



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

2016-9

**КРАТКИЙ ОБЗОР
ВАЖНЕЙШИХ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В 2015 ГОДУ**

**BRIEF REVIEW
OF TOPMOST SCIENTIFIC RESULTS
OBTAINED IN 2015
AT THE JOINT INSTITUTE
FOR NUCLEAR RESEARCH**

Дубна 2016



ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Выполнен анализ стабильности вакуума стандартной модели физики элементарных частиц. Используются ренормгрупповые уравнения на трехпетлевом уровне теории возмущений с учетом согласования входных параметров на двухпетлевом уровне. Вклады поправок КХД учтены на четырехпетлевом уровне. Из условия стабильности вакуума при энергиях вплоть до массы Планка с использованием современного экспериментального значения массы бозона Хиггса получено ограничение сверху на массу топ-кварка. Полученное значение массы топ-кварка согласуется с современным экспериментальным значением.

- *Bednyakov A. V. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2015. V.115. P.201802.

Создание новых функциональных материалов и устройств с контролируемыми квантовыми свойствами в настоящее время во многом основано на идее орбитального инжиниринга в многослойных оксидных гетероструктурах. В работе показано, что эффекты межслоевого перераспределения заряда и изменения структуры лигандного окружения ионов переходных металлов обеспечивают возможность контроля последовательности орбитальных электронных уровней (орбитальной реконструкции) в объеме слоистых оксидов. На примере слоистых оксидов Sr_2IrO_4 и Ba_2IrO_4 авторы впервые предложили и реализовали комбинированный количественный анализ указанных эффектов, основанный на результатах измерений спектров электронного парамагнитного резонанса и квантово-химических кластерных вычислений.

- *Bogdanov N. et al.* // Nature Commun. 2015. V.6. P.7306. DOI: 10.1038/8306.

Изучена инфляционная космология в теории с двумя скалярными полями, неминимально связанными со скаляром Риччи, и дополнительным членом вида R^2 , нарушающим конформную инвариантность. Построены модели инфляции в режиме медленного скатывания в случае одного динамического скалярного

поля и двух динамических скалярных полей. Показано, что спектральный индекс скалярной моды возмущений плотности и скалярно-тензорное отношение могут быть совместимы с последними результатами эксперимента Planck. Также было предложено обобщение модели на случай трех скалярных полей.

- *Bamba K., Odintsov S.D., Tretyakov P.V.* // Eur. Phys. J. C. 2015. V.75. P.344.

Энергия, выделяемая в электронном захвате ядром, может влиять на эффективную температуру до 10%, может замедлить охлаждение сильно намагниченных железных белых карликов при достаточно низкой светимости и не может заметно влиять на светимость этих компактных объектов, являющихся источником мягких γ -квантов и рентгеновского излучения. Показано, что существующая точность измерения светимости и энергии космических лучей не позволяет получить убедительную информацию о майорановской природе нейтрино, если его эффективная масса меньше чем 0,8 эВ.

- *Belyaev V.V. et al.* // Nucl. Phys. A. 2015. V.937. P.17–43.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА

Физика частиц

В рамках анализа данных эксперимента NA48/2 в ЦЕРН сотрудниками ОИЯИ проведен анализ рекордно большого количества распадов нейтральных пионов $\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-$ ($1,69 \cdot 10^7$ событий), рожденных в распадах заряженных каонов с импульсом $p = 60$ ГэВ/с.

Анализ проводился с целью поиска последовательности распадов $\pi^0 \rightarrow \gamma A'$, $A' \rightarrow e^+ e^-$, где A' — так называемый темный фотон. В результате получено статистически наиболее строгое ограничение на величину параметра смешивания «темного фотона» ε^2 в области его возможной массы $9 < m_{A'} < 70$ МэВ/с², исключающее объяснение аномального магнитного момента мюона с помощью гипотезы о влиянии «темного фотона».

- *Batley J.R. et al. (NA48/2 Collab.)*. Search for the Dark Photon in π^0 Decays // Phys. Lett. B. 2015. V.746. P.178.

Коллаборация COMPASS (ЦЕРН) опубликовала результаты измерения поляризуемости пиона, полученные при определяющем вкладе сотрудников ОИЯИ. В эксперименте пучок π^- с импульсом 190 ГэВ/с рассеивался на тонкой никелевой ми-

шени. Значение электрической поляризуемости пиона составило $(2,0 \pm 0,6_{\text{стат}} \pm 0,7_{\text{сист}}) \cdot 10^{-4}$ фм³, что находится в согласии с предсказанием эффективной киральной теории. Точность измерения почти вдвое превосходит ранее опубликованные результаты. Данный результат является принципиально важным для проверки справедливости эффективной киральной теории.

- *Adolph C. et al. (COMPASS Collab.). Measurement of the Charged-Pion Polarizability // Phys. Rev. Lett. 2015. V. 114. P. 062002.*

Группой ОИЯИ в составе коллаборации Daya Bay после обновления энергетической модели эксперимента были уточнены значения осцилляционных параметров θ_{13} и Δm_{ee}^2 : $\sin^2 2\theta_{13} = 0,084 \pm 0,005$, $\Delta m_{ee}^2 = (2,44 \pm 0,11) \cdot 10^{-3}$ эВ². На основе данных, набранных только на ближних детекторах, в эксперименте Daya Bay были измерены поток и спектр реакторных электронных антинейтрино. Как и в других реакторных экспериментах, в Daya Bay наблюдается общий дефицит потока антинейтрино 5,4% относительно модели спектров антинейтрино Huber + Mueller.

- *An F.P. et al. (Daya Bay Collab.). New Measurement of Antineutrino Oscillation with the Full Detector Configuration at Daya Bay // Phys. Rev. Lett. 2015. V. 115, No. 11. P. 111802; arXiv:1505.03456 [hep-ex].*
- *An F.P. et al. (Daya Bay Collab.). Measurement of the Reactor Antineutrino Flux and Spectrum at Daya Bay // Phys. Rev. Lett. (in press); arXiv:1508.04233 [hep-ex].*

По данным детектора BOREXINO опубликованы новые результаты по измерению потока геонейтрино. Измерение произведено на статистике 2056 сут, наблюдаемый сигнал от геонейтрино находится в согласии с ожидаемым для большинства геофизических моделей. Вероятность отсутствия вклада от геонейтрино в наблюдаемом спектре ничтожно мала и составляет $3,6 \cdot 10^{-9}$. При этом впервые в истории наблюдения геонейтрино с определенной долей вероятности (98%) можно утверждать, что геонейтринный сигнал имеет ненулевой вклад от мантии.

- *Agostini M. et al. (BOREXINO Collab.). Spectroscopy of Geoneutrinos from 2056 Days of BOREXINO Data // Phys. Rev. D. 2015. V. 92. P. 031101.*

В рамках эксперимента NOvA измерены следующие параметры осцилляций: $\sin^2 \theta_{23} = 0,51 \pm 0,10$, $\Delta m_{32}^2 = 2,37_{-0,15}^{+0,16} \times 10^{-3}$ эВ² (NH), $\Delta m_{32}^2 = -2,40_{-0,17}^{+0,14} \cdot 10^{-3}$ эВ² (IH). Создан

стенд для проверки и измерения параметров электроники, а также введен в эксплуатацию центр удаленного контроля (ROC-Dubna), позволяющий контролировать работу и управлять экспериментом из Дубны. Проведен анализ систематических ошибок эксперимента, а также разработано программное обеспечение для регистрации в детекторе сигнала от сверхновой.

- *Sanchez M.* Results and Prospects from the NOvA Experiment. NuFACT Workshop in Rio de Janeiro. August 2015.

В эксперименте OPERA коллаборация, продолжая анализ данных, набор которых закончился в конце 2012 г., обнаружила пятое событие взаимодействия τ -нейтрино. С учетом ожидаемого фона в 0,25 события статистическая значимость свидетельства нейтринных осцилляций $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ составила $5,1 \sigma$. Таким образом, главная задача эксперимента — доказательство существования этого типа осцилляций, ответственных за дефицит атмосферных мюонных нейтрино, путем прямого обнаружения τ -нейтрино в пучке, успешно выполнена.

- *Agafonova N. et al.* Discovery of τ Neutrino Appearance in the CNGS Neutrino Beam with the OPERA Experiment // Phys. Rev. Lett. 2015. V. 115, No. 12. P. 121802.

Впервые на ЛHC исследован распад $\Lambda_b^0 \rightarrow \psi(2S)\Lambda^0$, а также измерено отношение вероятностей распада $\Lambda_b^0 \rightarrow \psi(2S)\Lambda^0$ к $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi\Lambda^0$. Мезоны $J/\psi X$ и $\psi(2S)X$ восстанавливаются в распадах на мюонную пару, в то время как распад $\Lambda^0 \rightarrow p\pi^-$ используется для восстановления Λ^0 бариона. Измеренное значение отношения вероятностей распада $\Gamma(\Lambda_b^0 \rightarrow \psi(2S)\Lambda^0)/\Gamma(\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi\Lambda^0) = 0,501 \pm 0,033(\text{стат.}) \pm 0,016(\text{сист.}) \pm 0,011(B)$, что согласуется с отношением вероятностей распада для B -мезонов, измеренным в пределах 0,5–0,8. Единственное теоретическое предсказание для отношения рассматриваемых распадов ($0,8 \pm \pm 0,1$) превышает измеренное значение.

- *Gladilin L., Lyubushkin V. (ATLAS Collab.)*. Measurement of the Branching Ratio $\Gamma(\Lambda_b^0 \rightarrow \psi(2S)\Lambda^0)/\Gamma(\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi\Lambda^0)$ with the ATLAS Detector // Phys. Lett. B. 2015. V. 751. P. 63–80.

Создан прибор новой конструкции — лазерный детектор углового колебания поверхности Земли, на котором достигнуто разрешение $5 \cdot 10^{-9}$ рад. Этот результат является принципиально важным, поскольку открывает новые возможности прецизионного исследования угловых колебаний поверхностей. Детектор может дать начало новому поколению инструментов для решения

многих фундаментальных проблем науки и техники. Ключевая идея конструкции лазерного детектора — это использование вектора гравитации в качестве высокостабильного опорного направления, гарантирующего горизонтальность поверхностного слоя жидкости, отражающей лазерный луч.

- Будагов Ю.А., Ляблин М.В. Патент РФ № 2510488 «Устройство для измерения угла наклона».

Релятивистская ядерная физика

Группа ОИЯИ в коллаборации STAR представила результаты исследований корреляционной функции системы из двух антипротонов. Полученные результаты дают информацию о ядерных силах между антипротонами и представляют измерение величин двух ключевых параметров, характеризующих сильное взаимодействие, — длину рассеяния (f_0) и эффективную область взаимодействия (d_0). Тем самым эти результаты дают фундаментальную информацию, необходимую для понимания структуры и свойств антиядер.

- *STAR Collab.* Observation of Interaction between Anti-Nucleons // Nature (submitted).

Группа ОИЯИ, участвующая в эксперименте ALICE (ЛНС, ЦЕРН), концентрируется на исследовании бозе-эйнштейновских корреляций. В процессе анализа фемтоскопические корреляции пар каонов, рожденных в Pb–Pb-столкновениях при 2,76 ТэВ (на пару нуклонов), сравнивались с результатами для заряженных пионов и с предсказанием гидрокинетической модели (НКМ). Были получены зависимости от поперечной массы (m_T) трех компонентов (R_{out} , R_{side} , R_{long}) радиуса источника эмиссии каонов и пионов для центральных событий. Модель НКМ с перерассеянием частиц хорошо описывает каонные и большую часть пионных данных. Отклонение от идеального m_T -скейлинга (радиусы для каонов систематически выше пионных) объясняется существенным поперечным потоком и фазой перерассеяния. Результаты были представлены на конференции «Quark Matter-2015» (Кобе, Япония).

Физика тяжелых ионов

В сотрудничестве с учеными США проведена подготовка и начат важнейший научный эксперимент, нацеленный на получение новых изотопов элемента 118 — самого тяжелого из

известных элементов таблицы Д.И. Менделеева. Для этого эксперимента используется пучок ^{48}Ca и уникальная мишень из смеси изотопов калифорния, включая ^{251}Cf . Мишень была впервые изготовлена в Ок-Ридже (США) и поставлена в Дубну. Эксперимент проводится на газонаполненном сепараторе ЛЯР ОИЯИ в сотрудничестве с лабораториями в Ок-Ридже (ORNL), Ноксвилле (UT), Ливерморе (LLNL) и Нэшвилле (VU). К настоящему времени при дозе облучения мишени ионами ^{48}Ca $1,4 \cdot 10^{19}$ зарегистрирована одна цепочка распада ядра $^{294}118$, которое, вероятно, образуется в $3n$ испарительном канале реакции слияния $^{249}\text{Cf} + ^{48}\text{Ca}$. Это пятая цепочка распада единственного известного до настоящего времени изотопа элемента 118. Четыре другие цепочки распада этого изотопа были зарегистрированы в ЛЯР в экспериментах 2005 и 2012 гг. Радиоактивные свойства всех ядер цепочки $^{294}118$, ^{290}Lv и ^{286}Fl хорошо согласуются с результатами, полученными ранее как в реакции с ^{249}Cf , так и в перекрестных реакциях $^{245}\text{Cm}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{290}\text{Lv}$ и $^{242}\text{Pu}(^{48}\text{Ca}, 4n)^{286}\text{Fl}$. Сечение реакции $^{249}\text{Cf}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{294}118$ также соответствует величине, измеренной в 2005 г., — около 0,5 пб.

Эксперименты продолжаются. Результатом явится синтез изотопа элемента 118 с массовым числом 296 (рис. 1), т. е. самого

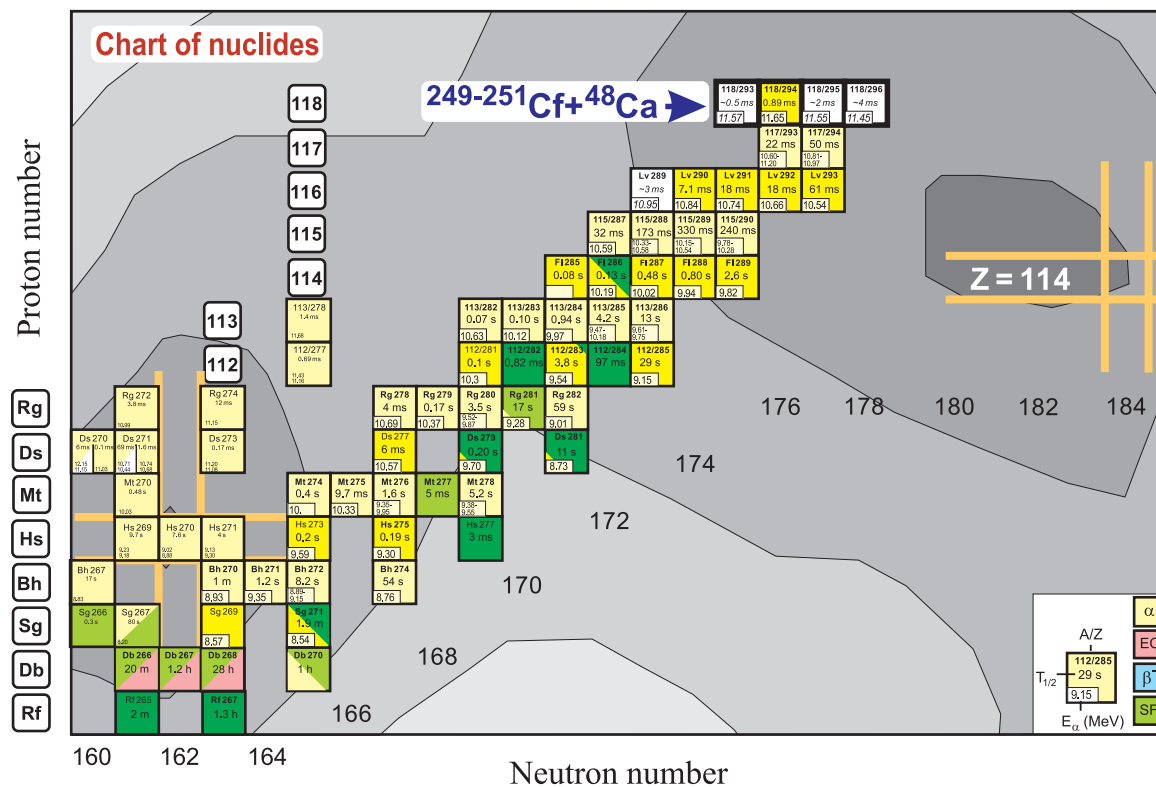


Рис. 1. Верхняя часть карты ядер. Белыми квадратами показаны новые сверхтяжелые ядра, которые могут быть получены в данном эксперименте

