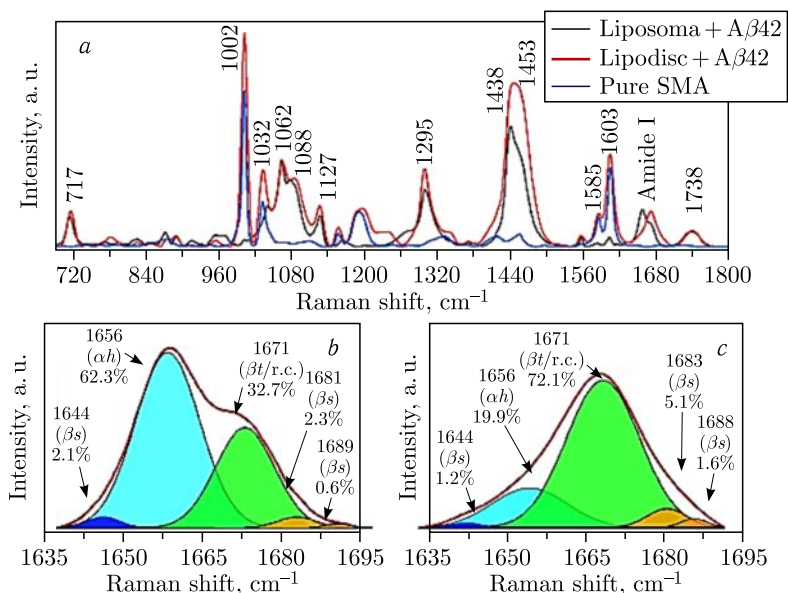


Structure of sodium hexacyanoferrate (PW) (a), X-ray diffraction patterns of PW sample after preheating, measured during cycling process (b), capacity of PW electrodes at various cycling rates (c)

PW electrode) on the structural phase transitions in the material during its sodiation/desodiation in discharge/charge processes and on its electrochemical properties was investigated using X-ray and neutron diffraction (the figure). Preheating of the electrode promotes a formation of the dehydrated rhombohedral d-R phase in the sequence of the phase transitions in the material. A fragmentation of micron size particles of initial PW material to the size of an order of hundreds of nanometers caused by mechanical milling leads to more effective material dehydration during preheating and, as a consequence, to larger capacity at high electrochemical cycling rates and less pronounced capacity loss during long-time cycling.

- *Samoylova N. Yu., Bobrikov I. A., Razanau I., Sumnikov S. V., Vasin R. N., Korneeva E. A., Ponomareva O. Yu., Novikau U.* Peculiarities of Charge-Discharge Processes in Prussian White Electrodes with Different Level of Dehydration // *J. Alloys Compd.* 2024. V. 983. P. 173849.

Lipid-protein interactions play an important role in maintaining the integrity and functionality of the cell membrane. Understanding the mechanism of interaction of the A β peptide with cells is crucial



Raman spectra of styrene maleic acid (SMA, blue line), liposome/peptide (black line), and lipodisc/peptide (red line) (a). Deconvoluted Raman spectra of the peptide in the Amide I region: in liposome/peptide (b), in lipodisc/peptide (c). Red line — fitted curve

