



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

2015-1

**КРАТКИЙ ОБЗОР
ВАЖНЕЙШИХ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В 2014 ГОДУ**

**BRIEF REVIEW
OF TOPMOST SCIENTIFIC RESULTS
OBTAINED IN 2014
AT THE JOINT INSTITUTE
FOR NUCLEAR RESEARCH**

Дубна 2015

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Рассчитан туннельный ток в контакте, состоящем из полуплоскостей графена и двухслойного графена, с двумя типами упаковки в двух возможных ориентациях кристаллической решетки. Обнаружено, что при встречной ориентации краем контактов типа «зигзаг» имеется выраженный эффект включения/выключения под влиянием затвора. На основе этих результатов предложена новая концепция туннельного полевого транзистора на базе графена. Основная идея состоит в использовании двух графеновых электродов с зигзагообразными краями, разделенных узкой щелью, под воздействием общего затвора. Показано, что при комнатной температуре такое устройство будет обладать ярко выраженным переключающим эффектом при низком напряжении на затворе и большим коэффициентом усиления.

- *Osipov V., Katkov V.* // Appl. Phys. Lett. 2014. V.104. P.053102; JETP Lett. 2013. V.98. P.782.

Впервые рассчитаны поправки квантовой электродинамики в порядке $m_e\alpha^7$ для трехчастичной кулоновской системы, что привело к рекордному 10-кратному улучшению результата для энергий перехода молекулярного иона водорода и антипротонного гелия. Это позволило достичь точности $1,5 \cdot 10^{-11}$ в определении отношений масс электрона и протона.

- *Korobov V.I., Hilico L., Karr J.-P.* // Phys. Rev. Lett. 2014. V.112. P.103003; Phys. Rev. A. 2014. V.89. P.03251.

Новые данные для направленного потока протонов, антипротонов и заряженных пионов, полученные коллаборацией STAR для рассеяния релятивистских тяжелых ионов, были проанализированы с помощью двух взаимодополняющих подходов: транспортной модели партон-адронной струнной динамики и модели трехжидкостной гидродинамики. Особое внимание было уделено изучению направленного потока антипротонов на основе баланса процессов аннигиляции протонов и антипротонов и реакций рождения пары из многомезонных взаимодействий. Сравнение экспериментальных данных и результатов моделирования указывает

на существование кварк-адронного фазового перехода типа кроссовера, смягчающего уравнение состояния ядерной материи, и не дает никаких указаний на фазовый переход первого порядка.

- *Konchakovski V.P. et al. // Phys. Rev. C. 2014. V.90. P.014903.*

Развит новый микроскопический термодинамически самосогласованный метод учета температурных эффектов в реакциях нейтрино и атомных ядер в коллапсирующей звездной материи. Неупругое рассеяние нейтрино на горячих ядрах изучено для температур, характерных для условий в сверхновых звездах. Показано, что наблюдаемое увеличение сечения рассеяния объясняется влиянием температуры на силу переходов Гамова–Теллера, доминирующих в процессах рассеяния нейтрино при низких энергиях.

- *Dzhioev A.A. et al. // Phys. Rev. C. 2014. V.89. P.035805.*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА

Физика частиц

Поиск резонансного рождения бозонов Z^* в протон-протонных столкновениях на ЛНС (ЦЕРН) в дилептонном канале предложен при участии ученых из ОИЯИ. В рамках этой задачи осуществлено моделирование событий рождения бозонов Z^* , выработаны критерии отбора реконструированных установкой ATLAS событий с распадом Z^* в пару лептон–антилептон, предложены критерии, позволяющие отличить события рождения Z^* от событий рождения других типов нейтральных бозонов (Z' , G^* и т. п.).

Экспериментальный поиск резонанса Z^* был проведен на основе анализа $\sim 25 \text{ fb}^{-1}$ данных протон-протонных столкновений с энергией с.ц.м. 7–8 ТэВ. Сделан вывод о согласии наблюдаемых данных с предсказанием Стандартной модели, получены новые ограничения на сечения рождения и массу бозона Z^* : новый экспериментальный верхний предел массы Z^* составляет 2,85 ТэВ.

- *Yeletsikh I.V. et al. Search for Z^* Boson at ATLAS Detector // Phys. Part. Nucl. 2014. V.45. P.252.*
- *Yeletsikh I.V. (ATLAS Collab.). Search for High-Mass Dilepton Resonances in 21 fb^{-1} of pp Collisions at $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ with the ATLAS Experiment // Phys. Rev. D. 2014. V.90. P.052005; arXiv: 1405.4123.*

В 2014 г. на детекторе BOREXINO (Гран-Сассо, Италия) при участии физиков ОИЯИ реализовано измерение потока солнечных нейтрино из pp -реакции в режиме реального времени [1]. Результат находится в хорошем согласии с предсказаниями стандартной модели Солнца, что подтверждает стационарность Солнца на временной шкале в сотни тысяч лет: нейтрино дают картину энерговыделения в настоящем, солнечная светимость соответствует энерговыделению в далеком прошлом, так как фотоны из центра Солнца выходят на поверхность за счет медленного процесса диффузии, занимающего сотни тысяч лет.

Вместе с предыдущими измерениями солнечных нейтрино из реакций ${}^7\text{Be}$, ${}^8\text{B}$ и pp на BOREXINO данное измерение завершает изучение нейтринных потоков из цепи реакций, начинающихся с pp -реакции [2].

1. *Bellini G. et al. (BOREXINO Collab.)*. Neutrinos from the Primary Proton-Proton Fusion Process in the Sun // *Nature*. 2014. V. 512. P. 383.
2. *Bellini G. et al. (BOREXINO Collab.)*. Final Results of BOREXINO Phase-I on Low-Energy Solar Neutrino Spectroscopy // *Phys. Rev. D*. 2014. V. 89. P. 112007.

В 2014 г. в рамках исследования чармониеподобных резонансов в эксперименте BES-III (ИНЕР CAS, Китай) в сотрудничестве с ОИЯИ были получены следующие основные результаты: найдены новые моды распада заряженных состояний Z_c^\pm , а также обнаружена нейтральная частица $Z_c^0(4020)$, предположительно являющаяся изоспиновым партнером заряженного состояния $Z_c^\pm(4025)$. Заряженный резонанс $Z_c^\pm(4025)$ наблюдался в реакции $e^+e^- \rightarrow Z_c^\pm\pi^\pm \rightarrow D^{*\pm}D^{*0}\pi^\pm$ при энергии столкновений $\sqrt{s} = 4,26$ ГэВ. Зафиксированы параметры резонанса: масса $(4026,3 \pm 2,6)$ МэВ/ c^2 , ширина $(24,8 \pm 5,6)$ МэВ/ c^2 . Полученные параметры хорошо согласуются с параметрами резонанса $Z_c^\pm(4020)$, обнаруженного ранее в моде распада $Z_c^\pm(4020) \rightarrow h_c\pi^\pm$.

Еще один заряженный резонанс, $Z_c^\pm(3885)$, был обнаружен в реакции $e^+e^- \rightarrow Z_c^\pm\pi^\pm \rightarrow (D^*D)^\pm\pi^\pm$. Масса и ширина резонанса $(3883,9 \pm 4,3)$ МэВ/ c^2 и $(24,8 \pm 11,5)$ МэВ/ c^2 хорошо согласуются с параметрами ранее открытого в BES-III резонанса $Z_c^\pm(3900)$, что позволяет предположить, что обнаружены две моды распада одной частицы.

В реакции $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0 h_c$ был впервые обнаружен нейтральный чармониеподобный резонанс Z_c^0 . Измерения проводились

при энергиях столкновений от 4,23 до 4,36 ГэВ. Масса нового резонанса составляет $(4023,9 \pm 4,4) \text{ МэВ}/c^2$. Такое значение массы позволяет предположить, что $Z_c^0(4020)$ является нейтральным изоспиновым партнером заряженного резонанса $Z_c^\pm(4020)$.

В настоящее время масса τ -лептона известна с относительной точностью около 10^{-4} , что значительно хуже, чем для других заряженных лептонов ($4 \cdot 10^{-10}$ для электрона и $2,5 \cdot 10^{-8}$ для мюона). Измерение массы τ -лептона выполнено в эксперименте BES-III методом порогового сканирования. Было получено следующее значение массы τ -лептона: $M_\tau = 1776,91_{-0,18}^{+0,16} \text{ МэВ}/c^2$. Точность этого результата BES-III практически не уступает всем вместе взятым прежним измерениям (прежний среднемировой результат составлял $M_\tau = (1776,82 \pm 0,16) \text{ МэВ}/c^2$).

- *Ablikim M. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2014. V. 112. P. 022001.
- *Ablikim M. et al.* // Ibid. P. 132001.
- *Ablikim M. et al.* // Phys. Rev. D. 2014. V. 90. P. 012001.

В 2014 г. в эксперименте COMPASS (SPS, ЦЕРН) с участием специалистов ОИЯИ проводился методический набор данных по измерению процесса Дрелла–Яна с пучком пионов с энергией 160 ГэВ и с поляризованной водородной мишенью.

В феврале и октябре в эксперименте COMPASS прошли тестовые испытания модулей электромагнитного калориметра ECAL0 на электронном пучке ускорительного комплекса ELSA (Бонн, Германия) и ускорителя PS (ЦЕРН, Женева). Полученные результаты показали, что модуль калориметра и система считывания, основанная на лавинных диодах, полностью удовлетворяют требованиям, необходимым для измерений обобщенных партонных распределений.

- *COMPASS Collab.* CERN-PH-EP/2014-109 hep-ex/1405.6377, sub PRL.
- *COMPASS Collab.* CERN-PH-EP/2014-180 hep-ex/1407.6186, sub PLB.
- *COMPASS Collab.* CERN-PH-EP/2014-247 hep-ex/1410.1797, sub NIMA.

В 2014 г. группой ОИЯИ в эксперименте CMS (LHC, ЦЕРН) была завершена обработка и анализ данных сеансов 2011–2012 гг. для процессов Дрелла–Яна с рождением пар мюонов. Были подтверждены предсказания Стандартной модели (СМ) взаимодействия элементарных частиц в новой области энергий, и выполнены поиски сигналов физики за рамками СМ,

в частности, существенно увеличен нижний предел на массу новых калибровочных бозонов (до $\sim 2,7$ ТэВ). Продолжалось изучение свойств бозона Хиггса. Была уточнена масса и другие его характеристики, позволившие сделать вывод о непротиворечивости открытого бозона бозону Хиггса СМ. Поиски редких распадов бозона Хиггса дали отрицательный результат.