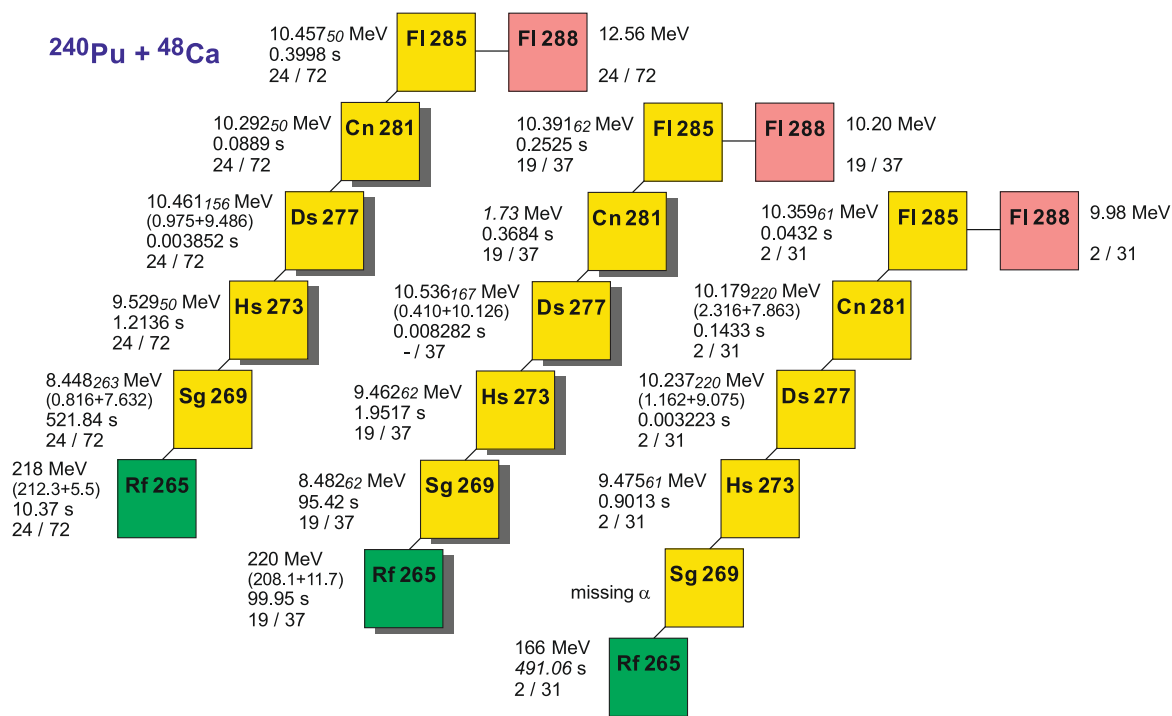


Рис. 2. Новые цепочки распада ядра ^{285}Fl

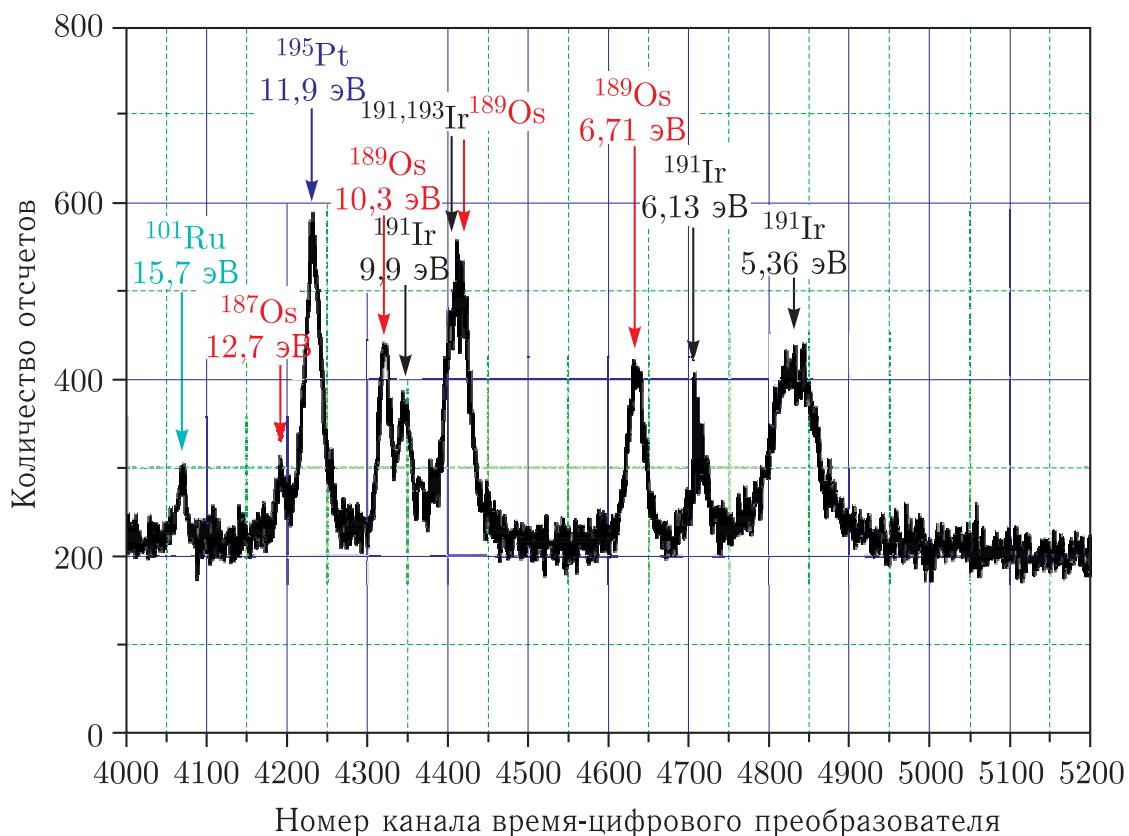
тяжелого ядра из известных на сегодня, что принципиально важно для определения пределов ядерной стабильности.

Завершены эксперименты по синтезу новых нейтронодефицитных изотопов сверхтяжелых элементов в реакциях слияния $^{48}\text{Ca} + ^{239}\text{Pu}$ и $^{48}\text{Ca} + ^{240}\text{Pu}$. В обеих реакциях получен новый изотоп ^{284}Fl , испытывающий спонтанное деление, а также три новые цепочки распада уже известного изотопа ^{285}Fl (рис. 2). В будущем планируется продолжить экспериментальное изучение области неизвестных сверхтяжелых ядер, находящихся между изотопами сверхтяжелых элементов, синтезированных методом «горячего» слияния в ОИЯИ (Дубна) и методом «холодного» слияния в GSI (Германия) и RIKEN (Япония). Работа имеет фундаментальное значение для понимания свойств ядер, находящихся вблизи границ острова стабильности сверхтяжелых элементов.

- *Utyonkov V. K. et al. // Phys. Rev. C. 2015. V. 92. P. 034609.*

Нейтронная ядерная физика

На импульсном источнике резонансных нейтронов ИРЕН традиционный для спектрометрии резонансных нейтронов метод времени пролета применен для элементного и изотопного анализа образцов. Идентификация элементов и изотопов осуществляется по энергиям нейтронных резонансов в реакции радиацион-

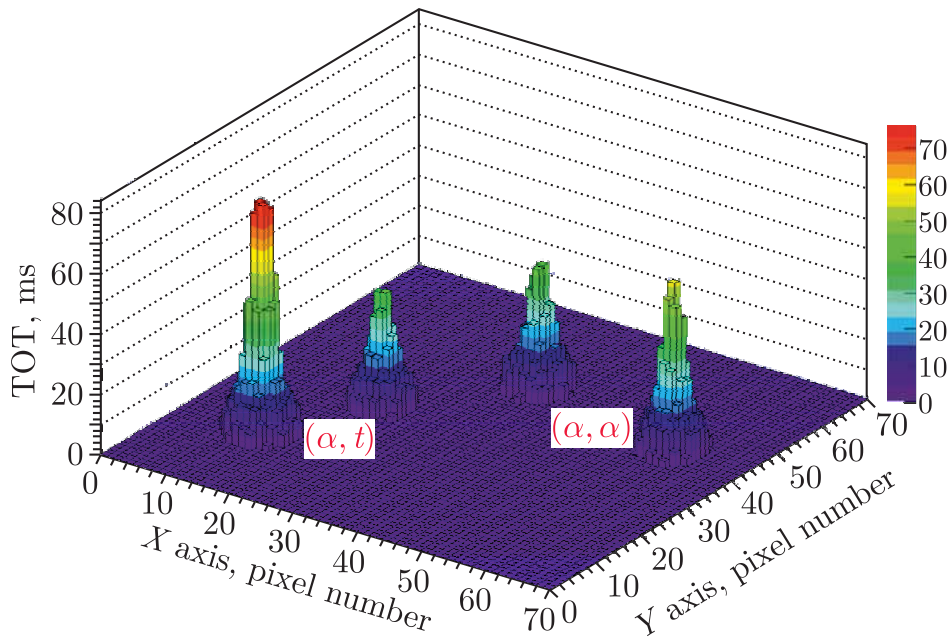


Участок времяпролетного спектра при анализе геологической пробы

ного захвата, а их содержание определяется по выходу гамма-квантов в наблюдаемых резонансах. За время ввода в опытную эксплуатацию первой очереди установки ИРЕН (с одной ускоряющей секцией) регулярно проводился анализ рудных проб Центральной геологической лаборатории Министерства энергетики и природных ресурсов Монголии и композитных образцов Белорусского государственного университета (Минск). Совместно с ГАИШ МГУ проведены исследования элементного и изотопного состава объектов предположительно неземного происхождения.

- *Бажажина Н.В. и др. // Письма в ЭЧАЯ. 2015. Т.12, № 4(195). С. 895–903.*

Пиксельный кремниевый детектор Timerix, состоящий из 256×256 пикселей размером 55×55 мкм, использовался в комбинации с ΔE -детектором (толщина 11 мкм) для регистрации легких заряженных частиц, испускаемых в спонтанном делении ^{252}Cf . Высокое позиционное разрешение детекторной системы позволило впервые наблюдать одновременный вылет двух заряженных частиц с малым относительным углом вылета (наблюдались пары α - α и α - t), которые приписываются распаду нестабильных частиц ^8Be и $^7\text{Li}^*$.



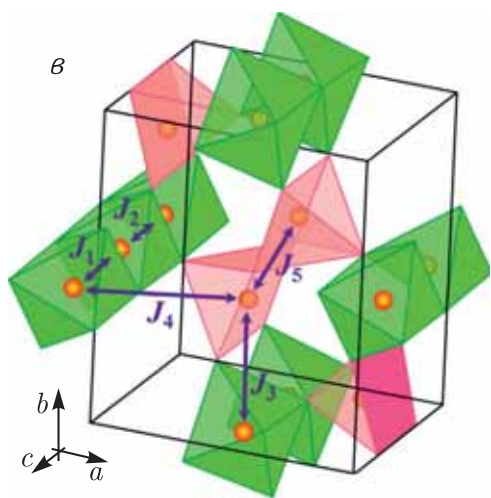
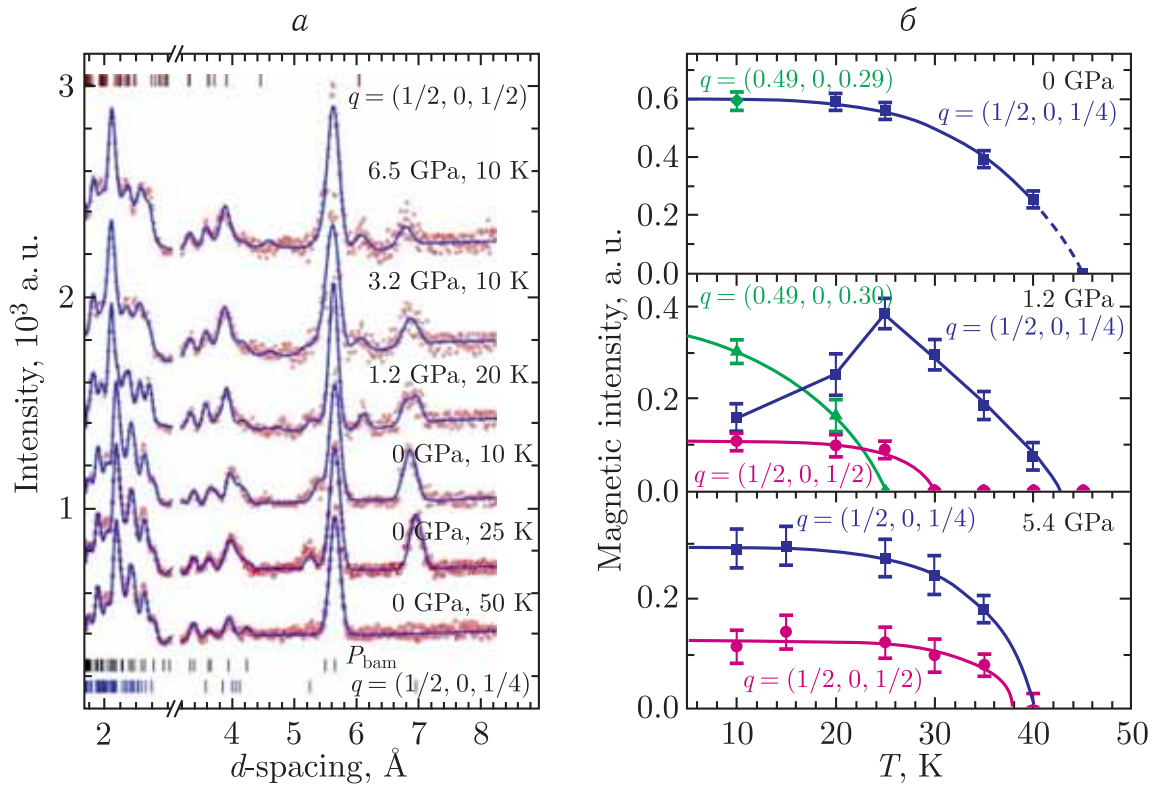
Трехмерные спектры сигналов из детектора Timerix, соответствующие парам $\alpha-t$ (слева, энергии частиц различные) и $\alpha-\alpha$ (справа, энергии частиц близки друг к другу)

Были определены выходы этих частиц, а также угловые и энергетические распределения α -частиц, образующихся в четверном делении.

- *Ahmadov G. S. et al.* Detection of Ternary and Quaternary Fission Fragments from ^{252}Cf with a Position-Sensitive $\Delta E-E$ Telescope Based on Silicon Detectors // Part. Nucl., Lett. 2015. V. 12, No. 4(195). P. 846–854.

Физика конденсированных сред

Проведено исследование кристаллической, магнитной структуры и колебательных спектров несобственного мультиферроика YMn_2O_5 с сильной магнитоэлектрической связью методами нейтронной дифракции, рентгеновской дифракции и рамановской спектроскопии в диапазоне высоких давлений 0–30 ГПа и температур 10–300 К. С повышением давления в области $P > 1$ ГПа наблюдалось подавление соразмерной и несоизмерной антиферромагнитных (АФМ) фаз с вектором распространения $q = (\sim 1/2, 0, \sim 1/4)$ и появление новой соразмерной АФМ-фазы с вектором распространения $q_p = (1/2, 0, 1/2)$. Такое поведение сильно контрастирует с другими системами RMn_2O_5 , в которых под давлением наблюдается противоположное поведение — стабилизация соразмерной АФМ-фазы с вектором распространения $q = (1/2, 0, 1/4)$. В области более высоких давлений



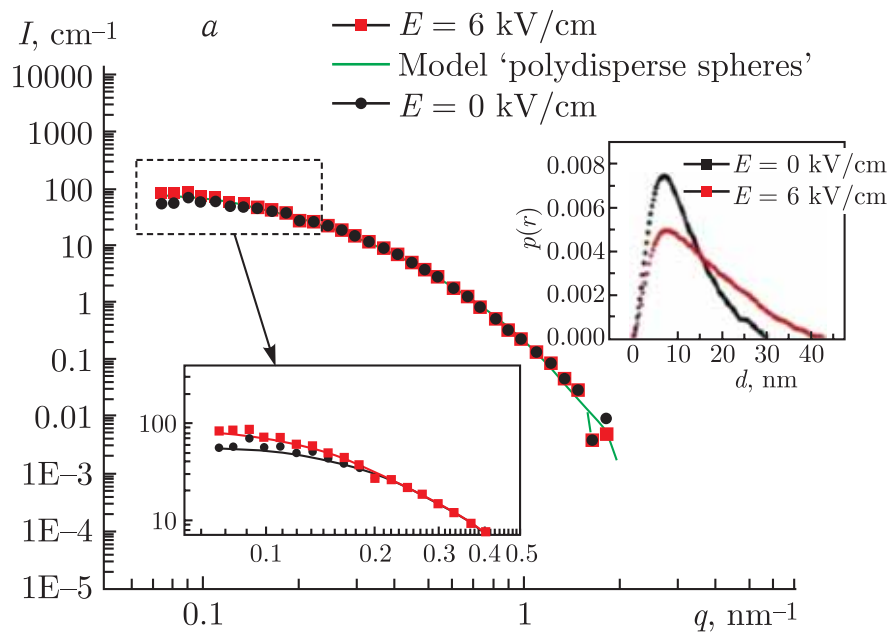
а) Нейтронные дифракционные спектры YMn_2O_5 , измеренные при различных значениях давления и температуры на дифрактометре ДН-12 и обработанные по методу Ритвельда. б) Температурные зависимости интегральной интенсивности характерных магнитных пиков соразмерной и несоизмерной АФМ-фаз с вектором распространения $q = (\sim 1/2, 0, \sim 1/4)$ и индуцированной давлением соразмерной АФМ-фазы с вектором распространения $q_p = (1/2, 0, 1/2)$ при различных значениях давления. в) Структурное строение соединения YMn_2O_5 и ключевые магнитные взаимодействия

$P > 16$ ГПа наблюдался структурный фазовый переход, сопровождающийся аномалиями в барическом поведении некоторых параметров элементарной ячейки и колебательных мод.