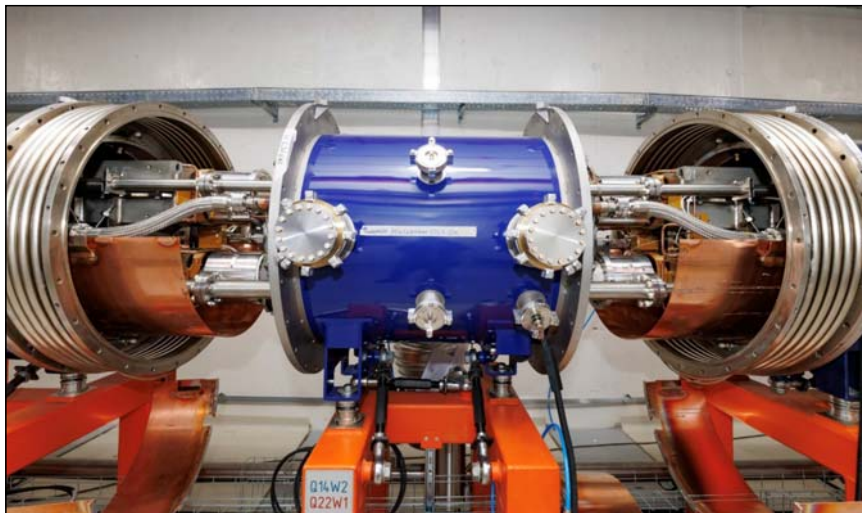
for the development of methods for early diagnosis and prevention of various neurodegenerative diseases. To this end, a detailed analysis is presented of the conformational dynamics of peptide A β 42 in water, liposomes, and lipodiscs, which mimic the membrane system, using Raman spectroscopy and computer modelling techniques.

The results obtained show that the secondary structure of A β 42 in liposomes is dominated by the alpha-helix conformation, which remains stable over time. At the same time, it was found that the lipodisc environment induces the transformation of the secondary structure of the same peptide into a β -turn/random coil (the figure). The Raman spectroscopy results were confirmed by molecular dynamics and density functional theory modelling.

- Mamatkulov K., Zavatski S., Arynbeke Ye., Esawii H.A., Burko A., Bandarenka H., Arzumanyan G. Conformational Analysis of Lipid Membrane Mimetics Modified with A β 42 Peptide by Raman Spectroscopy and Computer Simulations // J. Biomol. Struct. Dyn. 2024. V. 23; <https://doi.org/10.1080/07391102.2024.2330706>.

ACCELERATOR TOPICS

During a visit to JINR in June 2024, President of the Russian Federation V. Putin launched the technological start of the NICA Accelerator Complex, the injector part of which had been launched earlier and demonstrated stable operation.



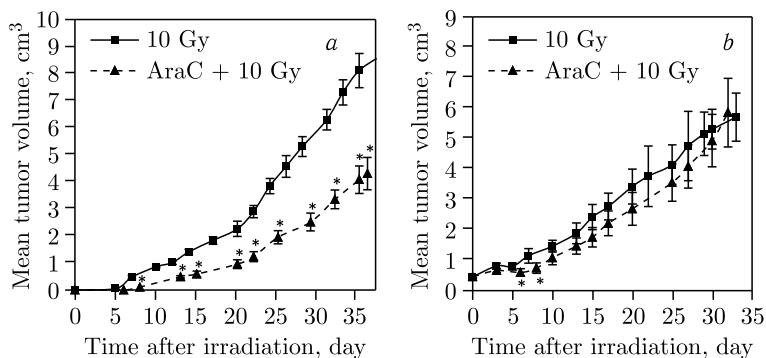
The magnets of the NICA collider are assembled into a single ring

Testing of the power supplies of the superconducting magnetic system of the collider, created at VBLHEP JINR using a unique technology, has begun. It includes 80 dual-aperture dipole, 86 quadrupole and more than 100 corrective magnets.

- <http://www.kremlin.ru/events/president/news/74273>.

RADIATION AND RADIOBIOLOGICAL RESEARCH

The modifying effect of 1- β -D-arabinofuranosylcytosine (AraC) on the induction and growth of solid tumors in mice was studied for proton irradiation of Ehrlich ascites carcinoma *in vivo* and *ex vivo*. A decrease in the tumor growth rate after proton irradiation in the presence of AraC has been observed both *in vivo* and *ex vivo*. It has been established that the number of DNA double-strand breaks (DSBs) formed in the presence of the modifier increases both after *ex vivo* and *in vivo* irradiation, the number of DNA DSBs in ascites carcinoma cells being significantly higher after exposure *in vivo* than after exposure *ex vivo*. The most pronounced antitumor effects of AraC in combination with proton radiation were revealed for irradiation of ascites cells *ex vivo*. This may indicate a difference in the effect of AraC on cells irradiated *in vivo* and *ex vivo* — both at the stage of primary oncogenesis and during the development of the formed neoplasm.