- *CMS Collab.* Measurements of the Differential and Double-Differential Drell–Yan Cross Sections in Proton–Proton Collisions at 8 TeV. CMS-PAS-SMP-14-003 (submitted).
- *Конопляников В. Ф. и др.* Неопределенности сечения рождения процессов Дрелла–Яна при столкновении протонов на ЛHC // Письма в ЭЧАЯ. 2014. Т. 11, № 6(198). С. 1122–1133.
- *Ланёв А. В.* Результаты коллаборации CMS: бозон Хиггса и поиски новой физики // УФН. 2014. Т. 184. С. 996–1004.

В эксперименте DSS, проводимом на внутренней мишени нуклотрона (ЛФВЭ ОИЯИ), получены экспериментальные данные по угловой зависимости сечения упругого дейтрон-протонного рассеяния при энергиях дейтрона 1 и 1,8 ГэВ.

Получены экспериментальные данные для реакции развала дейтрона с детектированием двух протонов при энергии пучка дейтронов 400 МэВ в различных кинематических конфигурациях в компланарной геометрии.

Предварительные результаты показаны на международных конференциях «Meson-2014», «RNP-2014» и «IBSHEPP-XXII».

В рамках релятивистской модели многократного рассеяния выполнены теоретические расчеты для интерпретации полученных экспериментальных данных по дейтрон-протонному упругому рассеянию при энергиях дейтрона 880–2000 МэВ, и получены предсказания по анализирующим способностям A_y , A_{yy} , A_{xx} и A_{xz} реакций $dd \rightarrow {}^3\text{H}p$ и $dd \rightarrow {}^3\text{H}en$ при энергиях дейтронов 200 и 270 МэВ.

- *Kurilkin P. K. et al.* Investigation of the Deuteron Short-Range Spin Structure at Nuclotron // Proc. of the XV Advanced Research Workshop on High Energy Spin Physics (DSPIN-13), 8–12 October 2013, Dubna, Russia / Ed. by A. V. Efremov, S. V. Goloskokov. Dubna: JINR, 2014. P. 235.
- *Ladygina N. B.* Spin Effects in the $dd \rightarrow {}^3\text{H}en$ Reaction at Intermediate Energies // Phys. Part. Nucl. 2014. V. 45. P. 187–189.

Релятивистская ядерная физика

В экспериментах на установке NA61 (SPS, ЦЕРН) при активном участии физиков из ОИЯИ получены указания на существование критической точки ядерной материи. Эти данные крайне важны как для теории строения ядерной материи, так и с точки зрения дальнейших практических применений. Материя в области критической точки должна обладать уникальными свойствами, которые предстоит детально исследовать.

- *Stefanek G. (NA49 and NA61/SHINE Collab.) // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl. 2014.*

Группа ОИЯИ, участвующая в проекте STAR на коллайдере RHIC (BNL, США), принимает активное участие в анализе данных по измерению поляризации антикварков в протоне. Эксперимент проводился в столкновениях продольно-поляризованных протонов при энергии 0,5 ТэВ в системе центра масс. Регистрировалось рождение W -бозонов в аннигиляции кварка и антикварка, типы которых определялись по знаку заряда W -бозона. Проведенный анализ показал наличие существенной асимметрии, указывающей на доминирование поляризации u -антикварков.

- *Adamczyk L. et al. (STAR Collab.) // Phys. Rev. Lett. 2014. V. 113. P. 072301.*

Коллектив физиков ОИЯИ, участвующий в эксперименте ALICE (LHC, ЦЕРН), продолжал исследование фемтоскопических корреляций Бозе–Эйнштейна для пар заряженных K -мезонов ($K_{ch}K_{ch}$), образующихся в протон-протонных столкновениях при энергии 7 ТэВ. Такой анализ позволяет изучать пространственно-временные размеры источников испускания элементарных частиц. Главная особенность впервые полученных результатов — резкий рост размера источника (R_{inv}) с увеличением поперечной массы пары (m_T) при самых малых значениях числа образующихся заряженных частиц (N_{ch}) и обратная зависимость при больших значениях N_{ch} . Уменьшение R_{inv} с ростом m_T характерно для A - A -столкновений и теоретически объясняется коллективными эффектами потоков частиц при столкновении большого количества нуклонов. Подобная картина в p - p -столкновениях подтверждает теоретические предположения о возможности

проявления коллективных эффектов на кварк-глюонном уровне при взаимодействии элементарных частиц с достаточно большим значением N_{ch} .

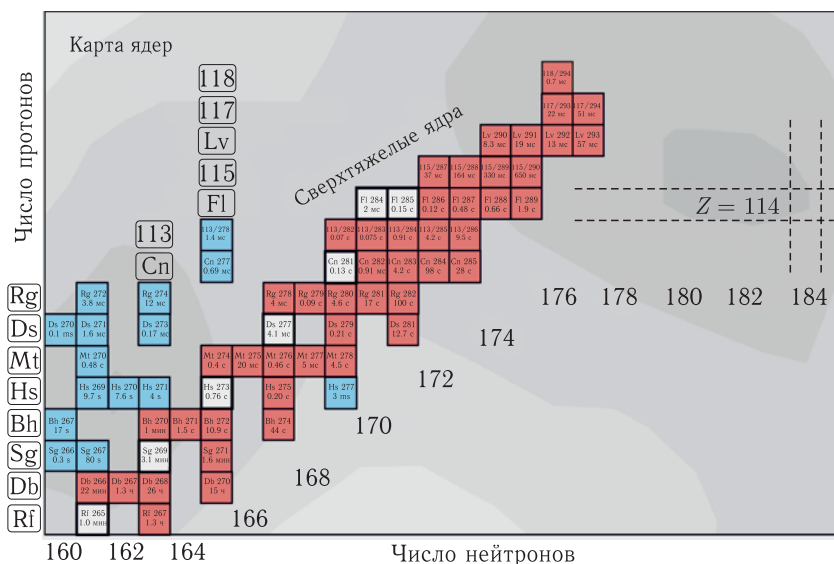
- *ALICE Collab.* Charged Kaon Femtoscopic Correlations in pp Collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV // *Phys. Rev. D.* 2013. V. 87. P. 052016.

Основная физическая задача эксперимента ФАЗА — изучение поведения горячих ядер, энергия возбуждения которых сравнима с предельно допустимой ($\sim 50\%$ от энергии связи ядра). В сеансах на пучках нуклотрона (ОИЯИ) проведены измерения временной шкалы для ядерной мультифрагментации в реакции $d + Au$ при энергии 4,4 ГэВ. Она происходит через (100 ± 15) фм/с после соударения пучка с мишенью. Это время уходит в основном на расширение ядра под действием теплового давления. Полученный результат важен для понимания динамических свойств горячих ядер.

- *Карнаухов В. А. и др.* Свойства горячих ядер, возникающих в соударениях легких релятивистских ионов с тяжелыми мишенями // *ЯФ.* 2014. Т. 77, № 1. С. 120.
- *Krupka J. et al.* Electrical Properties of Deuteron Irradiated High Resistivity Silicon // *Nucl. Instr. Meth. B.* 2014. V. 325. P. 107.

Физика тяжелых ионов

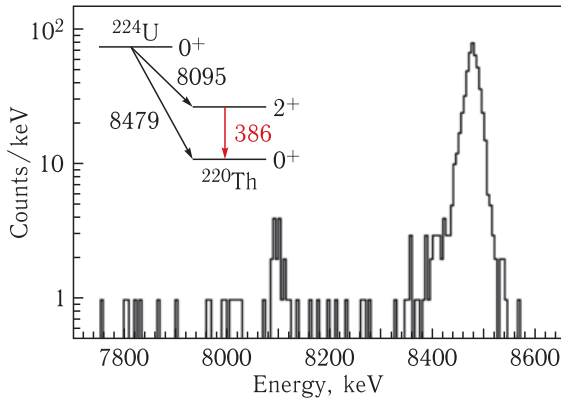
В ОИЯИ впервые проведены исследования наиболее легких изотопов флеровия (сверхтяжелый элемент 114) с массовыми числами 284 и 285, а также детально измерены радиоактивные свойства еще пяти дочерних ядер: ^{281}Cn , ^{277}Ds , ^{273}Hs , ^{269}Sg и ^{265}Rf . В результате проведенных экспериментов были определены вероятности образования этих изотопов при слиянии ускоренных частиц ^{48}Ca с ядрами ^{239}Pu и ^{240}Pu . Падение времен жизни изотопов флеровия от 2 с (^{289}Fl) до 2 мс (^{284}Fl) и вероятностей их образования более чем в 20 раз указывает на снижение стабильности этих ядер при удалении от магического числа нейтронов 184, что позволяет очертить границу области сверхтяжелых элементов. Работа выполнена в Объединенном институте ядерных исследований совместно с учеными из США.



Карта изотопов наиболее тяжелых элементов (указаны принятые символы элементов или их атомные номера, массовые числа ядер и периоды полураспада). Синими квадратами показаны ядра, синтезированные в лабораториях Германии и Японии, красными — в Дубне (РФ), белыми — ядра, исследованные в наших опытах. Пунктиром отмечены магические числа протонов (114) и нейтронов (184) для сверхтяжелых ядер

- *Rydzekowski K.P. et al.* Connecting the “Hot Fusion Island” to the Nuclear Mainland: Search for $^{283,284,285}\text{Fl}$ Decay Chains // Proc. of the 2nd Conf. on “Advances in Radioactive Isotope Science” (ARIS2014), Tokyo, Japan, June 1–6, 2014 (submitted).
- *Shumeiko M.V. et al.* // Proc. of the VII Intern. Symp. on EXotic Nuclei (EXON-2014), 8–13 September, 2014, Kaliningrad, Russia (to be submitted).

В 2014 г. продолжались тестовые эксперименты на модернизированном сепараторе SHELS. Изменялись коэффициенты транспортировки ядер отдачи, синтезируемых в реакциях с пучками ^{22}Ne , ^{40}Ar , ^{48}Ca и ^{50}Ti [1, 2]. Впервые использовался новый многостриповый (128×128 стрипов) детектор большой площади (10×10 см). Экспериментально подтверждено увеличение трансмиссии ядер отдачи как минимум в два раза.