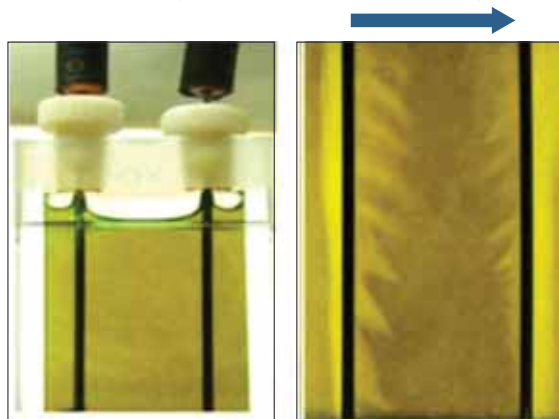
Полученные данные позволили проанализировать роль конкурирующих магнитных взаимодействий в формировании основного магнитного состояния мультиферроиков RMn_2O_5 .

• Kozlenko D.P. et al. // Phys. Rev. B. 2015. V. 92. P. 134409.

С помощью малоуглового рассеяния нейтронов обнаружены изменения в структурной организации магнитных жидкостей на



б $E = 0$ kV/cm $E = 6$ kV/cm



Воздействие внешнего электрического поля на структуру магнитной жидкости магнетит/олеиновая кислота/трансформаторное масло для наноуровня: малоугловое рассеяние нейтронов, концентрация магнетита 1% (а), для макроуровня: визуальное наблюдение фазового расслоения в кварцевой кювете (толщина 1 мм), концентрация магнетита 0,05% (б). Вкладка на рис. а показывает восстановленные из кривых рассеяния корреляционные функции (в виде функций распределения парных расстояний) для жидкости в двух состояниях: «без поля» и «с полем», которые указывают на увеличение характерного размера в результате образования агрегатов при приложении поля, а также на наличие анизотропии в форме агрегатов

основе трансформаторного масла под действием внешнего постоянного и переменного электрического поля. Задача выполнялась в рамках выяснения эффекта повышения напряжения пробоя в жидкостных трансформаторах при добавлении в жидкий носитель наночастиц, в частности, наночастиц магнетита, стабилизированных олеиновой кислотой.

Показано, что при приложении постоянного электрического поля наряду с макроскопическим фазовым разделением имеет место образование агрегатов на уровне ~ 100 нм с сильной зависимостью от напряженности поля.

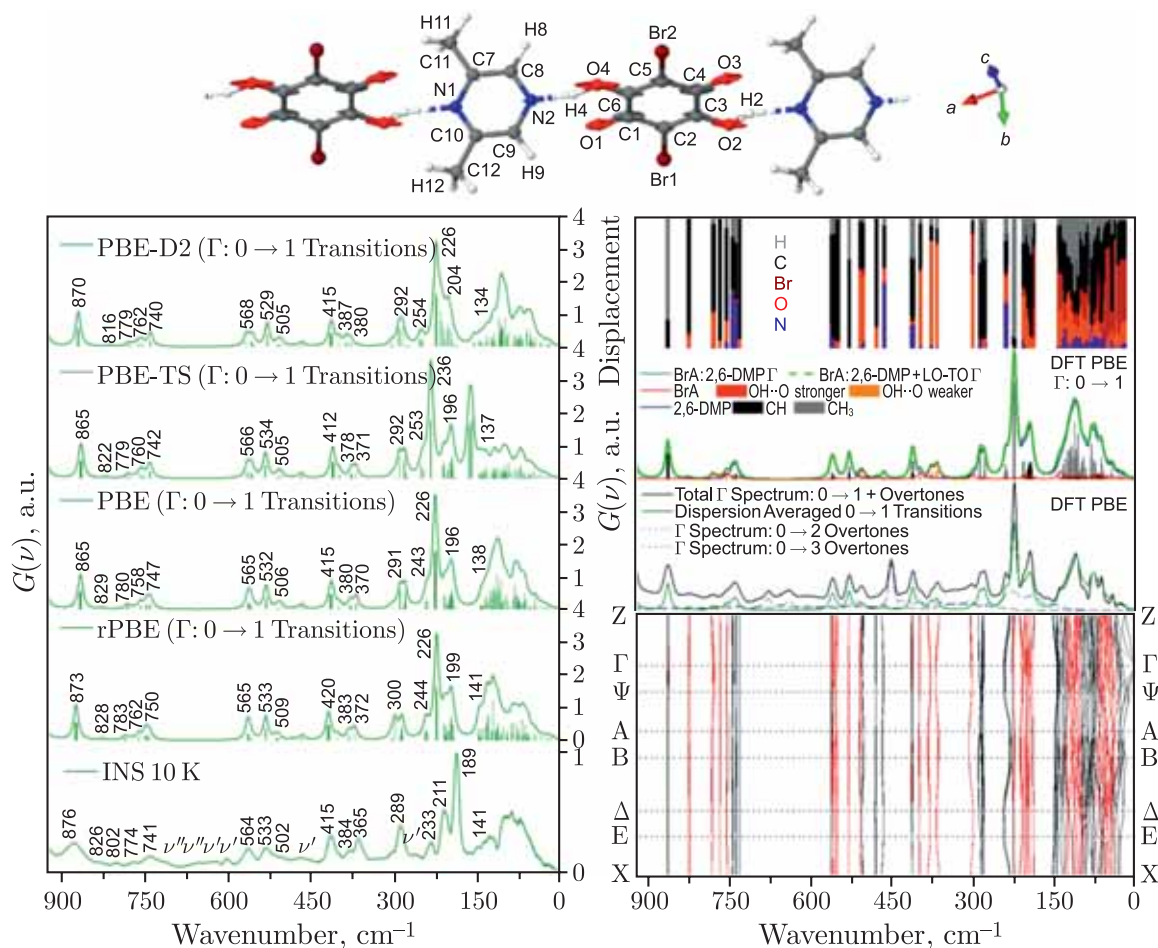
При выключении электрического поля система через некоторое время (порядка нескольких часов) возвращается в исходное состояние. Для переменного электрического поля показано, что при достаточно малых частотах агрегаты также образуются, однако данный процесс прекращается при превышении некоторой критической частоты. Таким образом, в дополнение к агрегационным эффектам во внешнем магнитном поле, типичным для магнитных жидкостей, обнаружена аналогичная чувствительность к электрическому полю для магнитных жидкостей на основе диэлектрических носителей, что открывает новые потенциальные возможности регулирования свойств данных комплексных систем с использованием внешних управляющих параметров.

- *Rajnak M. et al. // Appl. Phys. Lett. 2015. V. 107. P. 073108.*

В последнее время наблюдается большой интерес к исследованию супрамолекулярных сокристаллов типа донор–акцептор с водородными связями, имеющих широкие перспективы в качестве функциональных материалов с полупроводниковыми и/или сегнетоэлектрическими свойствами, возникающими вследствие явлений переноса электронов и протонов. Проведено комплексное исследование кристаллической структуры и молекулярной динамики сокристалла броманилиновой кислоты и 2,6-диметилпиразина (BrA:2,6-DMP, 1:1) с помощью методов монокристаллической рентгеновской дифракции, нейтронной спектроскопии (спектрометр HEPA) и комплементарных спектроскопических методов.

Для интерпретации экспериментальных результатов также было проведено теоретическое моделирование. Структурный анализ показал, что исследуемая система кристаллизуется в моноклинной структуре симметрии $P2_1/c$ с четырьмя молекулярными единицами в элементарной ячейке, которая содержит сетку антипараллельно ориентированных молекулярных цепочек с водородными связями. В ходе интермолекулярного анализа обнаружена неэквивалентность водородных связей промежуточной силы и присутствие множественных специфических межмолекулярных сил.

- *Łuczyńska K. et al. // J. Phys. Chem. B. 2015. V. 119. P. 6852–6872.*



Молекулярная структура, спектры неупругого рассеяния нейтронов (НЭРА 10 К) и теоретические расчетные колебательные спектры (для переходов $0 \rightarrow 1$) BrA:2,6-DMP (1:1) в диапазоне частот ниже 925 cm^{-1} . Также выборочно представлены рассчитанные фоновые дисперсионные кривые вместе с плотностью колебательных состояний, разложенных на парциальные плотности для каждого молекулярного фрагмента

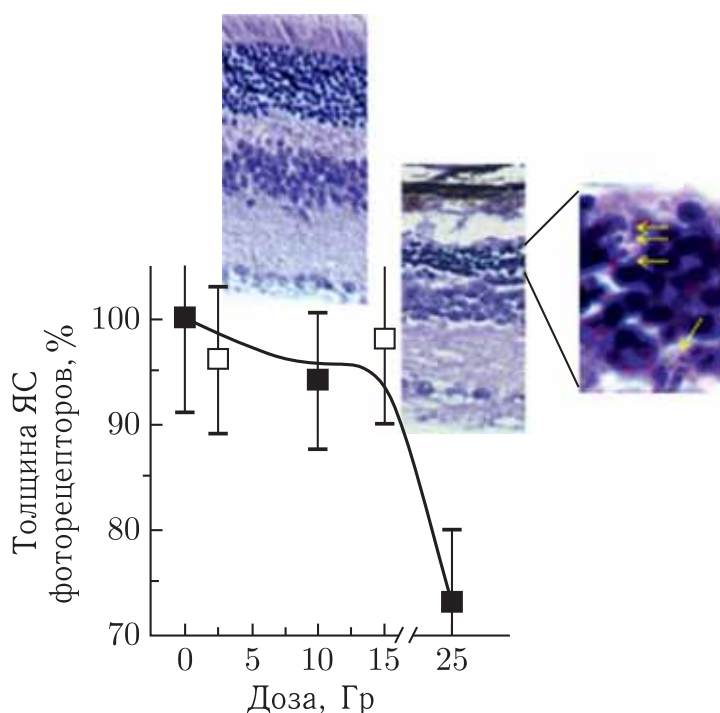
РАДИАЦИОННЫЕ И РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Создан экспериментальный стенд для испытания приборов ядерной планетологии на моделях планетарного грунта. Основа планетарных реголитов представляет собой массив силикатного стекла общей массой до 35 т, являющийся моделью абсолютно сухого грунта. Наличие в грунте воды моделируется слоями полиэтилена на разных глубинах. Для максимально возможного приближения к химическому составу марсианского реголита по Fe, Al и Cl в состав массива стекла добавлены тонкие слои стали, алюминия и полихлорвинила. В целом химический состав моделей хорошо согласуется со средним химическим составом марсианского и лунного реголита.

Исследования, проводимые на стенде, являются продолжением многолетнего цикла совместных с ЛНФ и Институтом космических исследований РАН работ по разработке, созданию и калибровке приборов ядерной планетологии. Приборы предназначены для анализа элементного состава грунта небесных тел. Сотрудники ОИЯИ участвовали в создании ряда приборов, с помощью которых было подтверждено наличие водяного льда на Марсе и Луне, нейтронного прибора, смонтированного на борту ровера Curiosity, а также ряда других приборов для будущих миссий Роскосмоса, NASA и ESA.

- *Litvak M. L. et al.* Ground Tests with Active Neutron Instrumentation for the Planetary Science Missions // Nucl. Instr. Meth. A. 2015. V. 788. P. 194–202.

Проведены исследования действия ускоренных протонов и агента химической природы (метилнитрозомочевины) на сетчатку глаза мышей. Разработана методика визуализации глиальных клеток Мюллера (ГКМ) в срезах сетчатки глаза мышей, открывающая возможность исследования ответа этих клеток на генотоксическое воздействие. ГКМ играют ключевую роль в регенерации сетчатки глаза и являются единственными клетками



Микрофотографии срезов сетчатки глаза мышей, показывающие активацию клеток Мюллера в сетчатке после введения метилнитрозомочевины в дозе 70 мг/кг. Изменение толщины ядерного слоя (ЯС) фоторецепторов мыши в ответ на локальное облучение протонами головы мыши спустя 3 сут (■) и 30 сут (□) после облучения

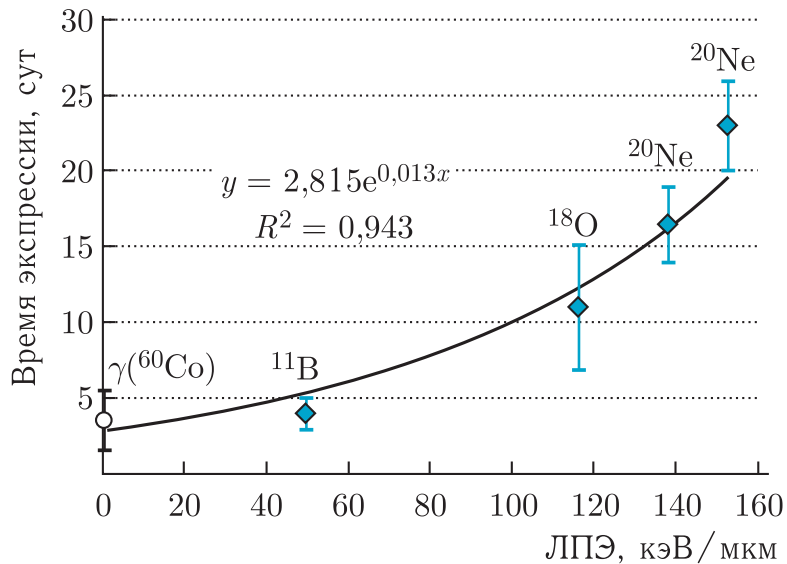
в сетчатке, которые сохраняют способность к делению. Выявлено наличие генотоксического порога (плато устойчивости на кривой «доза–эффект») у сетчатки глаза мышей после воздействия ускоренными протонами и инъекции метилнитрозомочевины. Обнаружена способность сетчатки глаза к морфологическому и функциональному восстановлению после воздействия используемых в работе генотоксических агентов.

Результаты данной работы имеют теоретическое и практическое значение для решения фундаментальной проблемы повреждения и восстановления терминально дифференцированных клеток и состоящих из них тканей. Они могут быть использованы для прогноза опасности и оценки последствий ретинотоксического воздействия и оптимизации радио- и химиотерапии опухолей головы, мозга, шеи и глаз, а также для первичной оценки эффективности лекарственных средств, препятствующих дегенерации сетчатки.

Полученные данные также могут послужить прогностическим показателем влияния условий космоса на человека при осуществлении длительных пилотируемых космических полетов.

- *Тронов В.А. и др.* Исследование адаптивного ответа сетчатки глаза у мышей на облучение протонами: связь с репарацией ДНК и гибелью фоторецепторных клеток // Письма в ЭЧАЯ. 2015. Т. 12, № 1(192). С. 241–255.
- *Тронов В.А. и др.* Радиационное прекондиционирование сетчатки глаза у мышей *in vivo* повышает ее устойчивость к последующему генотоксическому воздействию и стимулирует восстановление // Цитология. 2015. Т. 56, № 2. С. 119–128.
- *Виноградова Ю.В.* Исследование повреждения и процессов восстановления сетчатки глаза мышей после облучения ускоренными протонами и действия метилнитрозомочевины. Автореф. дис. М., 2015. 24 с.