Growth dynamics of solid Ehrlich ascites carcinoma after implantation of irradiated cells *ex vivo* (a) and proton irradiation *in vivo* (b) at a dose of 10 Gy and combined exposure with AraC. * — $p \leq 0.05$ compared with 10 Gy of protons

- Belyakova T. A., Rozanova O. M., Smirnova E. N., Strelnikova N. S., Krasavin E. A., Boreiko A. V. Modifying Effect of 1- β -D-Arabinofu-

ranosylcytosine on Solid Tumor Growth in Mice upon Proton Irradiation of Ehrlich Carcinoma Cells *In Vivo* and *Ex Vivo* // Part. Nucl., Lett. 2025. V. 22, No. 2(259) (in Russian) (in press).

- *Belyakova T. A., Rozanova O. M., Smirnova E. N., Strelnikova N. S., Krasavin E. A., Boreiko A. V.* Modifying Effect of AraC on Solid Tumor Growth in Mice upon Proton Irradiation of Ehrlich Carcinoma Cells *In Vivo* and *Ex Vivo* // Proc. of the Conf. "Current Problems in Radiation Biology. Modification of Radiation-Induced Effects", 2024. P. 51–53 (in Russian).

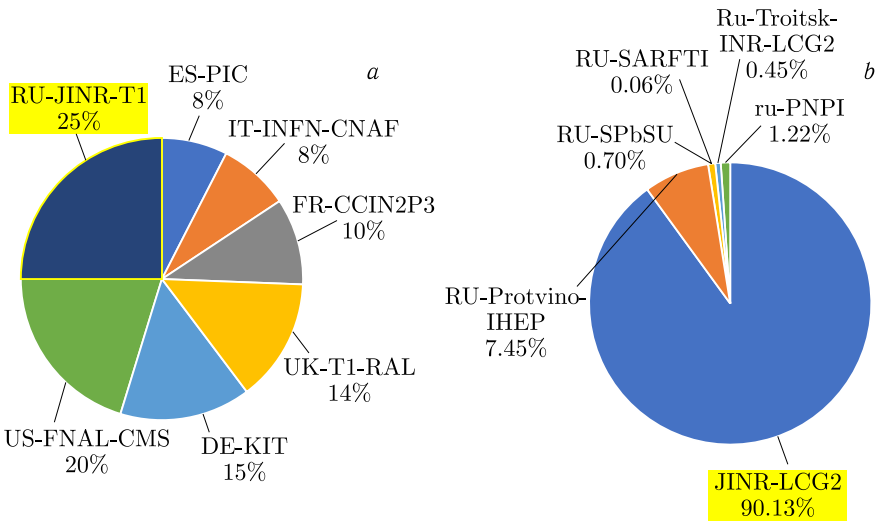
The monograph "Astrobiology" has been published, which is the first attempt to summarize the accumulated astrobiological knowledge. The book is authored by specialists from different countries and fields of science. It presents the history of the development of views on the origin of life and the stages of the development of astrobiology as a science, describes the facts and models on which these concepts are based, and outlines a range of unresolved issues and promising areas of research.



- *Afanasyeva A. N., Alekseev A. O., Alekseeva T. V., Frontasyeva M. V., Hoover R. B., Kapralov M. I., Rivkina E. M., Rozanov A. Yu., Ryumin A. K., Samylina O. S., Saprykin E. A.,*

INFORMATION TECHNOLOGY AND COMPUTER PHYSICS

In 2024, the successful operation and development of the JINR Multifunctional Information and Computing Complex continued. The creation of an Accelerator Complex at JINR within the NICA megascience project and experimental facilities on it entailed the extension of the functions of the JINR grid sites with the introduction of their resources in the system for modeling, processing and storing data from the BM@N, MPD and SPD experiments. The tape data storage capacity was increased from 50 to 90 PB. The JINR Tier-1 site is ranked first among Tier-1 world centres for the LHC CMS experiment in terms of the CPU time for data processed. The JINR Tier-2 output is the highest in the Russian grid segment (RDIG).