Спектр α -распада ^{220}Th . Пик в спектре соответствует состоянию 2^+

В эксперименте с пучком ^{22}Ne детально изучались свойства распада изотопа ^{224}U , синтезированного в реакции полного слияния $^{22}\text{Ne} + ^{206}\text{Pb} \rightarrow ^{224}\text{U} + 4n$, и свойства дочерних продуктов его распада [3]. На рисунке представлен спектр, демонстрирующий новую моду альфа-распада на 2^+ -уровень ^{220}Th .

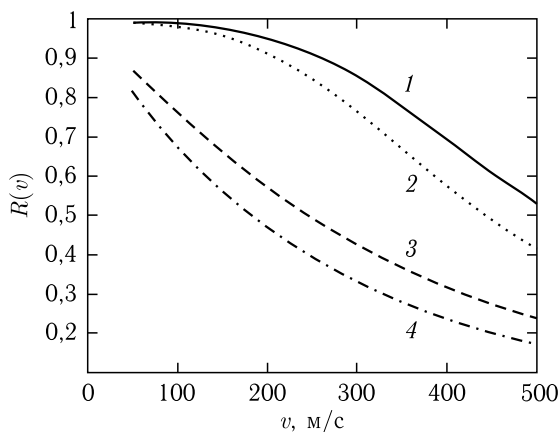
Дополнительно с использованием комбинированной электрон/гамма-спектроскопии исследовался распад изомерного состояния 8^+ в ^{210}Ra и тонкая структура распада изотопа ^{221}Th .

В экспериментах с тяжелыми ионами ^{48}Ca и ^{50}Ti изучались свойства спонтанного деления изотопов $^{250,252,254}\text{No}$ и ^{256}Rf с применением нейтронного детектора в фокальной плоскости сепаратора SHELS. Использовались реакции полного слияния $^{48}\text{Ca} + ^{204,206,208}\text{Pb} \rightarrow ^{250,252,252}\text{No} + 2n$, $^{50}\text{Ti} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{256}\text{Rf} + 2n$. Были зарегистрированы более 1500 событий спонтанного изотопа ^{256}Rf .

1. *Еремин А.В. и др.* Первые экспериментальные тесты модернизированного сепаратора ВАСИЛИСА // Письма в ЭЧАЯ. 2015. Т. 12, № 1.
2. *Еремин А.В. и др.* Экспериментальные тесты модернизированного сепаратора ВАСИЛИСА (SHELS) с использованием ускоренных ионов ^{50}Ti // Письма в ЭЧАЯ. 2015. Т. 12, № 1.
3. *Lopez-Martens A. et al.* Fine Structure in the Alpha Decay of ^{224}U // Eur. Phys. J. A. 2014. V. 50. P. 132; DOI: 10.1140/epja/i2014-14132-8.

Нейтронная ядерная физика

В нейтронной физике нужны отражатели как для нейтронных пучков, так и для эффективных источников нейтронов. В данной работе рассмотрены отражающие свойства материалов, состоящих из наночастиц различной формы: сферической и цилиндрической. Сплошные материалы хорошо отражают нейтронные пучки либо в очень узкой области малых энергий порядка $\sim 10^{-7}$ эВ (скорости ~ 5 м/с), либо при тепловых энергиях порядка $\sim 0,025$ эВ (скорости ~ 2200 м/с). В последнее время в нейтронной физике для биологии и индустрии оказались востребованы холодные нейтроны с энергиями $\sim 10^{-7}$ – 10^{-4} эВ (скорости ~ 10 – 500 м/с). Наноотражатели, как показано на рисунке, оказываются самыми эффективными по сравнению со всеми известными до сих пор.

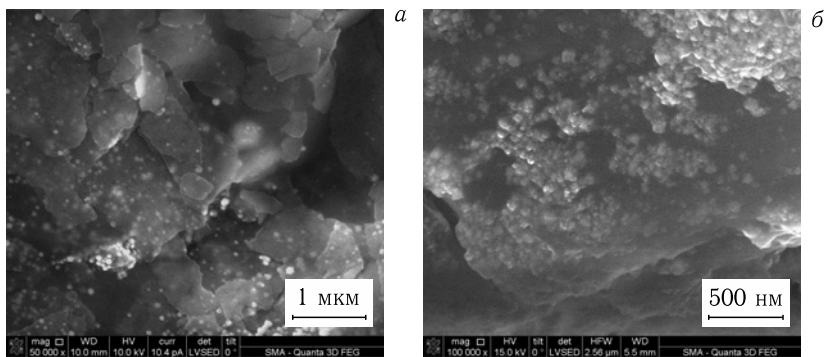


Коэффициент отражения $R(v)$ от порошка толщиной 3 см, состоящего из длинных (1) ($a = 1000$ нм), коротких (2) ($a = 10$ нм) наностержней с радиусом $\rho = 10$ нм при параметре поглощения $C = C_0 = 6,28 \cdot 10^{-7}$; 3, 4 — то же, что 1, 2, но при $C = C_a = 5,2 \cdot 10^{-4}$

- *Игнатович В. К., Несвижевский В. В. // АЭ. 2014. Т. 116, № 2. С. 100–107.*

Среди микроорганизмов цианобактерии представляют большой интерес для получения наночастиц, так как они являются потенциальными источниками новых метаболитов, имеющих большое значение в биотехнологии и промышленности. Для

разработки нетоксичного, экологически чистого метода получения наночастиц серебра использовали цианобактерии *Spirulina platensis* и *Nostoc linckia*. Наночастицы серебра исследовали с помощью комплекса оптических и аналитических методов. В частности, динамику накопления серебра биомассой цианобактерий изучали методом нейтронного активационного анализа на реакторе ИБР-2 ОИЯИ. Фотографии, полученные с помощью растрового электронного микроскопа, показали, что процесс образования наночастиц серебра цианобактериями с размерами 10–80 нм происходит внеклеточно, что очень важно с точки зрения их дальнейшего применения. Полученную биомассу можно использовать как в промышленных, так и в медицинских целях.



РЭМ-фотографии *Nostoc linckia* (а) и *Spirulina platensis* (б) с наночастицами серебра

- Сепи Л. et al. // Canadian J. Microbiol. 2014. DOI: 10.1139/cjm-2014-0450.

Для оценки экологического состояния прибрежных водных экосистем Черного моря в качестве биомониторов были выбраны бурые водоросли рода *Cystoseira* и фитопланктон, которые способны накапливать макро- и микроэлементы в высоких концентрациях.

Впервые для исследуемого региона с помощью нейтронного активационного анализа определены концентрации порядка 45 элементов в изучаемых образцах. Анализ полученных данных позволил выявить акватории Севастопольского региона с повышенной антропогенной нагрузкой и акватории Крыма с высокими

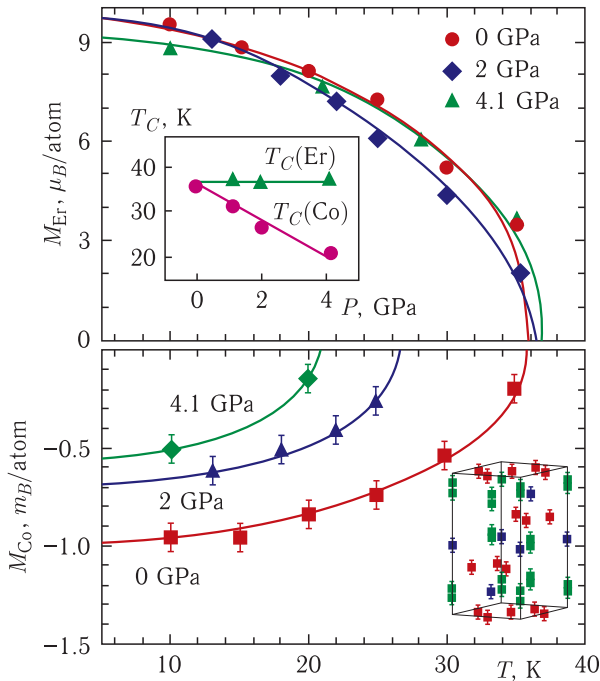
концентрациями элементов терригенного происхождения из-за особенностей геологического строения побережья [1]. Были выделены группы элементов с разными источниками их поступления в фитопланктон (с атмосферными осадками, терригенным стоком, антропогенными сбросами) [2]. Впервые для исследуемого региона определены фоновые концентрации макроэлементов, тяжелых металлов и мышьяка в водорослях, отобранных в прибрежной зоне охраняемых морских акваторий Крыма, и даны научные рекомендации по их использованию в качестве биомониторов водных экосистем [3]. Полученные результаты могут быть использованы для долгосрочного мониторинга экологического состояния акваторий Крыма.

1. *Kravtsova A., Milchakova N., Frontasyeva M.* // Ecological Chemistry and Engineering S. 2014. V. 21(1). P. 9–23.
2. *Nekhoroshkov P.S. et al.* // Am. J. Anal. Chem. 2014. V. 5. P. 323–334. <http://www.scirp.org/journal/ajac>; <http://dx.doi.org/10.4236/ajac.2014.55040>.
3. *Кравцова А.В., Мильчакова Н.А., Фронтасьева М.В.* // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2014. Т. 10. С. 146–158.

Физика конденсированных сред

Интерметаллиды редкоземельных металлов и кобальта R–Со демонстрируют широкий спектр интересных физических явлений, перспективных для их использования в качестве материалов для постоянных магнитов, элементов устройств электроники и охлаждающей техники. Возможности управления свойствами данных материалов (например, магнитным полем) определяются корреляцией между намагниченностями подрешеток R и Со.

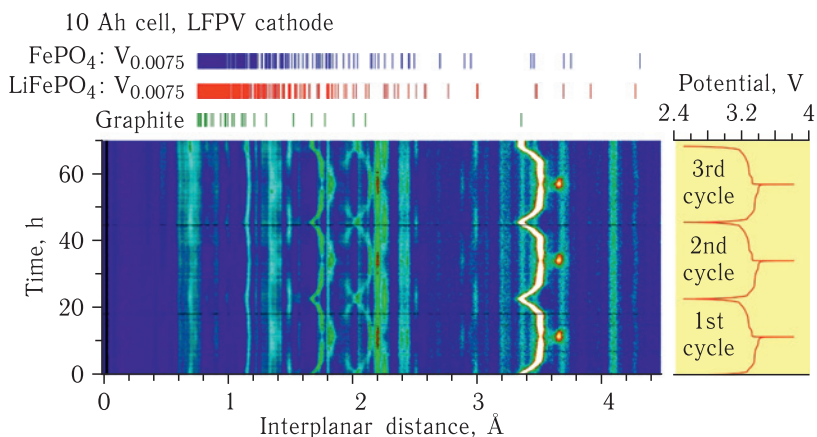
Нейтронные исследования атомной и магнитной структуры соединений RCo_2 при вариации термодинамических параметров показали, что высокая степень корреляции реализуется в соединениях с внутренним магнитным полем R-подрешетки, превышающим определенное критическое значение $H_{\text{cr}} \sim 75$ Тл, а для соединений с $H < H_{\text{cr}}$ наблюдается несогласованное поведение намагниченностей подрешеток R и Со. Полученные результаты, дополненные теоретическими расчетами, позволили уточнить современные представления о механизмах формирования магнитных свойств данных материалов.