Проведена серия экспериментов по исследованию радиационно-индуцированного мутагенеза в клетках китайского хомячка (линия V79) после воздействия ускоренных ионов с различной ЛПЭ (50, 116, 138, 153 кэВ/мкм) и γ -облучения. Обнаружено, что формирование мутантных субклонов зависит от сроков высева облученных клеток («времени экспрессии» мутаций) на селективную питательную среду с 6-тиогуанином и ЛПЭ излучений. При увеличении периода экспрессии отмечено увеличение частоты мутирования до максимального значения с последующим его



Максимальный уровень радиационно-индуцированного мутагенеза в клетках китайского хомячка в зависимости от «времени экспрессии» и ЛПЭ ускоренных ионов

снижением до спонтанного уровня. Положение этого максимума зависело от ЛПЭ ускоренных ионов.

С увеличением ЛПЭ значение максимума смещается в сторону более длинного «времени экспрессии». При γ -облучении максимальный уровень мутагенеза отмечен на 3–4 сут после облучения, тогда как после облучения ускоренными ионами кислорода ^{18}O (ЛПЭ ~ 116 кэВ/мкм) максимальный уровень мутагенеза наблюдался через 11 сут и после облучения ускоренными ионами неона ^{20}Ne (ЛПЭ ~ 153 кэВ/мкм) через 23 сут. На основании проведенных исследований можно предположить, что повышенный уровень радиационно-индуцированного мутагенеза определяется возросшей хромосомной нестабильностью популяции облученных клеток, и его проявление в разные «времена экспрессии» зависит от тяжести первоначальных повреждений.

- *Blaha P. et al.* Induction of HPRT Mutants in V79 Cells after Gamma and HZE Ions Irradiation at Various Expression Times // Book of Abstracts of the 15th International Congress of Radiation Research. Kyoto, Japan, 25–29 May 2015.

УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕМАТИКА

В ОИЯИ создана линия по производству, сборке и тестированию сверхпроводящих магнитов, включающая в себя участок для производства сверхпроводящего кабеля, мастерскую по изготовлению обмоток, участок сборки магнитов, измерения качества поля, вакуумных и криогенных испытаний. Конструкция

магнитов разработана в ОИЯИ и отмечена премией Правительства РФ за 2011 г. В ближайшие годы планируется изготовить и протестировать около 400 магнитов для вновь создаваемых ускорительных установок международных проектов NICA (ОИЯИ) и FAIR (ФРГ).

В рамках реализации проекта NICA создан новый форинжектор для существующего линейного ускорителя ЛУ-20 на основе секции ускорителя с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой (RFQ). В 2015 г. проведен его физический пуск с пучками дейтерия и углерода от лазерного источника. Ускоритель, спроектированный совместно ИТЭФ и МИФИ, был изготовлен в ВНИИТФ им. Е. И. Забабахина. Высокочастотный усилитель изготовлен в ИТЭФ. Системы питания источника ионов и канал транспортировки пучка низкой энергии разработаны и изготовлены в ОИЯИ. В создании систем диагностики и управления принимали участие специалисты из ИЯИ РАН. Успешное изготовление и испытание секции RFQ, предназначенной для ускорения легких ионов, является заметным достижением не только для ОИЯИ, но и для российской ускорительной науки в целом.

В рамках реализации проекта NICA разработан и создан линейный ускоритель тяжелых ионов (вплоть до золота) с энергией 3,2 МэВ/нуклон и током до 10 мА. Ускоритель, изготовленный в Германии, в 2015 г. был доставлен в ОИЯИ. Для его размещения в ОИЯИ была подготовлена необходимая инфраструктура, спроектированы и изготовлены источник ионов и канал транспортировки пучка низкой энергии, смонтирована и испытана система высокочастотного питания. В декабре 2015 г. на выходе первой из трех ускоряющих секций были получены пучки ускоренных ионов дейтерия и гелия.

Завершен монтаж нового фрагмент-сепаратора АКУЛИНА-2, предназначенного для получения вторичных радиоактивных пучков легких экзотических ядер. Были выполнены необходимые вакуумные тесты и магнитные измерения, а также осуществлена проводка пучка. Первые эксперименты с радиоактивными пучками, получаемыми на фрагмент-сепараторе АКУЛИНА-2, планируются в 2016 г. В процесс создания спектрометра нулевого угла, а также систем вакуумного контроля и мониторинга пучка вовлечены несколько институтов Польши и Чешской Республики.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Введен в эксплуатацию центр уровня Tier-1 для эксперимента CMS на Большом адронном коллайдере (ЛНС, ЦЕРН). Данный центр является базовой установкой ОИЯИ и создает условия для физиков Института, стран-участниц, коллаборации RDMS-CMS для полномасштабного участия в обработке и анализе данных, поступающих с эксперимента CMS. При создании центра была разработана инженерная инфраструктура (система бесперебойного электропитания, климат-контроля и др.); высокоскоростная надежная сетевая инфраструктура с выделенным резервируемым каналом в ЦЕРН (LHCOPN); вычислительная система (2400 вычислительных ядер) и система хранения на базе дисковых массивов (2,4 ПБ), а также ленточных библиотек большой емкости (5 ПБ). Введенные системы обеспечивают 100%-ю надежность и доступность центра. Создание центра уровня Tier-1 в ОИЯИ открывает новую перспективу исследований в области аналитики «больших данных». Последняя является ключевым фактором успеха для развития перспективных направлений науки и индустрии, таких как биоинформатика, энергетика нового поколения, экономическое моделирование, социология и др.

Программа для вычислений геометрических характеристик ядро-ядерных взаимодействий, широко применяемая на RHIC и ЛНС, адаптирована для экспериментов NICA/MPD и CBM. Для задания профиль-функции нуклон-нуклонных соударений используется параметризация, ранее предложенная авторами. Для определения ядерных параметров используется подход, широко известный в физике низких и промежуточных энергий. Программа расширена возможностью учета грибовского неупругого экранирования.

- Galoyan A. S., Uzhinsky V. V. // Part. Nucl., Lett. 2015. V. 12, No. 1. P. 231–236.

Модель микроскопического оптического потенциала (ОП) применена для анализа упругого рассеяния $^{10,11}\text{Be}$ протонами и ядрами и анализа сечений неупругого рассеяния π -мезонов ядрами Si, Ni, Pb при энергии 291 МэВ. Распределения плотности ядер $^{10,11}\text{Be}$, полученные в модели генераторных координат (GCM) и квантовым методом Монте-Карло (QMC), использованы для расчета ОП и затем дифференциальных сечений упругого рассеяния этих ядер на протонах и ядрах ^{12}C . Для анализа сечений неупругого рассеяния π -мезонов использовались параметры πN -амплитуды в ядерной среде, полученные ранее из анали-

за данных упругого рассеяния на тех же ядрах. Определены параметры глубины реальной и мнимой частей ОП с учетом известной зависимости объемных интегралов ОП от энергии. Полученные потенциалы можно использовать в дальнейших расчетах сечений реакций с участием этих ядер.

- *Zemlyanaya E.V. et al. // Phys. Rev. C. 2015. V.91. P.034606.*
- *Lukyanov V.K. et al. // Intern. J. M. Phys. E. 2015. V.24, No. 4. P.1550035.*
- *Лукьянов В.К., Земляная Е.В., Лукьянов К.В. // ЯФ. 2015. Т. 78, № 1. С. 147–155.*

Предложен алгоритм реконструкции треков заряженных частиц на основе фильтра Калмана. Данный алгоритм применяется для решения одной из ключевых задач эксперимента СВМ (Condensed Baryon Matter) — распознавания траекторий заряженных частиц и определения их параметров. При этом, так как в эксперименте СВМ планируется полная реконструкция сигнальных событий в реальном времени эксперимента, разрабатываемые алгоритмы должны быть быстрыми, максимально использующими возможности современных многоядерных процессоров и GPU-архитектур. Расчеты проведены на высокопроизводительном сервере с двумя процессорами Intel Xeon X5660 и видеокартой Nvidia GTX GPU 480.

- *Ablyazimov T.O. et al. // Part. Nucl., Lett. 2015. V.12, No. 3. P.423–427.*

Предложен новый байесовский анализ оценки вероятностей реалистичных моделей уравнения состояния холодной, плотной ядерной материи на основе независимых измерений массы и радиусов нейтронных звезд. Один из ключевых вопросов анализа — является ли деконфайнмент в ядрах компактных звезд переходом типа кроссовер или переходом первого рода. Последнее актуально для возможного существования критической конечной точки на фазовой диаграмме КХД, что находится в сфере интересов ряда существующих и будущих экспериментов по соударению тяжелых ионов, таких как МРД на NICA и СВМ на FAIR. В связи с этим интересным становится вопрос о существовании массовых близнецов (звезд третьего семейства) — звезд с одинаковой массой, но различных по структуре.

На основе селективных наблюдательных данных по пульсарам была сделана вероятностная оценка гибридных моделей уравнения состояния холодной плотной материи, основанных на адронных моделях типа APR (с эффектами и без эффектов

исключенного объема) и на модели мешка для кварковой материи. В анализе использовались наблюдательные данные по массе одного из массивных пульсаров PSR J0348 + 0432 и по радиусу PSR J0437-4715 пульсара. Расчеты показывают, что модели уравнения состояния, допускающие существование сверхмассивных близнецов, имеют наиболее высокую вероятностную меру.

- *Ayriyan A. et al. // Part. Nucl. 2015. V.46, No.5. P.1563–1570.*

УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

В 2015 г. в Учебно-научном центре проходили обучение 485 студентов и аспирантов базовых кафедр МГУ, МФТИ, университета «Дубна» и университетов стран-участниц ОИЯИ. В аспирантуре ОИЯИ обучались 18 человек, 7 из них по специальности «Теоретическая физика».

В летней студенческой практике по направлениям исследований ОИЯИ 2015 г., которая традиционно проводилась в три этапа, принимали участие 134 представителя Азербайджана, Белоруссии, Болгарии, Египта, Кубы, Польши, Румынии, Сербии, Словакии, Чехии и ЮАР.

Участниками летней студенческой программы стали 33 студента и аспиранта из МГУ, МФТИ, МИФИ, государственных университетов С.-Петербурга и Омска, вузов Армении, Белоруссии, Болгарии, Грузии, Египта, Кубы, Польши, Румынии, Словакии, Узбекистана, Украины и ЮАР. Конкурс на участие в программе составил 4 человека на место.

Ежегодная школа для учителей физики из стран-участниц ОИЯИ проводилась в июне в Дубне в 2 этапа: первый — для 25 учителей физики из Белоруссии, Болгарии, Казахстана, РФ, Украины и их 11 учеников, второй — для 16 учителей из Москвы. Программа включала лекции ведущих сотрудников ОИЯИ о современных исследованиях, экскурсии в лаборатории и на базовые установки, видеоконференции с ЦЕРН. В марте и ноябре в работе двух научных школ в ЦЕРН принимали участие 65 преподавателей физики школ РФ, Белоруссии, Казахстана, Украины, Швейцарии. Учителя РФ представляли учебные заведения Москвы и области, С.-Петербурга, а также Воронежской, Иркутской, Кировской, Новосибирской, Нижегородской, Самарской, Смоленской, Томской, Челябинской областей, Башкортостана, Татарстана, Чувашии, Краснодарского и Приморского краев.

Летом 2015 г. в Познани (Польша) проходила 7-я Международная студенческая школа «Ядерная физика — наука и приложения» (NUCPHYS-SC&APPL). Школа была организована УНЦ

ОИЯИ, физическим факультетом Университета им. А. Мицкевича в Познани (Польша), Чешским техническим университетом в Праге, Университетом им. Я. Коменского в Братиславе (Словакия). Участниками школы были молодые сотрудники ОИЯИ, а также представители вузов Армении, Польши, России, Румынии, Узбекистана и Чехии.

УНЦ ОИЯИ и математический факультет Научно-исследовательского университета «Высшая школа экономики» весной 2015 г. проводили международную школу-конференцию «Интегрируемые структуры в квантовой теории поля». Ее участниками стали 18 студентов и молодых сотрудников Института теоретической физики АН Украины, математического факультета «Высшей школы экономики» и МФТИ.

УНЦ ОИЯИ участвовал в организации мероприятий для детей и взрослых «День физики», организовывал видеоконференции со школами и университетами городов РФ, а также проводил ознакомительные лекции и экскурсии для школьников и студентов городов РФ и Германии.

ПРЕМИИ

Решением Ученого совета Института ядерных исследований РАН премия имени М. А. Маркова за 2015 г. присуждена директору ОИЯИ действительному члену Российской академии наук Виктору Анатольевичу Матвееву за вклад в развитие теории сильных взаимодействий и кварковой модели адронов.

9 ноября 2015 г. было объявлено, что коллаборации Daya Bay, KamLAND, Super-Kamiokande, SNO и T2K/K2K разделили самую крупную премию в науке Breakthrough Prize в области фундаментальной физики «за открытие и исследование нейтринных осцилляций». Со стороны ОИЯИ премию получили М. О. Гончар, Ю. А. Горнушкин, Д. В. Наумов, И. Б. Немченко, А. Г. Ольшевский, Е. А. Якушев, В. А. Матвеев и Б. А. Попов.

ОБЩИЕ ДАННЫЕ О КОЛИЧЕСТВЕ ПУБЛИКАЦИЙ СОТРУДНИКОВ ОИЯИ (с 06.12.2014 по 31.12.2015)

- Книги — 11:

Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики: учебное пособие для студ. вузов. — Изд. 8-е. — М.: URSS, 2015. — 672 с.: ил. — (Физико-математическое наследие: физика (квантовая механика)).

Блохинцев Д. И. Принципиальные вопросы квантовой механики. — Изд. 3-е. — М.: URSS, 2015. — 150 с.: ил. — (Физико-математическое наследие: физика (квантовая механика)). — Библиогр.: с. 148–150.

Исаев П. С. Обыкновенные, странные, очарованные, прекрасные...: об истории развития теоретических идей в физике элементарных частиц. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М.: URSS, 2015. — 315 с.: ил. — (Науку — всем! Шедевры научно-популярной литературы. (Физика); Вып. 105). — Библиогр.: с. 314.

Красников Н. В., Матвеев В. А. Открытие бозона Хиггса и поиск новой физики на Большом адронном коллайдере при энергиях 7 и 8 ТэВ. — М.: URSS, 2015. — 274 с.: ил. — Библиогр.: с. 257–274.

Пенев В. Н. От признания к творчеству. — Мюнхен: TUT i TAM, 2015. — 202 с.: цв. ил. — Библиогр.: с. 181–185.

Перепелкин Е. Е., Садовников Б. И., Иноземцева Н. Г. Вычисления на графических процессорах (GPU) в задачах математической и теоретической физики. — М.: URSS, 2014. — 166 с.: ил. — (Классический учебник МГУ). — Библиогр.: с. 166.

Сырессин Е. М. Протонная и ионная терапия. — Дубна: ОИЯИ, 2015. — 156 с.: цв. ил. — (ОИЯИ; 2014-81). — Библиогр.: с. 153–156.

Тимошенко Г. Н. Экспериментальные методы ядерной физики: учебное пособие. — Дубна: Гос. ун-т «Дубна», 2015. — 170 с. — В над-заг.: Гос. ун-т «Дубна», фак. естеств. и инж. наук, каф. биофизики.

Passport of the NICA Accelerator Complex: Functional Requirement Specification Project NICA/MPD / I. Meshkov, G. Trubnikov, A. Sidorin, N. N. Agapov, V. S. Aleksandrov, O. I. Brovko, A. V. Butenko, E. D. Donets, E. E. Donets, D. E. Donets, A. V. Eliseev, A. A. Fateev, V. V. Fimushkin, A. R. Galimov, E. V. Gorbachev, A. I. Govorov, E. V. Ivanov, V. N. Karpinsky, V. D. Kekelidze, H. G. Khodzhibagiyan, V. V. Kobets, O. S. Kozlov, S. A. Kostromin, A. D. Kovalenko, G. L. Kuznetsov, R. Lednicky, N. I. Lebedev, V. A. Matveev, V. A. Mikhailov, V. A. Monchinsky, Yu. K. Potrebenikov, A. V. Philippov, S. V. Romanov, P. A. Rukoyatkin, N. V. Semin, N. A. Shurkhno, A. I. Sidorov, V. M. Slepnev, A. V. Smirnov, A. S. Sorin, N. D. Topilin, A. V. Tuzikov, V. I. Volkov; Ed.: I. Meshkov, G. Trubnikov, A. Sidorin. — Dubna: JINR, 2015. — 19 p.: ill. — Bibliogr.: P. 19.

Lehar F., Strokovsky E. A., Wilkin C. Experimental Physics with Polarized Protons, Neutrons and Deuterons. — Prague: Czech Technical Univ., 2015. — 220 p.: ill. — Bibliogr.: P. 207–220.