Distribution by the normalized CPU load time in HS23 hours within 2024 for Tier-1 sites for the CMS experiment (a) and Tier-2 sites comprising the RDIG consortium (b)

- *Baginyan A., Balandin A., Dolbilov A., Golunov A., Gromova N., Kashunin I., Korenkov V., Mitsyn V., Pelevanyuk I., Shmatov S., Strizh T., Trofimov V., Vorontsov A., Voytishin N. JINR Grid Infrastructure: Status and Plans // Phys. Part. Nucl. 2024. V.55, No. 3. P. 355–359; <https://doi.org/10.1134/S1063779624030079>.*

To perform computing related to data mass production and processing within the experiments of the NICA megascience project, a distributed environment based on the DIRAC Interware platform, integrating the JINR computing infrastructure, was created. Thirty-six data mass production campaigns and 10 modeled data analysis campaigns within the MPD experiment were carried out on the resources of this environment. The total amount of the generated data is 1.6 PB. The BM@N collaboration also employs the created infrastructure for processing experimental data coming from the detector. To date, over 30 campaigns to process data of various volumes have been completed, the total number of processed events is close to 650 million.

- *Gertsenberger K. V., Pelevanyuk I. S.* BM@N Run 8 Data Processing on a Distributed Infrastructure with DIRAC // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2024. V. 21. P. 778–781;
<https://doi.org/10.1134/S1547477124701334>.
- *Pelevanyuk I.S.* MLIT Resources and Services for the MPD Experiment // XIV Collab. Meeting of the MPD Experiment at NICA, Dubna, Russia, 14–16 Oct. 2024;
<https://indico.jinr.ru/event/4806/contributions/27989/>.

A prototype of a data processing and analysis system was deployed for the SPD experiment. In 2024, Monte Carlo simulation tasks were processed on the platform: 200 million events with a volume of 100 TB were generated. Together with DLNP colleagues, a testbed for developing and debugging the components of the data acquisition system of the SPD facility was created and put into operation.

- *SPD Collab.* Technical Design Report of the Spin Physics Detector at NICA. arXiv:2404.08317.
- *Petrosyan A., Oleynik D., Zhemchugov A., Kiryanov A.* SPD Offline Computing System // *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55, No. 3. P. 450–452.

Within the Mathematical Engineering book series, Springer Nature Switzerland published a monograph “New Developments of Newton-Type Iterations for Solving Nonlinear Problems”. The monograph contains main results developed at MLIT JINR and the National University of Mongolia. The book explores higher-order iterations for nonlinear equations and their systems, and their applications in linear algebra and some nonlinear problems of theoretical physics.

- *Zhanlav T., Chuluunbaatar O.* New Developments of Newton-Type Iterations for Solving Nonlinear Problems. Cham: Springer, 2024. XIV. 281 p. Electronic book (Mathematical Engineering); <https://doi.org/10.1007/978-3-031-63361-4>.

A quantum computing polygon was deployed on the resources of the ML/DL/HPC ecosystem of the HybriLIT heterogeneous platform, providing computations using libraries that support parallel computing on both central processors and graphics accelerators. The heterogeneous structure of the platform allows for quick changes in the characteristics of the polygon, adjusting it to the requirements of user tasks, adding servers with necessary computing components, in terms of central processors and graphics accelerators.

- *Belyakov D., Bogolubskaya A., Zuev M., Palii Yu., Podgainy D., Streltsova O., Yanovich D.* Quantum Computing Polygon on the HybriLIT Heterogeneous Platform // Proc. of the XIV All-Russian Conf. with International Participation “Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems”. M.: RUDN, 2024. P. 303–309.
- *Anikina A., Belyakov D., Bezhanyan D., Kirakosyan M., Kokorev A., Lyubimova M., Matveev M., Podgainy D., Rakhmonova A., Shadmehri S., Streltsova O., Torosyan Sh., Valya M., Zuev M.* Capabilities of the Software and Information Environment of the HybriLIT Heterogeneous Computing Platform for JINR Tasks // Proc. of the XXVII Intern. Sci. Conf. “Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications”, Moscow, Russia, 2024. P. 244–249.