Температурные зависимости намагниченностей подрешеток Er и Co в ErCo_2 при различных значениях давления, иллюстрирующие их независимое поведение. На вставках показаны барические зависимости температур Кюри подрешеток Er и Co и характер магнитного упорядочения в этих соединениях

- *Burzo E. et al.* // J. Alloys and Compounds. 2014. V. 584. P. 393–401.
- *Kozlenko D.P. et al.* // Sci. Rep. 2014 (in consideration).

Одной из наиболее актуальных научных задач является создание новых функциональных материалов, позволяющих улучшить характеристики и эксплуатационные свойства литий-ионных перезаряжаемых источников тока. Для этой цели важным является получение информации об изменениях микро- и кристаллической структуры, в том числе в процессе работы аккумулятора. Исследование структурного поведения новых электродных материалов на основе модифицированного LiFePO_4 непосредственно при заряде и разряде аккумулятора, а также в стационарных условиях было проведено на дифрактометре ФДВР реактора ИБР-2. В результате экспериментов детально изучены фазовые переходы, происходящие в электродах непосредственно



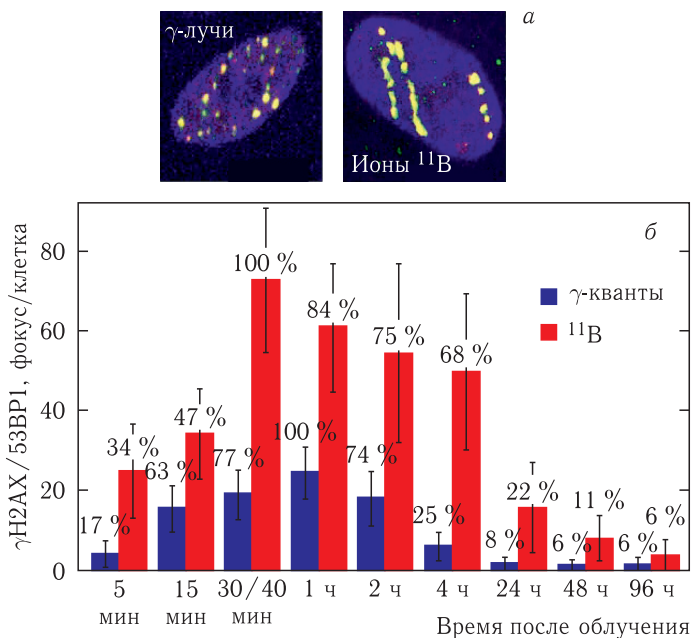
Эволюция нейтронных дифракционных спектров, полученных в эксперименте по исследованию работы электродов в аккумуляторе на основе LiFePO₄ с добавкой V. Справа приведен график изменения потенциала в процессе зарядки–разрядки аккумулятора

в ходе циклов заряда–разряда и идентифицированы структурные причины улучшения их характеристик. Модификация LiFePO₄ с помощью добавки ванадия способствует улучшению проводимости за счет уменьшения размера кристаллитов, а не за счет замещения ванадием других ионов в кристаллической структуре исходного катодного материала, как предполагалось ранее.

- *Bobrikov I. A. et al. // J. of Power Sources. 2014. V.258. P. 356–364.*
- *Балагуров А. М. и др. // Успехи химии. 2014. Т. 83. С. 113.*

РАДИАЦИОННЫЕ И РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведено сравнительное исследование индукции и репарации кластерных двунитевых разрывов (ДР) ДНК при действии γ -квантов ⁶⁰Со и ускоренных тяжелых ионов. Показано, что при облучении ионами ¹¹В (ЛПЭ ~ 135 кэВ/мкм) ДР ДНК формируются вдоль трека прохождения частицы, в то время как при γ -облучении повреждения равномерно распределены в ядре клетки. Действие ионов ¹¹В индуцирует формирование тяжелых кластерных повреждений ДНК, репарация которых замедлена по сравнению с γ -облучением (рис. а). Облучение ионами ¹¹В приводит к формированию в три раза большего ко-



а) Визуализация ДР ДНК в ядрах фибробластов с использованием метода иммуноцитохимического окрашивания. б) Кинетика формирования и элиминации фокусов γ H2AX/53BP1 (гистон γ H2AX и репарационный белок 53BP1 — маркеры ДР ДНК) при действии γ -квантов ^{60}Co и ускоренных ионов ^{11}B

личества фокусов γ H2AX/53BP1 по сравнению с γ -квантами. Максимальный выход фокусов после γ -облучения наблюдали через 1 ч пострadiационной инкубации фибробластов, и большая часть фокусов ($\sim 75\%$) элиминировалась в течение 4 ч (рис. б). В клетках, облученных ионами ^{11}B , наибольший выход фокусов γ H2AX/53BP1 регистрировали через 45 мин пострadiационной инкубации. В отличие от γ -квантов в клетках, облученных ускоренными ионами ^{11}B , через 4 ч количество фокусов уменьшалось на 32%. Элиминацию 68% фокусов наблюдали только через 24 ч пострadiационной инкубации. Работа выполнена с целью изучения механизмов действия тяжелых заряженных частиц космического происхождения на биологические объекты — ключевой проблемы космической радиобиологии.

- Jeřková L. et al. Function of Chromatin Structure and Dynamics in DNA Damage, Repair and Misrepair: γ -Rays

and Protons in Action // Appl. Radiat. Isot. 2014. V.83. P.128–136.

- *Falk M. et al.* Primary and Secondary Clustering of DSB Repair Foci and Repair Kinetics Compared for γ -Rays, Protons of Different Energies, and High-LET ^{20}Ne Ions // J. Radiat. Res. 2014. V.55. Suppl.1. P.i79–i80. DOI: 10.1093/jrr/rrt210.
- *Falk M. et al.* Chromatin Differentiation of White Blood Cells Decreases DSB Damage Induction, Prevents Functional Assembly of Repair Foci, but Has no Influence on Protrusion of Heterochromatic DSBs into the Low-Dense Chromatin // J. Radiat. Res. 2014. V.55. Suppl.1. P.i81–i82. DOI:10.1093/jrr/rrt194.
- *Falk M. et al.* Primary and Secondary Clustering of DSB Repair Foci and Repair Kinetics Compared for γ -Rays, Protons of Different Energies, and High-LET ^{20}Ne Ions // J. Radiat. Res. 2014. V.55. Suppl.1. P.i79–i80. DOI:10.1093/jrr/rrt210.

Продолжено исследование анализа реакции синтеза химических соединений из формамида NH_2CONH_2 (продукта гидролиза HCN) при действии излучений с разной ЛПЭ. Реакции синтеза осуществлялись при облучении ускоренными протонами и ионами ^{11}B и ^{12}C в присутствии катализаторов, полученных из метеоритов различных классов. На основании выполненных экспериментов сделан вывод о том, что в системе «формамид + вещество

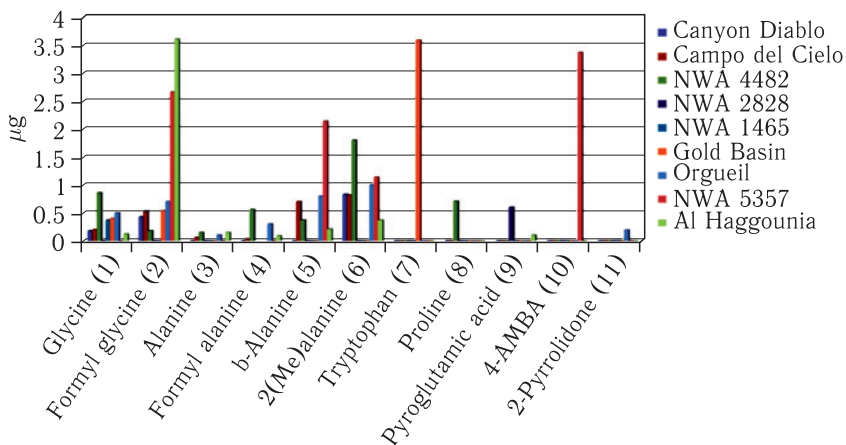


Рис. 1. Результаты по образованию аминокислот

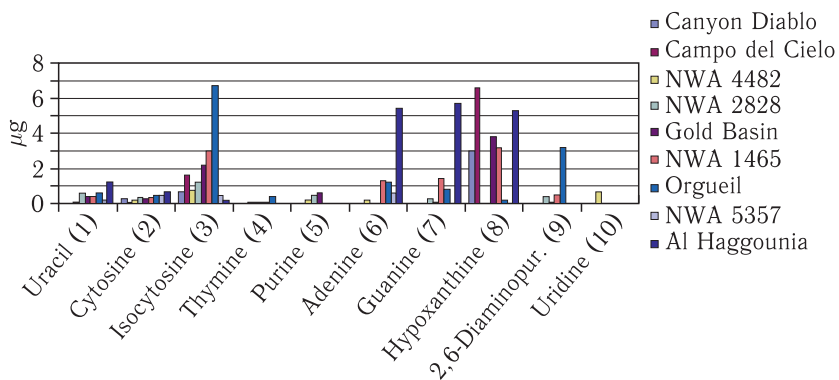


Рис. 2. Результаты по образованию нуклеиновых оснований и нуклеозидов

метеоритов + ионизирующее излучение» в заметных количествах формируются пребиотические соединения вплоть до нуклеозидов — основных фрагментов, входящих в состав РНК и ДНК. Получены представители всех классов молекул, необходимых для образования жизни на Земле: карбоновые кислоты, аминокислоты (рис. 1), сахара, нуклеиновые основания, нуклеозиды (рис. 2) и другие сложные соединения. Данные исследования приближают нас к ответу о возможном происхождении жизни во Вселенной.