Voskresenskaya O. Kinetic and Thermodynamic Stability of Cerium (IV) Complexes with a Series of Aliphatic Organic Compounds. — New York: Nova Sci. Publ., 2013. — IX, 171 p.: ill. — Bibliogr.: end of chap.

- Журнальные статьи — 850
- Публикации в трудах конференций — 780
- Препринты — 81
- Авторефераты диссертаций — 17
- Всего: 1739

THEORETICAL PHYSICS

Manifestly gauge-independent analysis of the vacuum stability in the Standard Model including two-loop matching, three-loop renormalization group evolution, and pure QCD corrections through four loops is performed. All these ingredients are exact, except that light-fermion masses are neglected. We in turn apply the criterion of nullifying the Higgs self-coupling and its beta function in the modified minimal-subtraction scheme and a recently proposed consistent method for determining the true minimum of the effective Higgs potential that also avoids gauge dependence. Exploiting our knowledge of the Higgs-boson mass, we derive an upper bound on the pole mass of the top quark by requiring the Standard Model stability all the way up to the Planck mass scale and conservatively estimate the theoretical uncertainty. This bound is compatible with the Monte Carlo mass quoted by the Particle Data Group at the 1.3σ level.

- *Bednyakov A. V. et al. // Phys. Rev. Lett. 2015. V. 115. P. 201802.*

A promising route to tailoring the electronic properties of quantum materials and devices rests on the idea of orbital engineering in multilayered oxide hetero-structures. It is shown that the interplay of interlayer charge imbalance and ligand distortions provides a knob for tuning the sequence of electronic levels even in intrinsically stacked oxides. In this regard, the d-orbital level structure of layered Sr_2IrO_4 by electron spin resonance is resolved and it is shown that the iridium d-levels are inverted with respect to their normal ordering. State-of-the-art electronic-structure calculations confirm the level switching in Sr_2IrO_4 , whereas we find them in Ba_2IrO_4 to be normally ordered. Given the nonpolar character of the metal-oxygen layers, our findings highlight the tetravalent transition-metal 214 oxides as ideal platforms to explore d-orbital reconstruction in the context of oxide electronics.

- *Bogdanov N. et al. // Nature Commun. 2015. V. 6. P. 7306. DOI: 10.1038/8306.*

Inflationary cosmology in a theory where there are two scalar fields which non-minimally couple to the Ricci scalar and an additional R^2 term, which breaks the conformal invariance, was explored. They investigated the slow-roll inflation in the case of one dynamical scalar field and that of two dynamical scalar fields. It was explicitly demonstrated that the spectral index of scalar mode of the density perturbations and the tensor-to-scalar ratio can be consistent with the observations acquired by the recent Planck satellite. A generalization of the model with three scalar fields was proposed.

- *Bamba K., Odintsov S.D., Tretyakov P.V.* // Eur. Phys. J. C. 2015. V.75. P.344.

The energy, released in electron capture by a nucleus, can influence the effective temperature up to 10%; it can retard cooling of the strongly magnetized iron white dwarfs at sufficiently low luminosity and cannot influence the luminosity of these compact objects considered as the sources of the soft γ -ray and X-ray radiation. It is shown that at the present level of measurement accuracy of the luminosity and energy of the cosmic gamma-rays one cannot provide conclusive information on the Majorana nature of the neutrino, if its effective mass is smaller than 0.8 eV.

- *Belyaev V.B. et al.* // Nucl. Phys. A. 2015. V.937. P.17–43.

EXPERIMENTAL PHYSICS

Particle Physics

The JINR group has performed the analysis of data on the decay $\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-$ ($1.69 \cdot 10^7$ events caused by kaons with $p = 60$ GeV/c decay) obtained in NA48/2 experiment at CERN. The analysis was aimed at the search for the decay chain $\pi^0 \rightarrow \gamma A'$, $A' \rightarrow e^+ e^-$, where A' is the so-called “dark photon”. As a result, the strongest restriction on the value of the “dark photon” mixing parameter ε^2 in the mass region $9 < m_{A'} < 70$ MeV/c² has been obtained. This restriction excludes the possibility to explain the muon anomalous magnetic momentum by the effects related to the “dark photon”.

- *Batley J.R. et al. (NA48/2 Collab.)*. Search for the Dark Photon in π^0 Decays // Phys. Lett. B. 2015. V.746. P.178.

The COMPASS collaboration (CERN) published the results of measuring the pion polarizability obtained by defining the contribution of the JINR group. In the experiment, the beam π^- with a momentum of 190 GeV/c scattered on the thin nickel target.

The value of the electric polarizability of the pion amounted to $(2.0 \pm 0.6_{\text{stat}} \pm 0.7_{\text{syst}}) \cdot 10^{-4} \text{ fm}^3$, which agrees with the prediction of the effective chiral theory. Measurement accuracy is about twice the previously published results. This result is fundamentally important for checking/testing the correctness of the effective chiral theory.

- *Adolph C. et al. (COMPASS Collab.). Measurement of the Charged-Pion Polarizability // Phys. Rev. Lett. 2015. V. 114. P. 062002.*

A group of scientists from DLNP developed their own software and analysis methods for the Daya Bay experiment data. New precision results on the measurement of the neutrino oscillation parameters θ_{13} (mixing angle) and Δm_{ee}^2 (mass splitting) were obtained: $\sin^2 2\theta_{13} = 0.084 \pm 0.005$, $\Delta m_{ee}^2 = (2.44 \pm 0.11) \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ [1]. Reactor antineutrino rate and spectrum shape were measured based on near detectors data. As well as other reactor experiments, Daya Bay observes overall $\sim 5.4\%$ antineutrino flux deficit [2]. The deficit and excess are observed in comparison with Huber–Mueller antineutrino flux mode.

1. *An F.P. et al. (Daya Bay Collab.). New Measurement of Antineutrino Oscillation with the Full Detector Configuration at Daya Bay // Phys. Rev. Lett. 2015. V. 115, No. 11. P. 111802; arXiv:1505.03456 [hep-ex].*
2. *An F.P. et al. (Daya Bay Collab.). Measurement of the Reactor Antineutrino Flux and Spectrum at Daya Bay // Phys. Rev. Lett. (in press); arXiv:1508.04233 [hep-ex].*

In 2015, new BOREXINO results on the Earth antineutrino flux measurement were published. Improved geoneutrino measurement is done with 2056 days of data taking. The obtained signal value is in agreement with the majority of predictions from geophysical models. The null observation of geoneutrinos with BOREXINO alone has a probability of $3.6 \cdot 10^{-9}$ (5.9σ). A geoneutrino signal extracted for the mantle only is obtained at 98% C.L.

- *Agostini M. et al. (BOREXINO Collab.). Spectroscopy of Geoneutrinos from 2056 Days of BOREXINO Data // Phys. Rev. D. 2015. V. 92. P. 031101.*

In 2015, after the year of operation the first results on measurement of oscillation parameters were announced by the long baseline experiment NOvA. The following parameters were measured: $\sin^2 \theta_{23} = 0.51 \pm 0.10$, $\Delta m_{32}^2 = 2.37_{-0.15}^{+0.16} \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$ (NH), $\Delta m_{32}^2 = -2.40_{-0.17}^{+0.14} \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$ (IH). In 2015, special test

bench was constructed at JINR to measure NOvA electronics parameters. The Remote Operation Center (ROC-Dubna) was put in operation allowing to monitor and control the NOvA experiment from Dubna. The analysis of NOvA systematic uncertainties related to the poor knowledge of neutrino-nucleon cross sections, density of the Earth, and the use of different approximations in the oscillation analysis was performed. Also, the software for the supernova signal analysis was developed.

- *Sanchez M.* Results and Prospects from the NOvA Experiment. NuFACT Workshop in Rio de Janeiro. August 2015.

In 2015, the OPERA experiment data analysis directed to the tau neutrino search in the appearance mode approached its completion. The search for the tau neutrino interactions in the detector with a sample of two most probable target bricks per event yielded 5 events with 0.25 expected from all possible background sources. This means a discovery of the tau neutrino appearance in the CNGS beam at a confidence level of 5.1 standard deviations. Thus, the main goal of the experiment — to prove that this type of oscillations is the reason of the deficit of the atmospheric muon neutrino through direct observation of ν_τ appearance in the ν_μ beam — is successfully fulfilled.

- *Agafonova N. et al.* Discovery of τ Neutrino Appearance in the CNGS Neutrino Beam with the OPERA Experiment // Phys. Rev. Lett. 2015. V. 115, No. 12. P. 121802.

For the first time at the LHC, the $\Lambda_b^0 \rightarrow \psi(2S)\Lambda^0$ decay has been observed and the branching ratio of the $\Lambda_b^0 \rightarrow \psi(2S)\Lambda^0$ to $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi\Lambda^0$ has been measured. The $J/\psi X$ and $\psi(2S)X$ mesons are reconstructed in their decays to a muon pair, while the $\Lambda^0 \rightarrow p\pi^-$ decay is exploited for the Λ^0 baryon reconstruction. Branching ratio has been measured to be $\Gamma(\Lambda_b^0 \rightarrow \psi(2S)\Lambda^0)/\Gamma(\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi\Lambda^0) = 0.501 \pm 0.033(\text{stat.}) \pm \pm 0.016(\text{syst.}) \pm 0.011(B)$. The ratio falls into the range 0.5–0.8, as found for the branching ratios of analogous B meson decays. The only available theoretical expectation for the branching ratio (0.8 ± 0.1) exceeds the measured value.

- *Gladilin L., Lyubushkin V. (ATLAS Collab.).* Measurement of the Branching Ratio $\Gamma(\Lambda^0 \rightarrow \psi(2S)\Lambda^0)/\Gamma(\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi\Lambda^0)$ with the ATLAS Detector // Phys. Lett. B. 2015. V. 751. P. 63–80.

A conceptually new laser detector of ground angular motion with a resolution of $5 \cdot 10^{-9}$ rad is developed. This achievement

is of fundamental importance as it ushers in a new generation of instrumentation for the high-precision surface oscillation studies. The detector can provide fundamentally new approaches to solving numerous scientific and civil engineering problems. The key idea of this detector design is to use the gravity vector as a highly stable reference guaranteeing the horizontality of the laser-ray-reflecting liquid surface taken as a stable reference level.

- *Budagov Yu., Lyablin M.* RF Patent No. 2510488, “Device to measure inclination angle”.

Relativistic Nuclear Physics

The JINR group presented the results of the two anti-protons correlation function with data taken by the STAR experiment at RHIC. The results provide information about nuclear force between two anti-protons and present the measurement of the two key parameters that characterize the corresponding strong interaction, namely, the scattering length (f_0) and effective range (d_0). This result provides a fundamental ingredient for understanding the structure of more sophisticated anti-nuclei and their properties.

- *STAR Collab.* Observation of Interaction between Anti-Nucleons // Nature (submitted).

The JINR group involved in the ALICE experiment (LHC, CERN) focuses on the study of Bose–Einstein correlations. During the analysis, the femtoscopic correlations of kaon pairs, produced in Pb–Pb collisions at 2.76 TeV (per a pair of nucleons) were compared with the results for charged pions and the prediction of the Hydro-Kinetic Model (HKM). Dependences on the transverse mass (m_T) of the three components (R_{out} , R_{side} , R_{long}) with a radius of the emission source of kaons and pions for central events were obtained. The HKM model with rescattering of particles describes the kaon and most of the pion data. The deviation from the ideal m_T -scaling (radii for kaons are systematically higher than the pion ones) is due to a substantial transverse flow and rescattering phase. The results were presented at the “Quark Matter-2015” conference (Kobe, Japan).

Heavy Ion Physics

An experiment of major importance aimed at producing new isotopes of element 118, the heaviest known element of Mendeleev’s Periodic Table, was prepared and launched at the Flerov Laboratory

of Nuclear Reactions in collaboration with scientists from the USA. The ^{48}Ca beam and a unique target that consists of a mix of isotopes of californium, including ^{251}Cf , are used in the experiment. The target was for the first time produced at Oak Ridge (USA) and delivered to Dubna. The experiment is carried out in collaboration with the laboratories at Oak Ridge (ORNL), Knoxville (UT), Livermore (LLNL), and Nashville (VU) using the JINR FLNR gas-filled recoil separator. Irradiating the target with a ^{48}Ca ion beam dose of $1.4 \cdot 10^{19}$, to date we have detected one decay chain of the $^{294}118$ nucleus presumably produced in the $3n$ evaporation channel of the $^{249}\text{Cf} + ^{48}\text{Ca}$ fusion reaction. This is the fifth decay chain of the only so far known isotope of element 118. Four other decay chains of this isotope were observed at FLNR in experiments carried out in 2005 and 2012. The data on the decay properties of all the nuclei of the chain — $^{294}118$, ^{290}Lv , and ^{286}Fl — are in good agreement with the results obtained earlier both in the reaction with ^{249}Cf and in the $^{245}\text{Cm}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{290}\text{Lv}$ and $^{242}\text{Pu}(^{48}\text{Ca}, 4n)^{286}\text{Fl}$ cross reactions. The cross section for the $^{249}\text{Cf}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{294}118$ reaction also corresponds to the value measured in 2005 (about 0.5 pb).

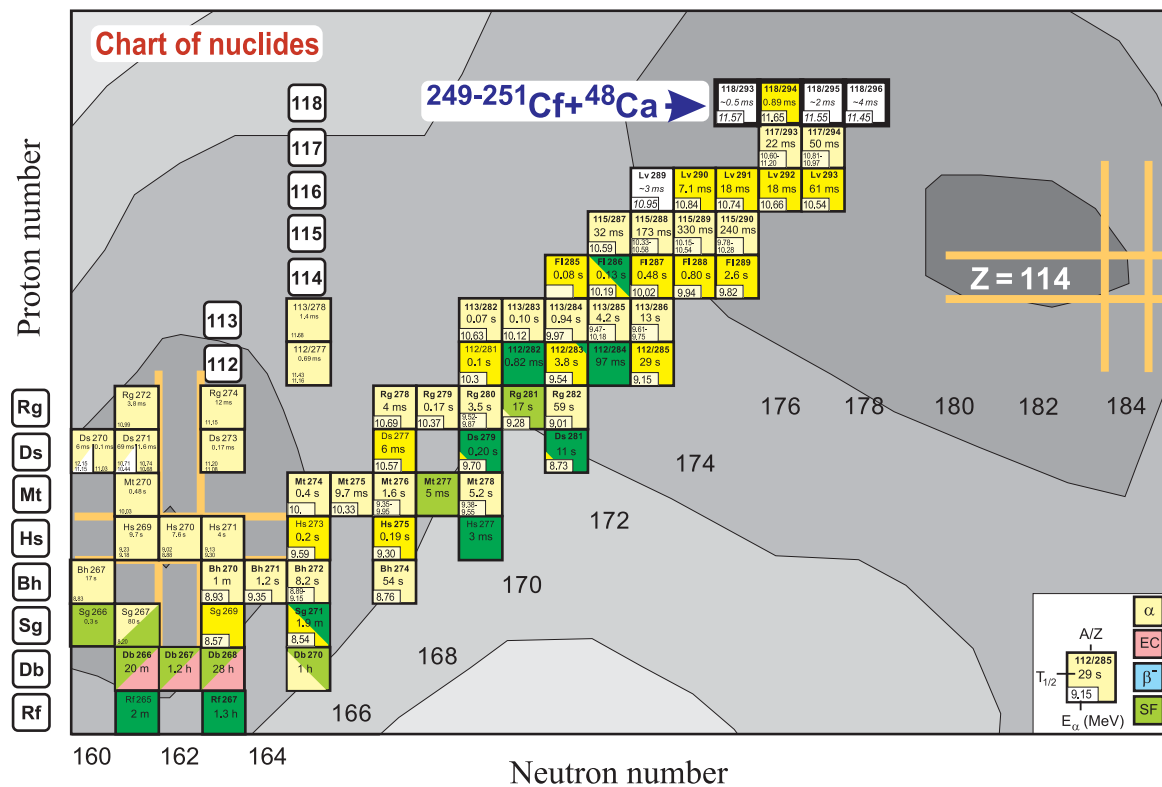


Fig. 1. The upper part of the chart of nuclei. New superheavy nuclei that can be produced in the experiment are shown as white squares