EDUCATIONAL ACTIVITIES

In 2024, academic programmes were organized for students at the JINR-based departments of MSU, MEPhI, MIPT, Dubna State University, SPbSU, and K(P)FU. A total of 520 students from universities of the JINR Member States completed their internships and practical trainings at JINR.

Eighty-five students and postgraduates from Belarus, Brazil, Cuba, Egypt, Germany, India, Mexico, Romania, Russia, Sweden, Turkey, Uzbekistan, and Vietnam participated in winter and summer Waves of the INTEREST online programme. The programme includes remote work on scientific projects, lectures, and online excursions.

In 2024, 88 students from Armenia, Belarus, Bolivia, Cuba, Egypt, India, Kazakhstan, Mexico, Russia, Serbia, South Africa, and Uzbekistan participated in annual JINR programme START (STudent

Advanced Research Training at JINR). For 6–8 weeks, the students were conducting onsite research projects under the supervision of JINR specialists.

Seventy-four students from Armenia, Belarus, Egypt, Kazakhstan, Mexico, Serbia, South Africa, and Vietnam took part in three stages of the International Student Practice at JINR held onsite.

In 2024, 53 teachers from various regions of Russia participated in the Scientific Schools for Teachers organized by JINR.

Eighteen senior managers and cooperation coordinators from Belarus, Russia, and Uzbekistan took part in JEMS-24 — International Internship for Leaders in Science and Science Education.

JINR's network of partner Information Centres expanded in 2024 with the opening of a new centre at iThemba LABS in South Africa.

A School on Physics of Quark–Gluon Matter was held for 30 students of 1–4 courses from Russian universities to prepare for experiments to test the fundamentals of quantum chromodynamics at the megascience facility — the NICA hadron collider.

The University Centre participated in the organization and conduct of the All-Russian Science Festival NAUKA 0+, career events at MSU, MEPhI, and MIPT, the employment fair “Work in Russia. Time of Opportunities” at Dubna Special Economic Zone, and physics workshop “Element 105” of the Summer School.

Within the framework of career guidance for school students, several initiatives were organized: Days of Physics — a traditional science festival held in Dubna, the 36th International Computer School, the 4th Science School for Students of the Children's University of the Egyptian Academy of Scientific Research and Technology, a three-day scientific and engineering intensive school for high school students from Tomsk, an open regional Robotics Tournament “CyberDubna-2024”, Technical Hackathon “Dubna-2024”, UC Lectorium, a series of both online and onsite lectures and excursions for the Information Centres from FEFU, KamSU, University of Tomsk, NOSU, NArFU, as well as for groups of school students.

Publishing House “Prosveshchenie” issued an educational and methodological complex in physics for schoolchildren titled “Physics 7–9: Engineers of the Future”. This textbook, created by a group of authors from UC, was included in the federal list of textbooks by the Ministry of Education of the Russian Federation.

СОДЕРЖАНИЕ/CONTENTS

Теоретическая физика	3
Экспериментальная физика	7
Физика частиц	7
Физика тяжелых ионов низких энергий	12
Нейтронная ядерная физика	14
Физика конденсированных сред	17
Ускорительная тематика	19
Радиационные и радиобиологические исследования	20
Информационные технологии и вычислительная физика	22
Образовательная деятельность	25
Theoretical Physics	27
Experimental Physics	31
Particle Physics	31
Low-Energy Heavy-Ion Physics	36
Neutron Nuclear Physics	38
Condensed Matter Physics	41
Accelerator Topics	43
Radiation and Radiobiological Research	44
Information Technology and Computer Physics	46
Educational Activities	48

Редакторы: *В. В. Булатова, Е. В. Сабаева*

Подписано в печать 16.01.2025.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 4,9. Тираж 180 экз. Заказ № 61015.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/