- *Saladino R. et al. Meteorite-Catalyzed Syntheses of Nucleosides and of Other Prebiotic Compounds from Formamide under Proton Irradiation // PNAS. 2015. DOI: 10.1073/pnas (in press).*

УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕМАТИКА

Впервые на нуклотроне ОИЯИ в качестве штатного реализован режим работы с двумя параллельными пользователями. Обеспечена циркуляция распущенного (бесструктурного) пучка последовательно на двух «столах» магнитного поля — для эксперимента на внутренней мишени и для эксперимента на выведенном пучке.

Проведен первый сеанс работы с новым стендовым источником тяжелых ионов «Крион-6Т» в составе ускорительного комплекса. Оптимизировались режимы работы источника и ускорителя ЛУ-20 для получения ионов нескольких сортов. Ускоренные и выведенные пучки ядер Ar использовались для проведения физических экспериментов.

В работах по проекту NICA 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. Испытан предсерийный образец дипольного магнита бустера.

Специалистами ОИЯИ в 2014 г. получен патент РФ на изобретение прецизионного лазерного инклинометра. Данная разработка относится к области технической физики и может применяться для стабилизации положения на земной поверхности крупногабаритных установок для научных исследований или промышленного оборудования. Результатом применения прецизионного лазерного инклинометра является улучшение стабилизации положения крупномасштабных промышленных или научно-исследовательских комплексов, таких как международный линейный коллайдер (ILC), современные телескопические системы и др., в условиях сейсмических шумов земного и индустриального происхождения, а также регистрация поверхностных сейсмических волн.

- *Batusov V., Budagov J., Lyablin M.* A Laser Sensor of a Seismic Slope of the Earth Surface // Phys. Part. Nucl., Lett. 2013. V. 10, Iss. 1. P. 43–48.
- *Budagov J., Lyablin M., Shirkov G.* The Search for and Registration of Superweak Angular Ground Motions. JINR Preprint E18-2013-107. Dubna, 2013.
- *Будагов Ю.А., Ляблин М.В.* Патент на изобретение № 2510488 «Устройство для измерения угла наклона».

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Разработана новая система моделирования грид- и облачных сервисов, ориентированная на повышение эффективности разработки системы хранения и обработки данных ускорительного комплекса NICA. В системе реализован подход учета качества работы уже функционирующей системы при проектировании ее дальнейшего развития за счет объединения самой программы моделирования с системой мониторинга реального (или модельного) грид-облачного сервиса через специальную базу данных. Приведен пример применения программы для моделирования достаточно общей облачной структуры, которая может быть использована и вне рамок физического эксперимента.

- *Кореньков В.В. и др.* // Компьютерные исследования и моделирование. 2014. Т. 6, № 5.

Проведен сравнительный анализ пакетов моделирования облачных инфраструктур: CloudSim, iCanCloud, CReST. Эти программные пакеты позволяют создавать модели облачных систем с определенной функциональностью и конфигурацией. Готовая модель запускается на симуляцию, в результате чего системы моделирования предоставляют статистическую информацию по наиболее важным характеристикам: время выполнения задач, жизненный цикл виртуальных машин, использование ресурсов. Анализируя эту информацию, разработчик может выявить узкие места в модели и предусмотреть их решение, которое можно проверить следующей итерацией симуляции.

- *Кореньков В.В., Муравьев А.Н., Нечаевский А.В.* // Системный анализ в науке и образовании. 2014. Вып. 2.

Разработаны подходы для обеспечения интеграции контента и интероперабельности информационных систем, сопровождающих научные исследования в ОИЯИ, а именно: сервера научных документов JINR Document Server (JDS), информационно-аналитической системы «Персональная информация о сотрудниках ОИЯИ»/Personal Information (PIN) и системы управления научными мероприятиями Indico. Конечной целью данной разработки является комплексная автоматизация научно-исследовательской деятельности ОИЯИ на основе интернет-технологий.

- *Заикина Т.Н. и др.* // Тр. XVI Всерос. конф. RCDL-2014. Дубна, 2014. С. 349.

На основе фильтра Калмана разработан алгоритм реконструкции траектории заряженных частиц в режиме реального времени эксперимента СВМ (GSI, Германия). Задачи реконструкции траекторий заряженных частиц требуют привлечения высокопроизводительных вычислительных ресурсов, в связи с этим программная реализация предложенного алгоритма осуществлялась на основе различных технологий параллельного программирования, адаптированных к гибридным вычислительным архитектурам. Для численного решения рассматриваемой задачи использовался гибридный сервер ЛИТ ОИЯИ с двумя центральными процессорами Intel Xeon X5660 и графической картой NVIDIA GTX 480.

- *Аблязимов Т.О. и др.* // Письма в ЭЧАЯ. 2014. Т. 11, № 4. С. 828.

Разработана программа ROTNEA на языке FORTRAN 77 для расчета с заданной точностью собственных значений, поверхностных собственных функций и их первых производных по параметру параметрического самосопряженного двухмерного эллиптического дифференциального уравнения с условиями Дирихле и/или Неймана в конечной двухмерной области. Программа вычисляет также потенциальные матричные элементы — интегралы от произведения поверхностных функций и/или первых производных от поверхностных функций по параметру. Собственные значения, зависящие от параметра и матричных элементов, вычисленные программой ROTNEA, могут быть использованы для решения с помощью программы KANTBP задач на связанные состояния и многоканальных задач рассеяния для систем связанных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка.

- *Gusev A. A. et al. // Comp. Phys. Commun. 2014. V.185. P. 2636–2654.*

Проведено численное исследование комплексов локализованных структур в двух динамических системах, каждая из которых имеет множество физических приложений. Первая система описывается нелинейным уравнением Шредингера с внешней накачкой и диссипацией (NLS). Вторая — уравнением двойного синус-Гордона (2SG). Численный анализ в обоих случаях основан на продолжении соответствующих стационарных решений по параметрам и численном решении линеаризованной задачи на собственные значения для анализа устойчивости и бифуркаций. Мультисолитонные комплексы NLS исследуются для случая слабой и нулевой диссипации. Для первой системы продемонстрировано существование устойчивых и неустойчивых мультисолитонных структур в случае малой диссипации. Численные результаты, полученные на основе вышеизложенного подхода, подтверждаются прямым численным решением исходного уравнения в частных производных. Для второй системы свойства мультифлюксонных решений 2SG исследованы в зависимости от параметра второй гармоники. Показано, что учет второй гармоники приводит к изменению свойств известных решений и появлению новых сосуществующих флюксонных состояний.

- *Земляная Е.В., Алексеева Н.В., Атанасова П.Х. // Вестн. РУДН. Сер. Математика. Информатика. Физика. 2014. № 2. С. 363.*

Показано, что соотношение унитарной $U(d)$ -эквивалентности между элементами пространства \mathbb{R}_+ смешанных состояний d -мерной квантовой системы определяет пространство орбит $\mathbb{R}_+/U(d)$ и обеспечивает его описание в терминах кольца $\mathbb{R}[\mathbb{R}_+]^{U(d)}$ $U(d)$ -инвариантных многочленов. Доказано, что по-луалгебраическая структура пространства $\mathbb{R}_+/U(d)$ полностью определяется двумя основными свойствами матриц плотности: их положительной полуопределенностью и эрмитовостью. В частности, показано, что неравенства Процессии–Шварца для элементов базиса кольца инвариантов для $\mathbb{R}[\mathbb{R}_+]^{U(d)}$, определяющие пространство орбит, выполняются тождественно для всех элементов \mathbb{R}_+ .

- *Гердт В. П., Хведелидзе А. М., Палий Ю. Г.* // Записки научн. семинаров ПОМИ. 2014. Т. 421. С. 68–80.

Предложен метод приближенного вычисления матричнозначных функциональных интегралов, порожденных решением уравнения Дирака. Эти интегралы определяются на одномерных непрерывных путях $x: |s, t| \rightarrow \mathbb{R}$ и принимают значения в пространстве комплексных $d \times d$ матриц. Матричнозначные интегралы широко используются в релятивистской квантовой механике для изучения частиц в электромагнитном поле. А именно, интегралы применяются для того, чтобы представить фундаментальное решение задачи Коши для уравнения Дирака. Предложенный метод основан на разложении функционала в ряд. Члены ряда имеют вид произведения линейных функционалов с возрастающей суммарной степенью. Разработанный метод применим в случае малых и больших параметров, входящих в интеграл.

- *Айрян Э. А., Малютин В. Б.* // Вестн. РУДН. Сер. Математика. Информатика. Физика. 2014. № 1. С. 43.

УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

В 2014 г. в Учебно-научном центре проходили обучение 422 студента и аспиранта базовых кафедр МГУ, МФТИ, МИРЭА, университета «Дубна» и университетов стран-участниц ОИЯИ. В аспирантуре ОИЯИ обучались 37 человек из Армении, Белоруссии, Германии, Казахстана, РФ.

При Учебно-научном центре ОИЯИ созданы две новые структуры: научно-инженерная группа и отдел разработки и создания образовательных программ.

Летняя студенческая практика по направлениям исследований ОИЯИ в 2014 г. проводилась в три этапа, в ней участвовали

140 человек из Белоруссии, Болгарии, Египта, Польши, Румынии, Сербии, Словакии, Чехии и ЮАР.

В 2014 г. в ОИЯИ открылась новая летняя студенческая программа. После конкурсного отбора восемь студентов и аспирантов из РФ, Египта, Польши, Кубы и Чехии в течение 6–8 недель с июня по сентябрь выполняли исследовательские проекты в лабораториях ОИЯИ.

В целях расширения сотрудничества между ОИЯИ и Чехией стартовала программа, позволяющая студентам и аспирантам принимать участие в фундаментальных и прикладных исследованиях в научных центрах Чехии.

Ежегодная научная школа для учителей физики из стран-участниц ОИЯИ проводилась в июне в Дубне в два этапа: первый — для 26 учителей физики РФ, Белоруссии и Болгарии и их 12 учеников, второй — для 20 учителей физики из Москвы. Программа включала лекции ведущих сотрудников ОИЯИ о современных исследованиях, экскурсиях в лаборатории и на базовые установки, видеоконференции с ЦЕРН. В ноябре в работе школы в ЦЕРН принимали участие 42 преподавателя физики школ РФ, Армении, Белоруссии, Казахстана, Украины.