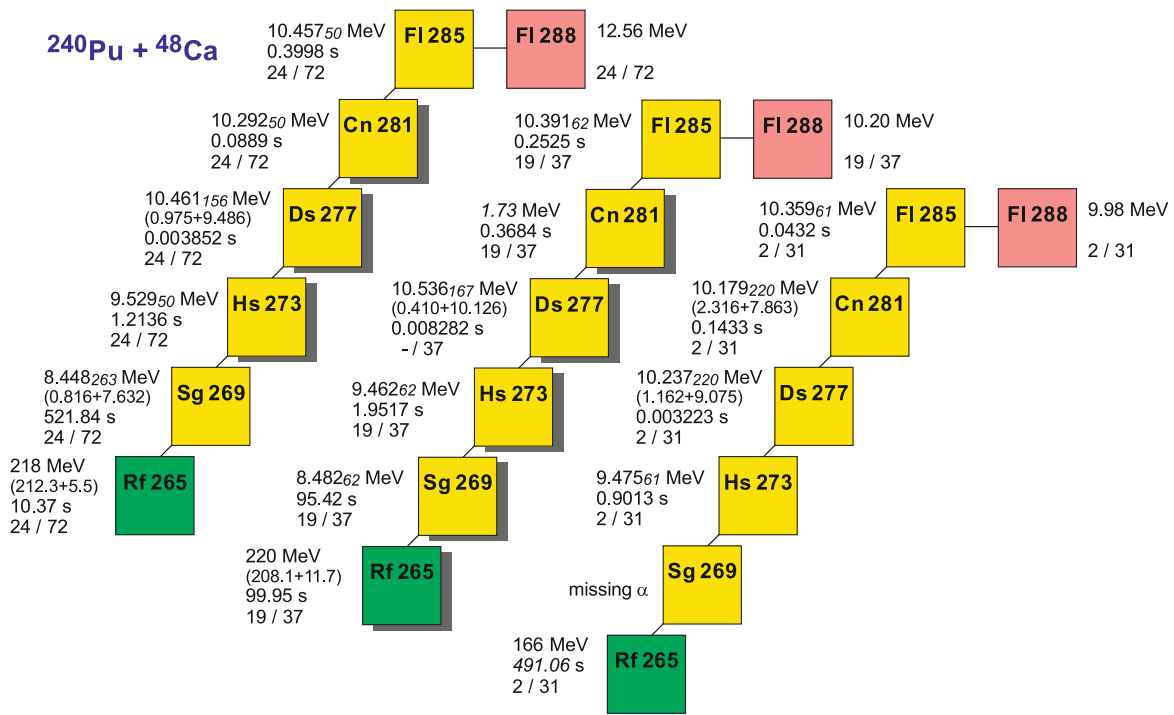


Fig. 2. New decay chains of the ^{285}Fl nucleus

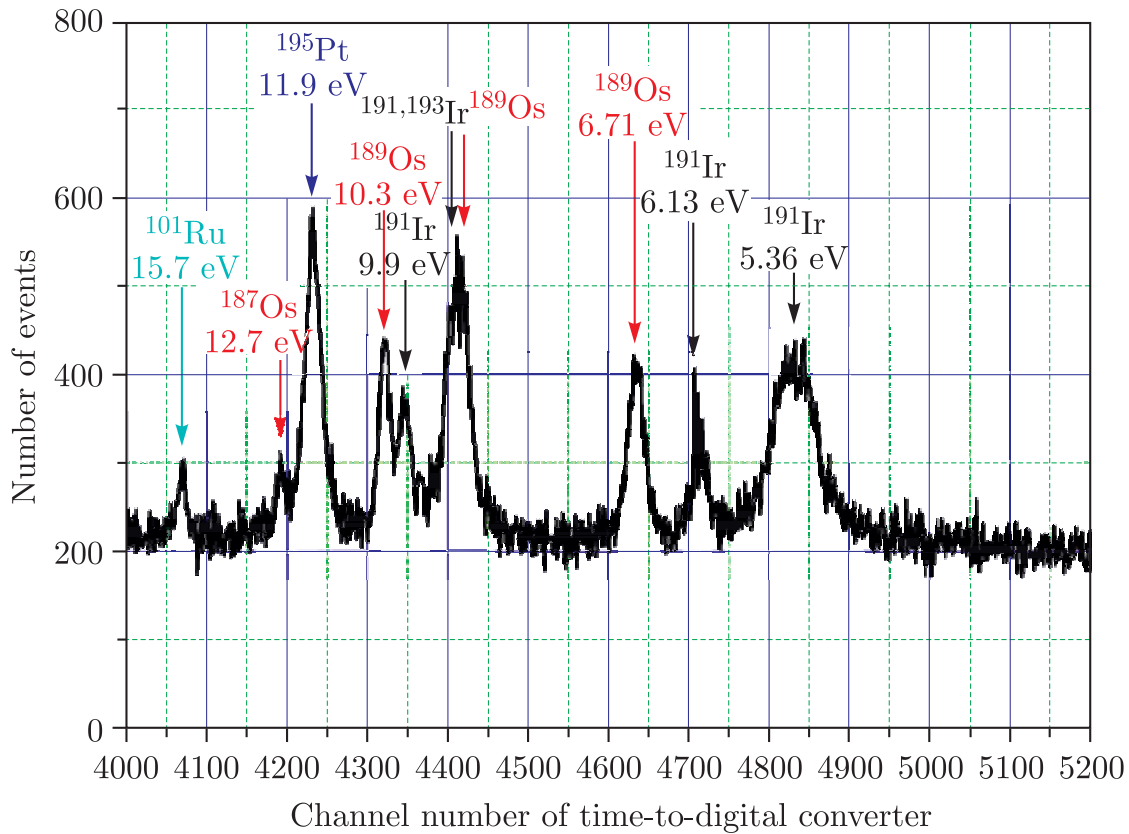
The experiments are in progress. The awaited result is the synthesis of an isotope of element 118 with mass number 296 (Fig. 1), i.e., the heaviest so far known nucleus. This is of utmost importance for defining the limits of nuclear stability.

In 2015, experiments on the synthesis of new neutron-deficient isotopes of superheavy elements in the $^{48}\text{Ca} + ^{239}\text{Pu}$ and $^{48}\text{Ca} + ^{240}\text{Pu}$ fusion reactions were completed. A new ^{284}Fl isotope, undergoing spontaneous fission, was produced in both reactions. Three new decay chains of the known ^{285}Fl isotope were also detected (Fig. 2). Further experimental studies on the region of unknown superheavy nuclei are planned. These superheavy nuclei are located between the isotopes of superheavy elements synthesized by “hot” fusion at JINR (Dubna) and by “cold” fusion at GSI (Germany) and RIKEN (Japan). The work is fundamental for understanding the properties of nuclei located near the borders of the island of stability of superheavy elements.

- *Utyonkov V. K. et al. // Phys. Rev. C. 2015. V. 92. P. 034609.*

Neutron Nuclear Physics

At the IREN pulsed resonance neutron source of the Frank Laboratory of Neutron Physics the time-of-flight technique, which is a traditional method of resonance neutron spectrometry, is applied for analysis of element and isotope composition of samples.

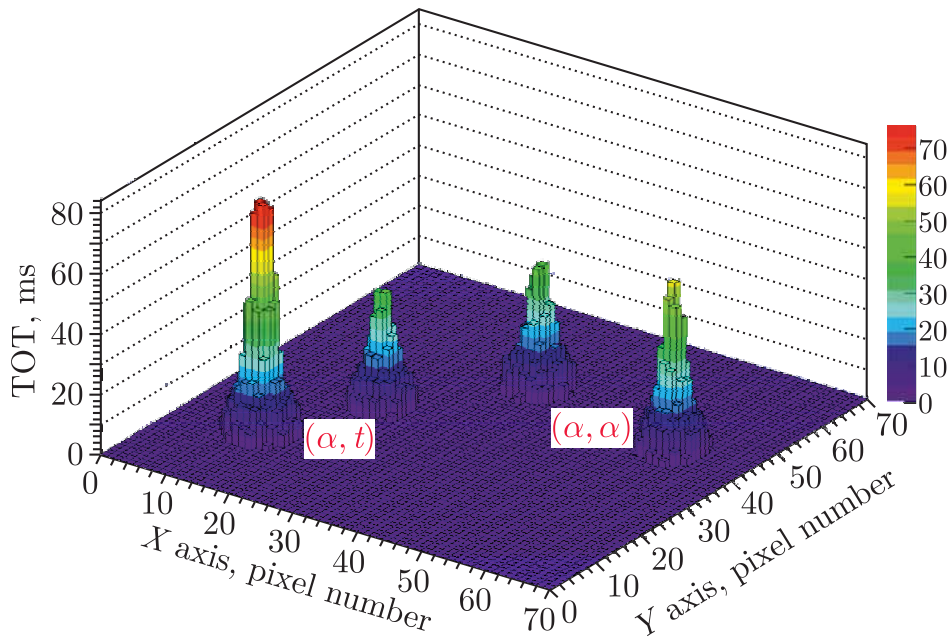


Part of the time-of-flight spectrum obtained in the measurements with a geological sample

Elements and isotopes can be identified by the energies of neutron resonances in the radiative capture reaction, and their amount is determined by the gamma-ray yield in the observed resonances. Since the start of the trial operation of the first stage of the IREN facility (with one accelerating section), the analysis of ore samples from the Central Geological Laboratory of Mongolia and composite samples from Belarusian State University was regularly carried out. In cooperation with the Sternberg Astronomical Institute of Moscow State University, studies of element and isotope composition of objects presumably of extraterrestrial origin were conducted.

- *Bazhazhina N. V. et al. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2015. V. 12, No. 4. P. 578–583.*

A Timepix silicon pixel detector consisting of a matrix of 256×256 square pixels with a pitch of $55 \mu\text{m}$ was used in combination with the ΔE detector (thickness $11 \mu\text{m}$) to detect light charged particles emitted in the spontaneous fission of ^{252}Cf . A high spatial resolution of the detector system made it possible for the first time to observe a simultaneous emission of two charged particles with a small relative emission angle (α - α and α - t pairs were observed),



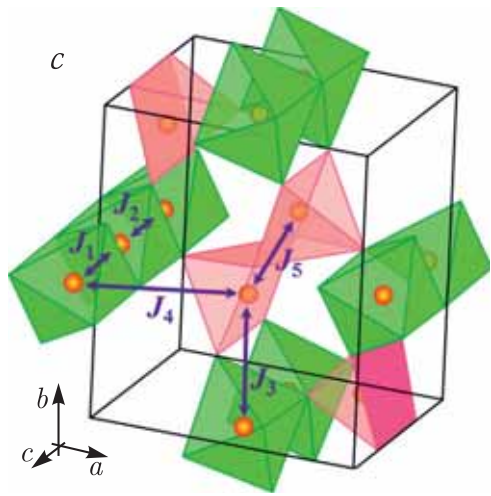
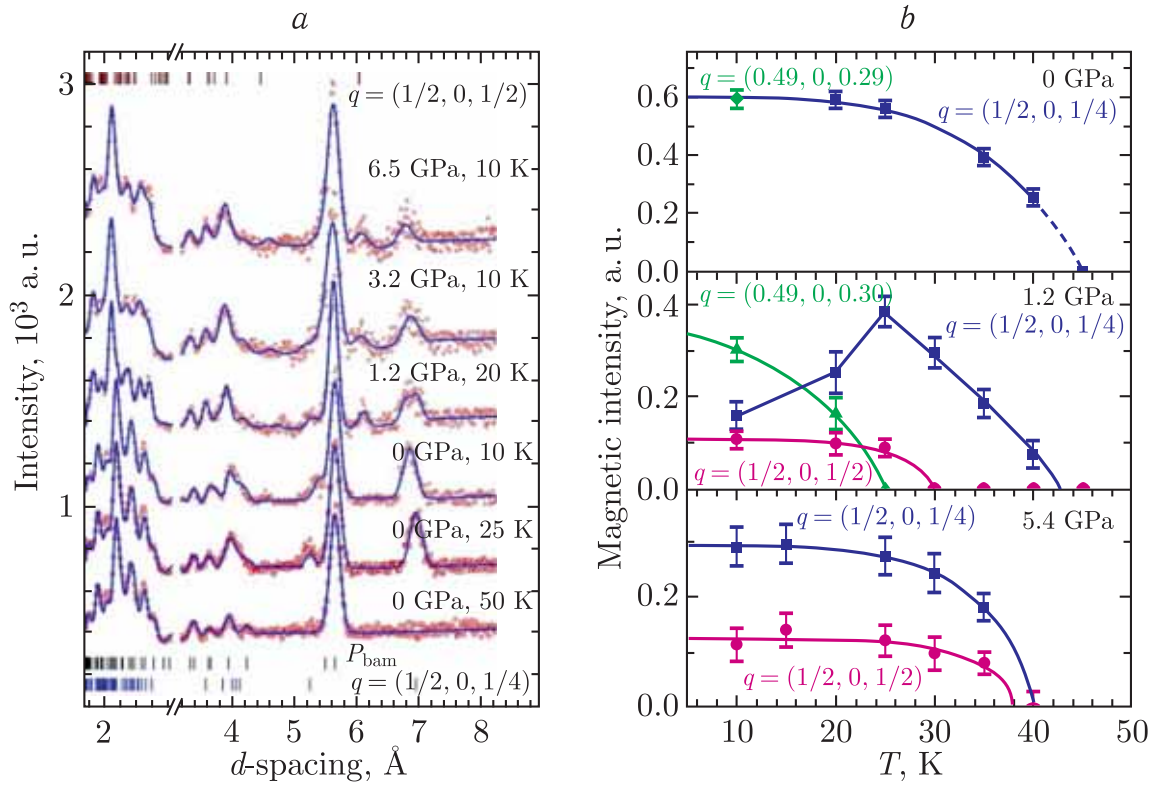
Three-dimensional spectra of signals from the Timepix detector corresponding to pairs of α - t (on the left, energies of the particles are different) and α - α (on the right, energies of the particles are close to each other)

which are attributed to the decay of unstable particles of ${}^8\text{Be}$ and ${}^7\text{Li}^*$. The yields of these particles, as well as angular and energy distributions of α particles produced in the quaternary fission, were determined.

- *Ahmadov G.S. et al.* Detection of Ternary and Quaternary Fission Fragments from ${}^{252}\text{Cf}$ with a Position-Sensitive ΔE - E Telescope Based on Silicon Detectors // Part. Nucl., Lett. 2015. V. 12, No. 4(195). P. 846–854.

Condensed Matter Physics

The magnetic, structural, and vibrational properties of YMn_2O_5 multiferroic with a strong magnetoelectric coupling have been studied by means of neutron, X-ray diffraction, and Raman spectroscopy at pressures up to 30 GPa in a temperature range from 10 to 300 K. The application of high pressure ($P > 1$ GPa) resulted in a suppression of commensurate and incommensurate antiferromagnetic (AFM) phases with a propagation vector $q = (\sim 1/2, 0, \sim 1/4)$ and appearance of a new commensurate AFM phase with $q_p = (1/2, 0, 1/2)$. This observation is in sharp contrast to a general trend towards the stabilization of the commensurate AFM phase with the propagation vector $q = (1/2, 0, 1/4)$ found in other RMn_2O_5 compounds under pressure. At higher pressures

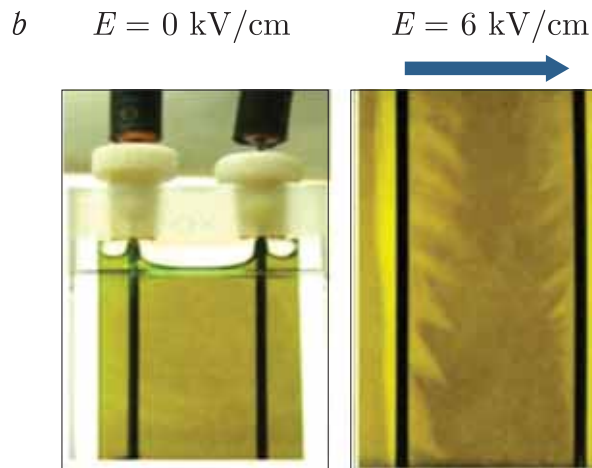
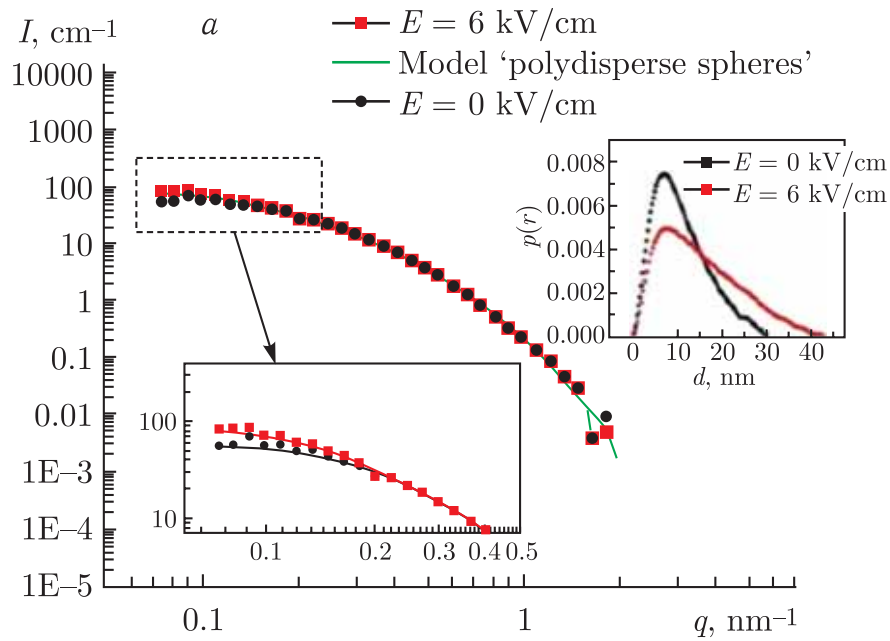


Neutron diffraction spectra of YMn_2O_5 obtained at different pressures and temperatures with the DN-12 diffractometer and treated with the Rietveld method (a). Temperature dependences of integrated intensity of magnetic characteristic peaks of commensurate and incommensurate AFM phases with a propagation vector $q = (\sim 1/2, 0, \sim 1/4)$ and of pressure-induced commensurate AFM phase with a propagation vector $q_p = (1/2, 0, 1/2)$ under various pressures (b). Structural configuration of YMn_2O_5 and key magnetic interactions (c)

$P > 16$ GPa, a structural phase transition accompanied by anomalies in the pressure behavior of some unit cell parameters and vibrational modes was observed. The obtained data allowed us to analyze the role of competing magnetic interactions in the formation of the magnetic ground state of RMn_2O_5 multiferroics.