25 студентов естественно-научных и инженерных специальностей в 2014 г. принимали участие в работе мастерской физики «105-й элемент» летней школы «Русского репортера», проходившей в Дубне. Программа мастерской включала лекционную и экскурсионную части, а также практические занятия. Участники совершили экскурсии на базовые установки ОИЯИ, выполнили практические работы и приняли участие в видеоконференции с ЦЕРН.

В начале января 2014 г. для школьников и студентов-первокурсников была организована международная научно-практическая конференция «Флеровские чтения-2014».

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 из городов РФ, Германии и Польши.

ПРЕМИИ

Президиум Российской академии наук присудил премию имени П. А. Черенкова 2014 г. доктору физико-математических

наук Игорю Анатольевичу Голутвину (Объединенный институт ядерных исследований) за выдающийся вклад в успешное проведение эксперимента CMS в ЦЕРН в качестве руководителя коллаборации RDMS CMS.

ОБЩИЕ ДАННЫЕ О КОЛИЧЕСТВЕ ПУБЛИКАЦИЙ СОТРУДНИКОВ ОИЯИ (с 14.12.2013 по 05.12.2014)

• Книги — 19:

Акимов Ю.К. Фотонные методы регистрации излучений. — Изд. 2-е, испр. и доп. — Дубна: ОИЯИ, 2014. — 324 с.: ил. — (ОИЯИ; 2013-65). — Библиогр.: с. 281–323.

Биленький С.М. Введение в диаграммы Фейнмана и физику электрослабого взаимодействия. — Изд. 2-е. — М.: URSS, 2014. — 325, [1] с.: ил. — Библиогр.: с. 323–324.

Биленький С.М. Введение в теорию рассеяния. — Изд. 2-е. — М.: URSS, 2014. — 96 с.: ил.

Исаев П.С. Мы сражались за Родину: воспоминания. — Дубна: ОИЯИ, 2014. — 173, [3] с.: ил. — (ОИЯИ; 2014-4). — В надзаг.: Объединенный ин-т ядерных исследований.

Козлов Г.А., Матвеев В.А., Саврин В.И. О пользе участия в программах по физике элементарных частиц при высоких энергиях. — Дубна: ОИЯИ, 2014. — 49, [2] с.: цв. ил. — (ОИЯИ; 2014-49). — Библиогр.: с. 49–[50].

Космическая радиобиология за 55 лет: к 50-летию ГНЦ РФ–ИМБП РАН / Юрий Григорьевич Григорьев, Игорь Борисович Ушаков, Евгений Александрович Красавин, Борис Ильич Давыдов, Александр Венецианович Шафиркин и Институт медико-биологических проблем (Москва). — М.: Экономика, 2013. — 304 с.: ил. — Библиогр.: с. 283–302.

Мешков И.Н., Чириков Б.В. Электромагнитное поле. Ч.1. Электричество и магнетизм. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М.; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2013. — 544 с.: ил. — Библиогр.: с. 535–536.

Мешков И.Н., Чириков Б.В. Электромагнитное поле. Ч.2. Электромагнитные волны и оптика. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М.; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2013. — 415 с.: ил. — Библиогр.: с. 409–411.

Никитенко Ю.В., Сыромятников В.Г. Рефлектометрия поляризованных нейтронов. — М.: Физматлит, 2013. — 218 с.: ил. — Библиогр.: с. 208–218.

Орелович Л.Н. Тетрадь, найденная в тумбочке дубненской гостиницы: к 80-летию со дня рождения Андрея Вознесенского; Предисл.: К. Кедров. — М.: Лазурь, 2014. — 224 с.: ил.

Самойлов В.Н., Фурасов В.Д. Динамика развития регионов Российской Федерации. Индексы развития. — Дубна: ОИЯИ, 2013. — 449 с.: ил. — (ОИЯИ; 2013-102). — Библиогр.: с. 447–449.

Саха Б. Спинорное поле в эволюции Вселенной: спинорное поле как источник изотропизации и ускоренного расширения Вселенной. — Saarbrücken: Lambert Acad. Publ., 2011. — 244 с.: ил. — Библиогр.: с. 229–244.

Строковский Е.А. Лекции по основам кинематики элементарных процессов: учебное пособие. — Изд. 2-е с уточ. и доп. — М.: МАКС Пресс, 2013. — 346 с.: ил. — Библиогр.: с. 336–346. — В надзаг.: Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. Науч.-исслед. ин-т ядерной физики им. Д. В. Скобельцына.

Узиков Ю.Н. Введение в квантовую теорию столкновений: учебное пособие. — М.: Физический факультет МГУ, 2014. — 224 с. — Библиогр.: с. 220–223. — В надзаг.: Физический фак. МГУ им. М. В. Ломоносова. Каф. физики элементарных частиц.

Ульянов С.В., Решетников Г.П. Технологии интеллектуальных вычислений. Мягкие и дробные вычисления в интеллектуальном управлении: учебно-методическое пособие. — Дубна: ОИЯИ, 2013. — 244 с.: ил. — (Учебно-методические пособия Учебно-научного центра ОИЯИ. УНЦ; 2013-54). — Библиогр. в конце глав.

Фурсаев Д.В. Введение в теорию гравитации и ее приложения: учебное пособие. — Дубна: Международный ун-т природы, общества и человека «Дубна», 2013. — 79 с. — Библиогр. в конце глав.

Dinev D. High Energy Heavy Ion Accelerator: Textbook. — Dubna: JINR, 2013. — 106 p.: il. — (Учебно-методические пособия Учебно-научного центра ОИЯИ. УНЦ; 2013-55). — Bibliogr.: p. 102–106.

Pervushin V.N., Pavlov A.E. Principles of Quantum Universe. — Saarbrücken: Lambert Acad. Publ., 2014. — 480 p.: il. — Bibliogr.: end of chapters.

Pontecorvo B. Selected Scientific Works: Recollections on Bruno Pontecorvo / Eds.: S. M. Bilenky, T. D. Blokhintseva, L. Cifarelli, V. A. Matveev, I. G. Pokrovskaya, M. G. Sapozhnikov. — 2nd ed. — Bologna: Societa Italiana di Fisica, 2013. — VIII, 615 p.: il. — Complete Bibliogr. of B. Pontecorvo: p. 583–603.

- Журнальные статьи — 832
- Публикации в трудах конференций — 486
- Препринты — 95
- Авторефераты диссертаций — 18
- Всего: 1450

THEORETICAL PHYSICS

Tunnel current was calculated in a contact made of both graphene monolayers and bilayers with two possible packings and orientations of the crystal lattice. For zigzag termination, there exists a pronounced on/off effect under the influence of the gate voltage. Based on these results a concept for a graphene tunnel field-effect transistor was proposed. The main idea is based on the use of two graphene electrodes with zigzag termination divided by a narrow gap under the influence of the common gate. It was shown that the device will have a pronounced switching effect at low gate voltage and high on/off current ratio at room temperature.

- *Osipov V., Katkov V.* // Appl. Phys. Lett. 2014. V. 104. P. 053102; JETP Lett. 2013. V. 98. P. 782.

The quantum electrodynamics (QED) corrections at order $m_e\alpha^7$ for a three-body Coulomb system were obtained and led to the record 10-fold improvement for the transition energies of the hydrogen molecular ion and the antiprotonic helium. This allows one to achieve a fractional precision of $1.5 \cdot 10^{-11}$ in determination of the electron-to-proton mass ratio.

- *Korobov V.I., Hilico L., Karr J.-P.* // Phys. Rev. Lett. 2014. V. 112. P. 103003; Phys. Rev. A. 2014. V. 89. P. 03251.

Recent STAR data for the directed flow of protons, antiprotons, and charged pions in relativistic heavy ion collisions were analyzed within the parton-hadron-string-dynamics transport model and a 3-fluid hydrodynamics approach. Special attention was paid to the description of antiproton directed flow based on the balance of proton-antiproton annihilation and the inverse processes for pair creation from multimeson interactions. Comparison of the measured data and the model results supports a crossover type of quark-hadron transition that softens the nuclear EoS but shows no indication of a first-order phase transition.

- *Konchakovski V.P. et al.* // Phys. Rev. C. 2014. V. 90. P. 014903.

The novel microscopic and thermodynamically consistent approach to take into account thermal effects on the neutrino–nucleus reactions in the collapsing stellar matter was developed. Inelastic neutrino scattering off hot nuclei for temperatures relevant under supernova conditions is studied. The observed enhancement of the cross section at low neutrino energies was explained by thermal effects on the strength of Gamow–Teller transitions, which dominate the scattering process at low neutrino energies.

- *Dzhioev A.A. et al. // Phys. Rev. C. 2014. V. 89. P. 035805.*

EXPERIMENTAL PHYSICS

Particle Physics

A search for resonance Z^* production in the dilepton channel in proton–proton collisions at the LHC was proposed with the participation of the JINR scientists. In the scope of this objective, Z^* -boson production events were simulated, criteria for selection of events of the Z^* decay into a lepton–antilepton pair reconstructed at ATLAS were established, and criteria for discrimination between the Z^* -production events and events of production of other neutral bosons (Z' , G^* , etc.) were proposed.

The experimental search for the resonance Z^* was based on the analysis of $\sim 25 \text{ fb}^{-1}$ of proton–proton collisions at a cms energy of 7 to 8 TeV. The investigations performed at JINR included development of the software for selection and analysis of the data in the dimuon channel, optimization of the criteria for selection of dimuon events, determination of the main sources and calculation of the absolute values of the systematic errors in the background simulation, and statistical analysis of the data. The observed data are found to agree with the Standard Model predictions, and new limits for the production cross section and mass of the Z^* boson are obtained: the new experimental upper limit for the Z^* mass is 2.85 TeV.

- *Yeletskikh I.V. et al. Search for Z^* Boson at ATLAS Detector // Phys. Part. Nucl. 2014. V. 45. P. 252.*
- *Yeletskikh I.V. (ATLAS Collab.). Search for High-Mass Dilepton Resonances in 21 fb^{-1} of pp Collisions at $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ with the ATLAS Experiment // Phys. Rev. D. 2014. V. 90. P. 052005; arXiv: 1405.4123.*

In 2014, the solar neutrino flux from the pp reaction was measured in real time at the Borexino detector [1]. The result is in good agreement with the standard solar model, which confirms the Sun being in a steady state for hundreds of thousands of years: neutrinos yield the energy deposition picture at the present, the solar luminosity corresponds to the energy deposition in a far past because photons come to the surface of the Sun from its interior due to a slow diffusion process that takes hundreds of thousands of years.