- Kozlenko D.P. et al. // Phys. Rev. B. 2015. V.92. P. 134409.

Using small-angle neutron scattering, changes in the structural organization of transformer-oil-based magnetic fluids have been

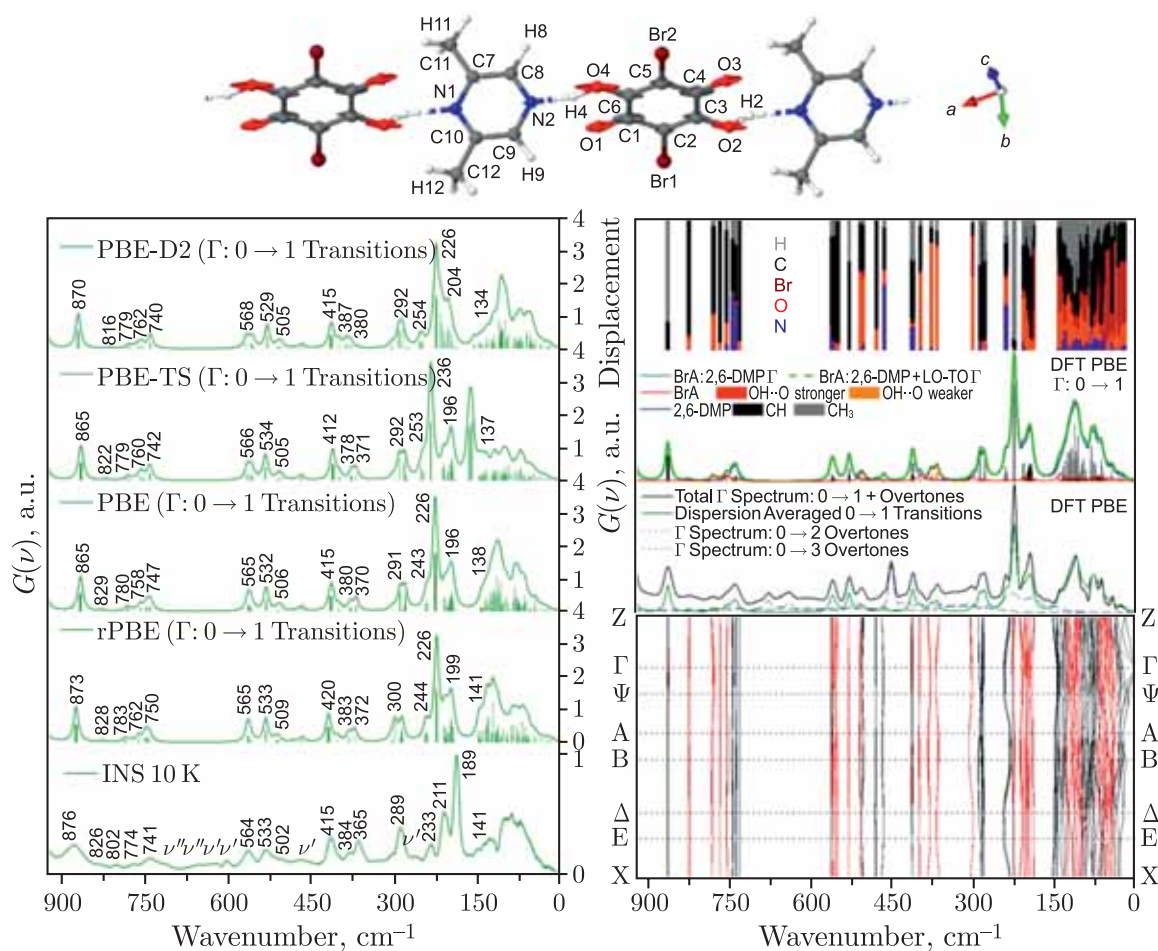


The effect of an external electric field on the structure of the magnetic fluid magnetite/oleic acid/transformer oil for (a) nanoscale: small-angle neutron scattering, magnetite concentration of 1%, and (b) macrolevel: visual observation of phase separation in a quartz cell (1 mm thick), magnetite concentration of 0.05%. The inset in (a) shows the correlation functions reconstructed from the scattering curves (in the form of pair distance distribution functions) for a fluid in two states: “without a field” and “in a field”, which point to an increase in the characteristic size as a result of aggregate formation under the applied field, as well as the presence of anisotropy in the aggregate shape

observed under the action of an external DC and AC electric field. The investigations have been carried out to clarify the effect of the voltage breakdown enhancement in liquid transformers when adding nanoparticles, specifically magnetite nanoparticles stabilized by oleic acid, to a liquid carrier. It has been shown that after the application of a DC electric field along with a macroscopic phase

separation the aggregation at the size level of 100 nm takes place strongly depending on the field strength. After the electric field is switched off, after a time (of the order of a few hours) the system returns to its original structural state. In the case of an AC electric field, the aggregates also appear at sufficiently low frequencies, and the process terminates when the frequency exceeds a certain critical value. Thus, in addition to the effects of aggregation in an external magnetic field, which is typical for magnetic fluids, a similar sensitivity to the electric field for magnetic fluids based on dielectric carriers has been detected, which opens up new potential possibilities for regulating the properties of these complex systems using external control parameters.

- *Rajnak M. et al. // Appl. Phys. Lett. 2015. V. 107. P. 073108.*



Molecular structure, inelastic neutron scattering spectra (NERA 10 K), and theoretical calculated vibrational spectra (for $0 \rightarrow 1$ transitions) of BrA:2,6-DMP (1:1) in the frequency range below 925 cm^{-1} . Also, calculated phonon dispersion curves along with the vibrational density of states decomposed into partial density contributions of each molecular fragment are selectively presented

In recent years, much interest has been shown in the study of hydrogen-bonded, donor–acceptor type supramolecular co-crystals for their potential use as functional materials with semiconducting and/or ferroelectric properties arising due to the electron- and proton-transfer phenomena. A comprehensive study of the crystal structure and molecular dynamics of co-crystals of bromanilic acid with 2,6-dimethylpyrazine (BrA:2,6-DMP) 1:1 has been carried out using the methods of single-crystal X-ray diffraction, neutron spectroscopy (NERA spectrometer), and complementary spectroscopic methods. To interpret the experimental results, theoretical calculations have been performed as well. The structural analysis has revealed that the system under study crystallizes in the monoclinic $P2_1/c$ space group, with four molecular units per unit cell. The crystal structure can be described as an infinite net of antiparallely oriented hydrogen-bonded molecular chains. The intermolecular analysis has revealed the nonequivalency of the moderate-strength hydrogen-bonding interactions and the presence of multiple specific intermolecular forces.

- *Łuczyńska K. et al. // J. Phys. Chem. B. 2015. V.119. P. 6852–6872.*

RADIATION AND RADIOBIOLOGICAL RESEARCH

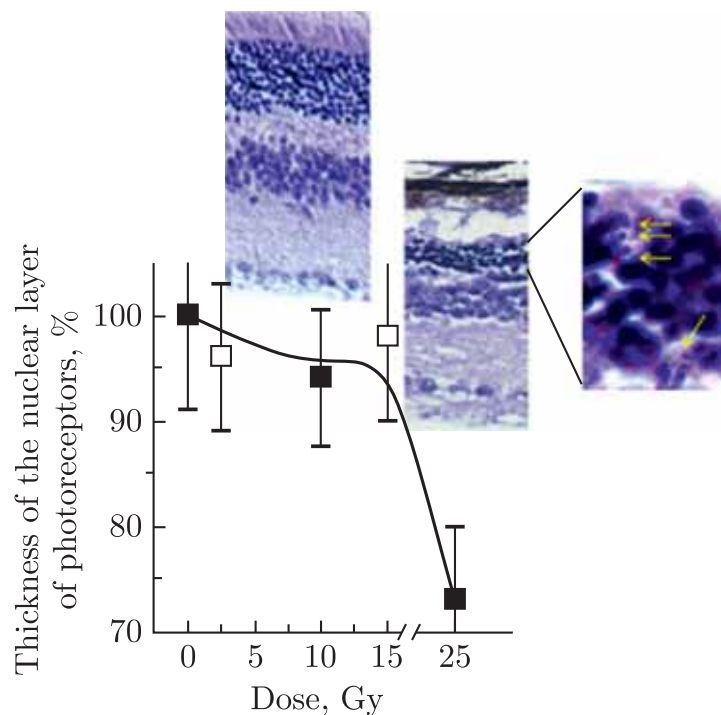
An experimental stand was constructed to test nuclear planetary science instruments on planetary soil models. The building hosting the stand provides a low background of scattered neutrons and allows testing instruments with different planetary soil models. Planetary regoliths are simulated by a silicate glass pack with a total weight of up to 35 tons, which is a model of an absolutely dry soil (see the Figure). Water presence in soil is modeled by polyethylene layers at different depths. For the best possible approximation of the chemical composition of Martian regolith for Fe, Al, and Cl, thin layers of steel, aluminum, and polyvinyl chloride were included in the glass pack. Overall, the chemical composition of the models agrees well with the average chemical composition of Martian and Lunar regolith.

The research performed at this stand continues LRB's many-year cooperation with the Laboratory of Neutron Physics of the Joint Institute for Nuclear Research and the RAS Institute of Space Research on the design, fabrication, and calibration of nuclear planetary science instruments for the analysis of the elemental composition of celestial body soil. In these studies, of special importance is the search for free or bound water in near-surface

layers of Martian and Lunar regolith. LRB staff participated in the creation of a number of instruments with which the presence of water ice on the Mars and the Moon was confirmed, the DAN (Dynamic Albedo of Neutrons) instrument installed aboard NASA's Curiosity Mars rover and other instruments to be used in future missions of Roscosmos, NASA, and ESA.

- *Litvak M.L. et al.* Ground Tests with Active Neutron Instrumentation for the Planetary Science Missions // Nucl. Instr. Meth. A. 2015. V. 788. P. 194–202.

A series of studies were performed on the action of accelerated protons and the chemical agent methylnitrosourea (MNU) on the mouse retina. A technique visualizing Müller glial cells (MGC) in mouse retina sections was developed (see the Figure), which makes it possible to study the response of these cells to a genotoxic exposure. MGC play the key role in retinal regeneration and are the only type of cells that retain the ability to divide. It was found that the mouse retina has a genotoxic threshold (a stability plateau on the dose–effect curve) after exposure to accelerated protons and MNU injection. The retina was shown to have a capacity for morphological and functional repair after exposure to the genotoxic agents used in this study.

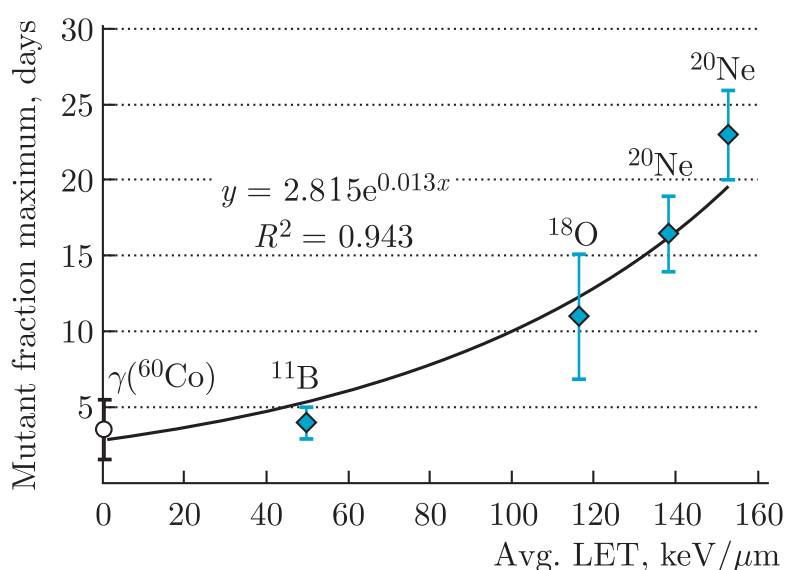


Changes in the thickness of the nuclear layer of mouse photoreceptors (expressed as percent of control) in response to a local proton irradiation of a mouse head 3 days (■) and 30 days (□) after irradiation

The results of this research are theoretically and practically important for solving the problem of the damage and repair of terminally differentiated cells and tissues made up of them. They can be used to forecast the danger of the retinotoxic exposure and evaluate its consequences; to optimize the radiation and chemical therapy of head, brain, neck, and eye tumors; and to perform a primary evaluation of the efficiency of pharmaceuticals interfering with retinal degradation. These data can also be a prognostic indicator of the effect of the space conditions on the human organism during long-term manned space flights.

- *Tronov V.A. et al.* A Study of the Mouse Retinal Adaptive Response to Proton Irradiation: Connection with DNA Repair and Photoreceptor Cell Death // Part. Nucl, Lett. 2015. V. 12, No. 1(192). P. 241–255 (in Russian).
- *Tronov V.A. et al.* *In Vivo* Radiation Preconditioning of the Mouse Retina Increases Its Resistance to a Subsequent Genotoxic Exposure and Stimulates Its Recovery // Cytology. 2015. V. 56, No. 2. P. 119–128 (in Russian).
- *Vinogradova Yu. V.* A Study of Mouse Retina Damage and Repair after Exposure to Accelerated Protons and Methyl-nitrosourea. Author's diss. abstr. M., 2015. 24 p. (in Russian).

A series of experiments were conducted to study HPRT-mutagenesis induced by accelerated ions of different linear energy transfer (LET) (50, 116, 138, and 153 keV/μm) and γ rays in V79 Chinese hamster cells. It was found that its manifestation depends on the duration of irradiated cell seeding (mutation expression time)



The maximal level of radiation-induced mutagenesis in Chinese hamster cells depending on expression time and accelerated ion LET

in a selective nutrient medium with 6-thioguanine and on radiation LET. With increasing expression time, the mutagenesis level rose up to a maximum and then decreased to the spontaneous level. The location of this maximum depended on accelerated ion LET (see the Figure). With increasing LET, the maximum shifted to longer expression times. For γ rays, the highest mutagenesis level was observed on the 3rd–4th day after irradiation, while for accelerated ^{18}O ions (LET $\sim 116 \text{ keV}/\mu\text{m}$), 11 days after exposure, and 23 days after exposure to accelerated ^{20}Ne ions (LET $\sim 153 \text{ keV}/\mu\text{m}$). Based on this research, it is possible to assume that an increased level of radiation-induced mutagenesis is determined by higher chromosome instability of the irradiated cell population, and its manifestation at different expression times depends on initial damage severity.

- *Blaha P. et al.* Induction of HPRT Mutants in V79 Cells after Gamma and HZE Ions Irradiation at Various Expression Times // Book of Abstracts of the 15th International Congress of Radiation Research. Kyoto, Japan, 25–29 May 2015.

ACCELERATOR TOPICS

At JINR the production, assembly, and testing line of superconducting magnets was established/provided. This line includes a section for producing a superconducting cable, a workshop for the windings manufacture, the magnets assembly area, measurements of the field quality, vacuum and cryogenic tests. The design of magnets was developed at JINR, and it was awarded by the Russian Federation government in 2011. Within the next few years it is planned to produce and test about 400 magnets for new accelerator facilities of the international projects NICA (JINR) and FAIR (Germany).