Together with the previous measurements of solar neutrinos from the ${}^7\text{Be}$, ${}^8\text{B}$, and $ppep$ reactions at Borexino, this measurement brings to the end the study of neutrino fluxes from a chain of reactions that begins with the pp reaction [2].

1. *Bellini G. et al. (Borexino Collab.)*. Neutrinos from the Primary Proton-Proton Fusion Process in the Sun // *Nature*. 2014. V. 512. P. 383.
2. *Bellini G. et al. (Borexino Collab.)*. Final Results of Borexino Phase-I on Low-Energy Solar Neutrino Spectroscopy // *Phys. Rev. D*. 2014. V. 89. P. 112007.

In 2014, investigations of charmonium-like resonances in the BES-III experiments led to the following results: new decay modes of the charges states Z_c^\pm were found and a neutral particle $Z_c^0(4020)$ supposed to be an isospin partner of the charged state $Z_c^\pm(4025)$ was observed. The charged resonance $Z_c^\pm(4025)$ was observed in the reaction $e^+e^- \rightarrow Z_c^\pm\pi^\pm \rightarrow D^{*\pm}D^{*0}\pi^\pm$ at the collision energy $\sqrt{s} = 4.26$ GeV. Its mass and width were found to be $(4026.3 \pm \pm 2.6)$ MeV/ c^2 and (24.8 ± 5.6) MeV/ c^2 , in good agreement with the parameters of the $Z_c^\pm(4020)$ resonance earlier observed in the decay mode $Z_c^\pm(4020) \rightarrow h_c\pi^\pm$.

Another charged resonance $Z_c^\pm(3885)$ was observed in the reaction $e^+e^- \rightarrow Z_c^\pm\pi^\pm \rightarrow (D^*D)^\pm\pi^\pm$. The mass and the width of the resonance $((3883.9 \pm 4.3)$ MeV and (24.8 ± 11.5) MeV) are in good agreement with the parameters of the $Z_c^\pm(3900)$ resonance earlier observed in the BES-III, which suggests that two decay modes of one particle are found.

A neutral charmonium-like resonance Z_c^0 was first observed in the reaction $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0h_c$. Measurements were performed at collision energies of 4.23 to 4.36 GeV. The mass of the new resonance is (4023.9 ± 4.4) MeV/ c^2 , which suggests that the

$Z_c^0(4020)$ is a neutral isospin partner of the charged resonance $Z_c^\pm(4020)$.

Now the tau-lepton mass is known with a relative accuracy of about 10^{-4} , which is much worse than for other charged leptons ($4 \cdot 10^{-10}$ for the electron and $2.5 \cdot 10^{-8}$ for the muon). The tau-lepton mass was measured in the BES-III experiment using the threshold scanning technique, and the value $M_\tau = 1776.91^{+0.16}_{-0.18} \text{ MeV}/c^2$ was obtained. Its accuracy is almost as good as that of all previous measurements taken together (the previous world average was $M_\tau = (1776.91 \pm 0.16) \text{ MeV}/c^2$).

- *Ablikim M. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2014. V. 112. P. 022001.
- *Ablikim M. et al.* // Ibid. P. 132001.
- *Ablikim M. et al.* // Phys. Rev. D. 2014. V. 90. P. 012001.

In 2014, the test run on the Drell–Yan process measurements with a pion beam of 160 GeV and a hydrogen polarized target was carried out within the framework of the COMPASS experiment. The JINR group was responsible for putting the enhanced data acquisition system (DAQ) into operation; preparation of the polarized target; preparation of the engineering facilities of the experimental hall; hadron calorimeter (HCAL1) and tracking detector (MW1).

In February and October of 2014, tests of the electromagnetic calorimeter (ECALO) modules at an electron beam of the ELSA accelerator complex (Bonn, Germany) and at beams of the PS accelerator (CERN, Geneva) were held. The obtained results showed that the calorimeter module and the avalanche diode-based read-out system fully satisfy conditions of the future measurements of generalized parton distributions.

- *COMPASS Collab.* CERN-PH-EP/2014-109 hep-ex/1405.6377, sub PRL.
- *COMPASS Collab.* CERN-PH-EP/2014-180 hep-ex/1407.6186, sub PLB.
- *COMPASS Collab.* CERN-PH-EP/2014-247 hep-ex/1410.1797, sub NIMA.

In 2014, JINR physicists taking part in the CMS experiment completed processing and analysis of the 2011 and 2012 LHC run data on the Drell–Yan process with a muon pair production. The predictions of the Standard Model (SM) of elementary particle interactions were proved in a new energy range. The search for signals of new physics beyond the SM was performed as well

and the limit of new gauge boson mass was significantly extended (up to ~ 2.7 TeV).

The study of the Higgs boson properties was continued. The boson mass and other parameters were determined more precisely. This allowed making a conclusion about consistency of the discovered boson hypothesis with the SM Higgs boson. The search for rare decays of the Higgs boson was not successful.

- *CMS Collab.* Measurements of the Differential and Double-Differential Drell–Yan Cross Sections in Proton–Proton Collisions at 8 TeV. CMS-PAS-SMP-14-003 (submitted).
- *Konoplyanikov V. F. et al.* The Uncertainties of the Sections of the Drell–Yan Processes Birth in Proton Collisions at LHC // Part. Nucl., Lett. 2014. V.11, No.6(198). P. 1122–1133.
- *Lanyov A. V.* The Collaboration Results CMS: Higgs Boson and the Search for New Physics // Adv. Phys. Sci. 2014. V. 184. P. 996–1004.

In the DSS experiment carried out at the internal target of the Nuclotron (LHEP, JINR), experimental data on the angular dependence of the elastic deuteron–proton scattering cross section at deuteron beam energies of 1 and 1.8 GeV were obtained. The preliminary results were presented at the international conferences RNP-2014 and IBSHEPP-XXII.

Experimental data for the deuteron break-down with detecting of two protons at the deuteron beam energy of 400 MeV in various kinematic configurations in coplanar geometry were obtained. The preliminary results were presented at the international conferences MESON-2014, RNP-2014 and IBSHEPP-XXII.

Within the relativistic model of multiple scattering, theoretical calculations were performed for interpretation of the obtained experimental data on deuteron–proton elastic scattering in the deuteron energy range 880–2000 MeV.

In the framework of the relativistic model of multiple scattering, predictions on the A_y , A_{yy} , A_{xx} and A_{xz} analyzing powers in the $dd \rightarrow {}^3\text{H}p$ and $dd \rightarrow {}^3\text{H}en$ reactions at deuteron energies of 200 and 270 MeV were obtained.

- *Kurilkin P. K. et al.* Investigation of the Deuteron Short-Range Spin Structure at Nuclotron // Proc. of the XV Advanced Research Workshop on High Energy Spin Physics (DSPIN-13), 8–12 October 2013, Dubna, Russia / Ed. by A. V. Efremov and S. V. Goloskokov. Dubna: JINR, 2014. P. 235.

- *Ladygina N.B.* Spin Effects in the $dd \rightarrow {}^3\text{He}$ Reaction at Intermediate Energies // Phys. Part. Nucl. 2014. V. 45. P. 187–189.

Relativistic Nuclear Physics

The evidence of the existence of the critical point of nuclear matter was received for the first time within the experiments at the NA61 (SPS, CERN) with the active participation of the physicists of the Laboratory of High Energy Physics, JINR. These data are highly important for the theory of nuclear matter and for their further application in practice. Matter in the critical point region must have unique properties, which should be studied in detail.

- *Stefanek G.* (NA49 and NA61/SHINE Collabs.) // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl. 2014.

The JINR group taking part in the STAR project at the RHIC collider is actively involved in the analysis of new data on measurements of antiquark polarization of the proton. The experiment was conducted at collisions of longitudinally polarized protons at a center-of-mass energy of 0.5 TeV. W -bosons were registered to be produced by the annihilation of a quark and an antiquark, whose types were determined by the charge of W -boson. The analysis demonstrated the presence of a significant asymmetry indicating the domination of the u -antiquark polarization.

- *Adamczyk L. et al.* (STAR Collab.) // Phys. Rev. Lett. 2014. V. 113. P. 072301.

In the framework of the ALICE experiment, the group of physicists from JINR has continued the investigation of femtoscopic Bose–Einstein correlations for charged kaon pairs ($K_{\text{ch}}K_{\text{ch}}$) produced in proton–proton (p – p) collisions at the energy of 7 TeV. This type of analysis makes it possible to study the space-time sizes of sources of emission of elementary particles. Previously similar investigations were carried out in experiments with heavy ion (A – A) collisions, but for p – p interactions they were performed for the first time. The key peculiarity of the obtained results for $K_{\text{ch}}K_{\text{ch}}$ is the sharp increase of source size (R_{inv}) with the increase of the so-called pair transverse mass (m_T) at the lowest number of created charged particles (N_{ch}) and the inverse dependence at a higher N_{ch} . The decrease of R_{inv} with the increase of m_T is characteristic of A – A collisions and

theoretically explained by collective effects of particle flows when a big number of nucleons are collided. The same picture for $p-p$ collisions confirms some theoretical suppositions on probability of the manifestation of collective effects on the quark–gluon level in elementary particle interactions with big enough values of N_{ch} .

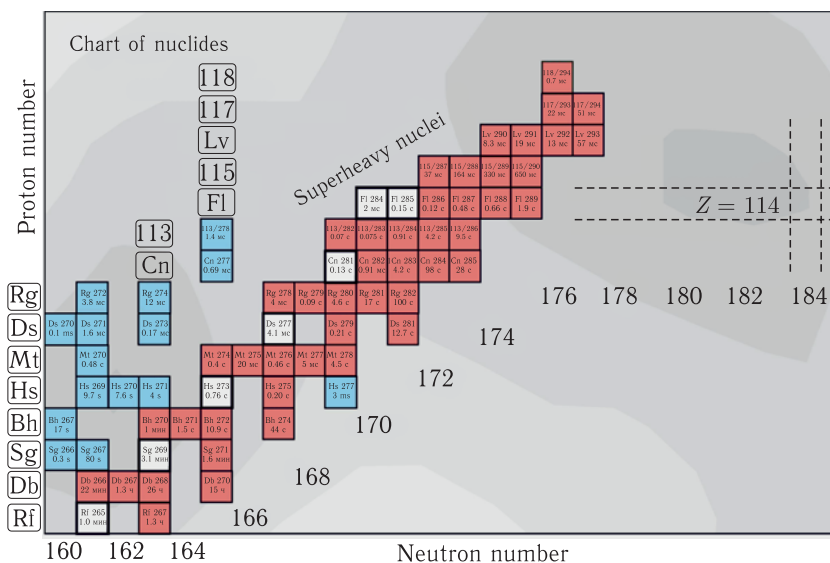
- *ALICE Collab.* Charged Kaon Femtoscopic Correlations in pp Collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV // Phys. Rev. D. 2013. V. 87. P. 052016.