In the framework of the NICA project, a new forinjection for the existing linear accelerator LU-20 was built. This forinjection was manufactured on the basis of the accelerator section with spatially uniform quadrupole focusing (RFQ). In 2015, it was launched with beams of deuterium and carbon from the laser source. The accelerator, designed jointly by ITEP and MEPhI, was made at VNIITF. A high-frequency amplifier was made at ITEP. The power system of the ion source and the channel of the low-energy beam transport were designed and manufactured at JINR. The INR RAS specialists participated in manufacturing the diagnostics and management/control systems. A successful fabrication/production and test of the RFQ section designed for acceleration of light ions

is a notable achievement both for JINR and Russian accelerator science in general.

In the framework of the NICA project, a linear accelerator of heavy ions (up to gold) with energy of 3.2 MeV/n and current up to 10 mA was designed and built up. The accelerator made in Germany was delivered to JINR in 2015. For its placement in JINR the necessary infrastructure was prepared. The ion source and the channel of the low-energy beam transport were designed and manufactured. The system of high-frequency power was assembled and tested. In December 2015, beams of the accelerated ions of deuterium and helium were obtained at the output of the first of the three accelerating sections. A full-scale commissioning of the accelerator is to be implemented in 2016, and it is planned to be used as an ion injector into the Booster of the NICA facility in 2017. In Russia it is the first high-current heavy-ion accelerator.

In 2015, assembling of a new ACCULINNA-2 fragment separator was completed at FLNR JINR. The separator was designed to produce secondary radioactive beams of light exotic nuclei. The required vacuum and magnetic measurement tests were carried out. Beam delivery was performed. First experiments with radioactive beams produced at the ACCULINNA-2 fragment separator are planned for 2016. Several institutes of Poland and the Czech Republic are involved in the development of a zero-angle spectrometer as well as vacuum and beam monitoring systems.

INFORMATION TECHNOLOGY AND COMPUTER PHYSICS

The Tier-1 level center for the CMS experiment on the Large Hadron Collider (LHC) was put into operation at LIT in 2015. This center is a basic JINR facility; it provides a way for the physicists of the Institute, JINR-participating countries, and RDMS-CMS collaboration of a full-scale participation in processing and analysis of data coming from the CMS experiment. When creating the center, the engineering infrastructure (uninterrupted power supply, climate-control, etc.), a high-speed reliable network infrastructure with a dedicated reserved channel to CERN (LHCOPN), a computing system (2400 computing nodes), as well as a storage on the basis of disk arrays (2.4 PB) and tape libraries of big capacity (5 PB), have been developed. These systems provide a 100% reliability and availability of the center. The invaluable experience gained at LIT at the creation of the Tier-1 center will be used for the development and introduction of the information and computing environment of data storing and data processing

of the NICA megaproject and other scale projects of the JINR Member States. Taking into account the fact that the research on the LHC is the era of Big Data and one of the examples (alongside with creation at CERN of the WWW — the world wide web) when the developments in the field of particle physics start influencing the studies in other scientific areas, the launching of the center of Tier-1 level at JINR opens a new prospect of research in the field of the Big Data analytics. The latter is a key factor of success for the development of the promising directions of science and industry such as bioinformatics, energy of new generation, economic simulations, sociology, etc.

A program code widely applied at the RHIC and LHC for calculations of geometrical properties of nucleus–nucleus interactions has been adapted for experiments NICA/MPD and CBM. A parameterization of pp elastic scattering amplitude earlier proposed by the authors and valid at $E_{\text{cms}} \geq 3$ GeV is used for setting the nucleon–nucleon collision profile. An approach well known in physics of low and intermediate energies is used for determination of nuclear parameters. The code is enlarged by a possibility to account Gribov inelastic screening.

- *Galoyan A.S., Uzhinsky V.V. // Part Nucl., Lett. 2015. V. 12, No. 1. P. 231–236.*

A model of microscopic optical potential (OP) has been applied to construct the pion-nucleus differential cross sections of elastic and inelastic scattering on the nuclei ^{28}Si , ^{58}Ni , ^{208}Pb at $T_{\text{lab}} = 291$ MeV. The density distributions of ^{10}Be and ^{11}Be nuclei obtained within the quantum Monte Carlo model and the generator coordinate method are used to calculate the microscopic optical potentials (OPs) and cross sections of elastic scattering of these nuclei on protons and ^{12}C at energies $E < 100$ MeV/nucleon. The real part of the OP is calculated using the folding model with the exchange terms included, while the imaginary part of the OP that reproduces the phase of scattering is obtained in the high-energy approximation. In this hybrid model of OP the free parameters are the depths of the real and imaginary parts obtained by fitting the experimental data. The well-known energy dependence of the volume integrals is used as a physical constraint to resolve the ambiguities of the parameter values. The potentials can be used in further calculations of cross section of the reactions with these nuclei.

- *Zemlyanaya E.V. et al. // Phys. Rev. C. 2015. V. 91. P. 034606.*

- *Lukyanov V.K. et al. // Intern. J. M. Phys. E. 2015. V.24, No. 4. P. 1550035.*
- *Lukyanov V.K., Zemlyanaya E.V., Lukyanov K.V. // Yad. Fiz. 2015. V.78, No. 1. P. 147–155.*

An algorithm of the charged particle track reconstruction based on the Kalman filter has been proposed. This algorithm is used for solving one of the key tasks of the CBM experiment (Condensed Baryon Matter), i.e., recognition of the trajectories of charged particles and their parameters. Since within the CBM experiment a full reconstruction of signal events in a real-time experiment is planned, the developed algorithms should be fast and they have to use maximally the possibilities of present-day multicore processors and GPU-architectures. Computations were performed with a high-performance server with two processors Intel Xeon X5660 and card Nvidia GTX GPU 480.

- *Ablyazimov T.O. et al. // Part. Nucl., Lett. 2015. V.12, No. 3. P. 423–427.*

A new Bayesian analysis was suggested using independent mass and radius constraints for extracting probability measures for realistic models of cold, dense nuclear matter Equations of State. One of the key issues of such an analysis is the question of a deconfinement transition in core of compact stars and whether it proceeds as a crossover or rather as a first order transition. The latter is relevant for the possible existence of a critical endpoint in the QCD phase diagram under scrutiny in present and upcoming heavy-ion collision experiments such as MPD (NICA) and CBM (FAIR). Due to the problem, a question of the existence of mass twins (the third family stars), two stars with the same mass but different structures, is getting interesting.

Using the constructed hybrid EoS based on APR-type hadronic models (with and without baryonic excluded volume effect) and bag-model for the quark phase, a probabilistic estimation has been made on the basis of observational constraints. For the analysis used were the constraints for the mass of configuration taken from observation of one of the massive pulsar PSR J0348+0432 and for radius of PSR J0437-4715. Calculations show that the high mass twin stars configurations have the highest probability measure. In the future we are going to update this analysis with different classes of the realistic model of EoS for both hadronic and quark phases.

- *Ayriyan A. et al. // Part. Nucl. 2015. V.46, No.5. P. 1563–1570.*

JINR UNIVERSITY CENTRE

In 2015, 485 undergraduate and postgraduate students of the JINR-based departments of MSU, MIPT, State University “Dubna”, and the universities of the JINR Member States were trained at JINR UC.

Eighteen students attended the postgraduate programme of JINR, seven of them were trained in “Theoretical Physics”. In February 2015, due to the rearrangement of the JINR postgraduate programme, new rules of attachment of JINR employees with higher professional education to the Institute to prepare their PhD theses without mastering the training programmes of the teaching staff came into force. The attachment has been performed in accordance with the specialties supervised by the JINR Dissertation Councils.

The International Student Practice in JINR Fields of Research 2015, which is traditionally held in three stages, was attended by 134 representatives of Azerbaijan, Belarus, Bulgaria, Egypt, Cuba, Poland, Romania, Serbia, Slovakia, the Czech Republic, and South Africa.

The Summer Student Programme 2015 was attended by 33 undergraduate and postgraduate students from MSU, MIPT, MEPhI, St. Petersburg and Omsk State Universities, universities of Armenia, Belarus, Bulgaria, Georgia, Egypt, Cuba, Poland, Romania, Slovakia, Ukraine, Uzbekistan, and South Africa. The competition rate for the participation in the Programme 2015 came up to 4:1.

The Summer Student Programme allows its participants to do their research projects for 6–8 weeks, in contrast to the 3-week International Student Practice in JINR Fields of Research that is mainly of introductory nature. Participation in the Summer Student Programme provides an opportunity for the students to start their scientific career in one of the laboratories of the Institute.

In June 2015, the annual Scientific School for Teachers of Physics from JINR Member States was held in Dubna in 2 stages: the first — for 25 Physics teachers from Belarus, Bulgaria, Kazakhstan, Russian Federation, Ukraine and for their 11 school-students; the second — for 16 teachers from Moscow. The programme of the event included lectures on the recent research by the leading JINR specialists, excursions to the JINR laboratories and basic facilities, and video conferences with CERN. In March and November 2015, two Scientific Schools at CERN were attended by 65 Physics teachers from the schools of RF, Belarus,

Kazakhstan, Ukraine, and Switzerland. The teachers from Russia represented education institutions of Moscow, Moscow region, St. Petersburg, as well as Voronezh, Irkutsk, Kirov, Novosibirsk, Nizhny Novgorod, Samara, Smolensk, Tomsk, Chelyabinsk region, Bashkortostan, Tatarstan, Chuvashia, Krasnodar and Primorsky Krai.

In summer 2015, Poznan (Poland) hosted the 7th International Student School “Nuclear Physics — Science and Applications” (NUCPHYS-SC&APPL). The School was organized by JINR UC, Department of Physics of A. Mickiewicz University in Poznan, Czech Technical University in Prague, and Comenius University in Bratislava (Slovakia). The School participants were young scientists of JINR, as well as students from the universities of Armenia, Poland, Russia, Romania, Uzbekistan, and the Czech Republic.

In spring 2015, JINR UC and the Faculty of Mathematics of Scientific-and-Research University “Higher School of Economics” ran the International School-Conference “Integrable Structures in Quantum Field Theory”. Eighteen students and young scientists from the Bogolyubov Institute of Theoretical Physics of the Ukrainian AS, Faculty of Mathematics of “Higher School of Economics”, and Moscow Institute of Physics and Technology took part in the event.

At the end of February 2015, JINR together with the Administration of Dubna ran the School for Tour Guides. Twenty-seven participants became familiar with the history of Dubna and JINR, the work of the well-known scientists, JINR fields of research, and visited the basic facilities of the Institute.

JINR UC participated in the organization of “Physics Days” for children and adults, organized video conferences for schools and universities of RF and educational lectures and visits for school and university students of RF and Germany.

PRIZES

By the resolution of the Scientific Council of the Institute for Nuclear Research RAS, the M. A. Markov Prize’2015 is awarded to Viktor Anatolievich Matveev — JINR Director, Full Member of the Russian Academy of Sciences, for his contribution to the development of the strong interaction theory and the hadron quark model.

Daya Bay, KamLAND, Super-Kamiokande, SNO, and T2K/K2K collaborations have won Breakthrough Prize in the field of

fundamental physics for the “fundamental discovery and exploration of neutrino oscillations”. The scientists from JINR are laureates of the prize: M. O. Gonchar, Yu. A. Gornushkin, D. V. Naumov, I. B. Nemchenok, A. G. Olshevskiy, E. A. Yakushev, V. A. Matveev, and B. A. Popov.

GENERAL DATA ON THE NUMBER OF PUBLICATIONS BY JINR STAFF MEMBERS (from 06.12.2014 to 31.12.2015)

- Books — 11:

Blokhintsev D. I. Guidelines of Quantum Mechanics: Manual for Stud. Univ. — Ed. 8. — M.: URSS, 2015. — 672 p.: ill. — (Heritage of Physics and Mathematics: Physics (quantum mechanics)).

Blokhintsev D. I. Quantum Mechanics, Principle Issues. — Ed. 3. — M.: URSS, 2015. — 150 p.: ill. — (Heritage of Physics and Mathematics: Physics (quantum mechanics)). — Bibliogr.: P. 148–150.

Isaev P. S. Ordinary, Strange, Charmed, Beautiful...: The History of Development of Theoretical Ideas in Elementary Particle Physics / Edit. 2, correc. and supplim. — M.: URSS, 2015. — 315 p.: ill. — (Science — to Everybody! Masterpieces of Sci. Fiction. (Physics): Issue 105). — Bibliogr.: P. 314.

Krasnikov N. V., Matveev V. A. Discovery of Higgs Boson and Search for New Physics at the Large Hadron Collider at Energies 7 and 8 TeV. — M.: URSS, 2015. — 274 p.: ill. — Bibliogr.: P. 257–274.

Penev V. N. From Recognition to Creation = Vom Urwissen zum Schopfertum. — Munchen: TUT i TAM, 2015. — 202 p.: ill. — Bibliogr.: P. 181–185.

Perepelkin E. E., Sadovnikov B. I., Inozemtseva N. G. Calculations at Graphics Processors (GPU) in Tasks of Mathematical and Theoretical Physics. — M.: URSS, 2014. — 166 p.: ill. — (MSU classical manual). — Bibliogr.: P. 166.

Syresin E. M. Proton and Ion Therapy. — Dubna: JINR, 2015. — 156 p.: col. ill. — (JINR; 2014-81). — Bibliogr.: P. 153–156.

Timoshenko G. N. Experimental Methods of Nuclear Physics: Manual. — Dubna: State Univ. “Dubna”, 2015. — 170 p. — In Heading: State Univ. “Dubna”, Fac. of Natural and Engineering Sci., Chair of Biophysics.

Passport of the NICA Accelerator Complex: Functional Requirement Specification Project NICA/MPD / I. Meshkov, G. Trubnikov, A. Sidorin, N. N. Agapov, V. S. Aleksandrov, O. I. Brovko, A. V. Butenko, E. D. Donets, E. E. Donets, D. E. Donets, A. V. Eliseev, A. A. Fateev, V. V. Fimushkin, A. R. Galimov, E. V. Gorbachev, A. I. Govorov, E. V. Ivanov, V. N. Kar-

pinsky, V. D. Kekelidze, H. G. Khodzhbagiyan, V. V. Kobets, O. S. Kozlov, S. A. Kostromin, A. D. Kovalenko, G. L. Kuznetsov, R. Lednicky, N. I. Lebedev, V. A. Matveev, V. A. Mikhailov, V. A. Monchinsky, Yu. K. Potrebenikov, A. V. Philippov, S. V. Romanov, P. A. Rukoyatkin, N. V. Semin, N. A. Shurkhno, A. I. Sidorov, V. M. Slepnev, A. V. Smirnov, A. S. Sorin, N. D. Topilin, A. V. Tuzikov, V. I. Volkov; Eds.: I. Meshkov, G. Trubnikov, A. Sidorin. — Dubna: JINR, 2015. — 19 p.: ill. — Bibliogr.: P. 19.

Lehar F., Strokovsky E.Á., Wilkin C. Experimental Physics with Polarized Protons, Neutrons and Deuterons. — Prague: Czech Technical Univ., 2015. — 220 p.: ill. — Bibliogr.: P. 207–220.

Voskresenskaya O. Kinetic and Thermodynamic Stability of Cerium (IV) Complexes with a Series of Aliphatic Organic Compounds. — New York: Nova Sci. Publ., 2013. — IX, 171 p.: ill. — Bibliogr.: end of chap.

- Journal papers — 850
- Publications in conference Proceedings — 780
- Preprints — 81
- Theses abstracts — 17
- Total: 1739

Содержание/Contents

Теоретическая физика	3
Экспериментальная физика	4
Физика частиц	4
Релятивистская ядерная физика	7
Физика тяжелых ионов	7
Нейтронная ядерная физика	9
Физика конденсированных сред	11
Радиационные и радиобиологические исследования	15
Ускорительная тематика	18
Информационные технологии и вычислительная физика	20
Учебно-научный центр	22
Премии	23
Общие данные о количестве публикаций сотрудников ОИЯИ	23
Theoretical Physics	25
Experimental Physics	26
Particle Physics	26
Relativistic Nuclear Physics	29
Heavy Ion Physics	29
Neutron Nuclear Physics	31
Condensed Matter Physics	33
Radiation and Radiobiological Research	37
Accelerator Topics	40
Information Technology and Computer Physics	41
JINR University Centre	44
Prizes	45
General Data on the Number of Publications by JINR Staff Members	46

Редакторы: *Е. В. Сабаева, Е. И. Крупко*

Подписано в печать 15.03.2016.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 4,0. Тираж 200 экз. Заказ № 58770.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.
E-mail: publish@jinr.ru
www.jinr.ru/publish/