The main subject of the FASA collaboration is an investigation of the properties of very hot nuclei with excitation energy comparable with total binding energy ($\sim 50\%$). The most important result obtained is measuring the time scale of the multi-body disintegration of hot nuclei from reaction $d + \text{Au}$: it takes place (100 ± 15) fm/c after the collision moment. This is the expansion time of hot nucleus before the disintegration. This result is very important for understanding the dynamic properties of hot nuclei.

- *Karnaikhov V. A. et al.* Properties of Hot Nuclei in Collisions of Light Relativistic Ions with Heavy Targets // Nucl. Phys. 2014. V. 77, No. 1. P. 120.
- *Krupka J. et al.* Electrical Properties of Deuteron Irradiated High Resistivity Silicon // Nucl. Instr. Meth. B. 2014. V. 325. P. 107.

Heavy Ion Physics

Experiments aimed at studying light isotopes of flerovium (superheavy element 114) with mass numbers of 284 and 285 were for the first time carried out at JINR. The radioactive properties of five additional daughter nuclei — ^{281}Cn , ^{277}Ds , ^{273}Hs , ^{269}Sg , and ^{265}Rf — were studied in great detail. The analysis results helped determine the probability for isotope production in fusion reactions between ^{48}Ca and $^{239,240}\text{Pu}$. Both a decrease from 2 s (^{289}Fl) to 2 ms (^{284}Fl) in the half-lives of the flerovium isotopes and a more than 20-fold decrease in the probability of their production indicate that the isotopes are less stable as they get further away from the “magic” number $N = 184$. Taking this into consideration, researchers can map out the boundaries of the island of stability.

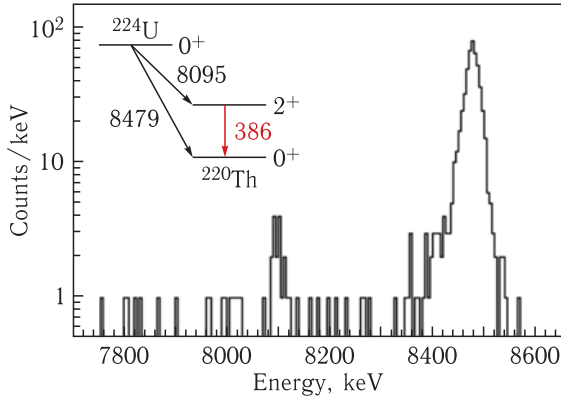


A chart of isotopes for the most heavy elements. Isotope symbols or atomic numbers, mass numbers, and half-lives are shown. The blue squares indicate nuclei synthesized at laboratories in Germany and Japan; red squares, those produced in Dubna, Russia; and white squares show nuclei under analysis in this work. The dashed lines represent "magic" numbers of protons (114) and neutrons (184) of superheavy nuclei

The studies were carried out through a collaborative effort between scientists from JINR and researchers from the USA.

- *Rykaczewski K.P. et al.* Connecting the "Hot Fusion Island" to the Nuclear Mainland: Search for $^{283,284,285}\text{Fl}$ Decay Chains // Proc. of the 2nd Conf. on "Advances in Radioactive Isotope Science" (ARIS2014), Tokyo, Japan, June 1–6, 2014 (submitted).
- *Shumeiko M.V. et al.* // Proc. of the VII Intern. Symp. on EXotic Nuclei (EXON-2014), 8–13 September, 2014, Kaliningrad, Russia (to be submitted).

Diagnostic experiments at the upgraded separator SHELS were continued in 2014. Measurements were conducted of transport coefficients of recoil nuclei synthesized in reactions with beams of ^{22}Ne , ^{40}Ar , ^{48}Ca and ^{50}Ti [1, 2]. For the first time a new multi-strip (128×128 strips) large-area (10×10 cm) detector was used. A double increase in recoil nuclei's transmission was experimentally proved. The ^{22}Ne beam experiment studied properties of the decay



The α -decay ^{220}Th spectrum. The peak corresponds to state 2^+

of the ^{224}U isotope synthesized in the full consolidation reaction $^{22}\text{Ne} + ^{206}\text{Pb} \rightarrow ^{224}\text{U} + 4n$, and properties of its decay daughter products [3]. The Figure shows the spectrum that demonstrates a new mode of α -decay at the 2^+ level of ^{220}Th .

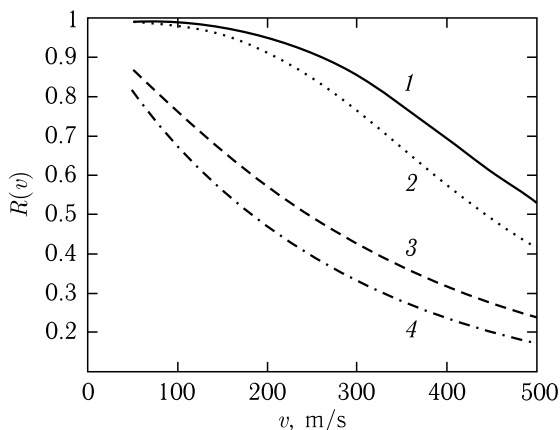
In addition, using combined electron/gamma spectroscopy, the decay of 8^+ isomer state in ^{210}Ra and the fine structure of the ^{221}Th isotope decay were studied.

The experiments with heavy ions ^{48}Ca and ^{50}Ti studied the properties of the spontaneous fission of isotopes $^{250,252,254}\text{No}$ and ^{256}Rf with a neutron detector in the focal plate of the SHELS separator. Full consolidation reactions $^{48}\text{Ca} + ^{204,206,208}\text{Pb} \rightarrow ^{250,252,252}\text{No} + 2n$, $^{50}\text{Ti} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{256}\text{Rf} + 2n$ were used. Over 1500 events of spontaneous isotope ^{256}Rf were recorded.

1. *Eremin A. et al.* First Experimental Tests of the Upgraded Separator VASILISSA // Part. Nucl., Lett. 2015. V. 12, No. 1.
2. *Eremin A. et al.* Experimental Tests of the Upgraded Separator VASILISSA (SHELS) with Accelerated Ions of ^{50}Ti // Part. Nucl., Lett. 2015. V. 12, No. 1(192). P. 74–80.
3. *Lopez-Martens A. et al.* Fine Structure in the Alpha Decay of ^{224}U // Eur. Phys. J. A. 2014. V. 50. P.132. DOI 10.1140/epja/i2014-14132-8.

Neutron Nuclear Physics

In neutron physics there is a need for reflectors both for neutron beams and for the effective neutron sources. This paper considers

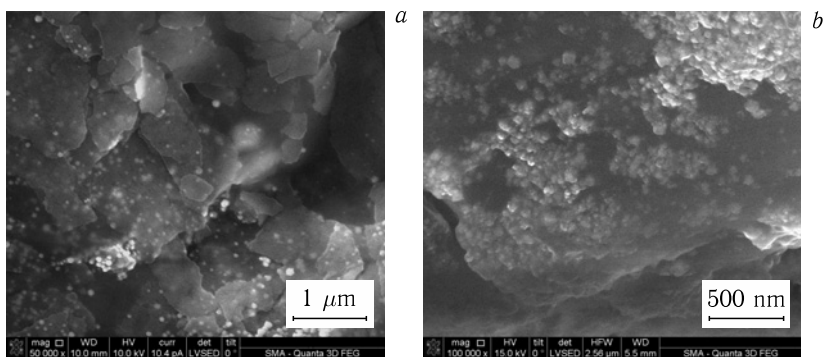


Coefficient of reflection $R(v)$ from powder with thickness $D = 3$ cm consisting of 1 – long ($a = 1000$ nm); 2 – short ($a = 10$ nm) nanorods with radius $\rho = 10$ nm at absorption parameter $C = C_0 = 6.28 \cdot 10^{-7}$; 3, 4 – same as 1, 2, but at $C = C_a = 5.2 \cdot 10^{-4}$

the reflective properties of materials consisting of nanoparticles of different shapes: spherical and cylindrical. Solid materials reflected neutron beams well either in a very narrow range of low energies of the order of $\sim 10^{-7}$ eV (~ 5 m/s), or at thermal energies of the order of ~ 0.025 eV (~ 2200 m/s). Recently, in neutron physics, biology and industry, cold neutrons with energies of $\sim 10^{-7} - 10^{-4}$ eV ($\sim 10 - 500$ m/s) have been in demand. As shown in the Figure, nanoreflectors are most effective in comparison with all those known hitherto.

- *Ignatovich V.K., Nesvizhevsky V.V. // Atomic Energy. 2014. V. 116, No. 2. P. 100–107.*

Among all microorganisms, cyanobacteria represent great interest for the obtaining of nanoparticles, as they are potential sources of new metabolites that are of great importance in the sphere of biotechnology and industry. For the development of nontoxic, environmentally friendly method for producing silver nanoparticles cyanobacteria *Spirulina platensis* and *Nostoc linckia* have been used. Silver nanoparticles were studied using a complex of optical and analytical methods. In particular, the dynamics of silver accumulation by cyanobacteria biomass was studied by neutron activation analysis at the JINR FLNP IBR-2 reactor. Photographs obtained using a scanning electron microscope (SEM) (Figure) showed that the production of silver nanoparticles by



SEM photographs of *Nostoc linckia* (a) and *Spirulina platensis* (b) with silver nanoparticles

cyanobacteria with the sizes of 10–80 nm occurs extracellularly, which is very important from the point of view of further application. The resulting biomass can be used both for industrial and medical purposes.

- *Cepoi L. et al.* // Canadian J. Microbiol. 2014. V. 14. P. 1–9.

To assess the ecological status of coastal aquatic ecosystems of the Black Sea, brown algae *Cystoseira* and phytoplankton able to accumulate macro- and microelements in high concentrations have been selected as biomonitors.

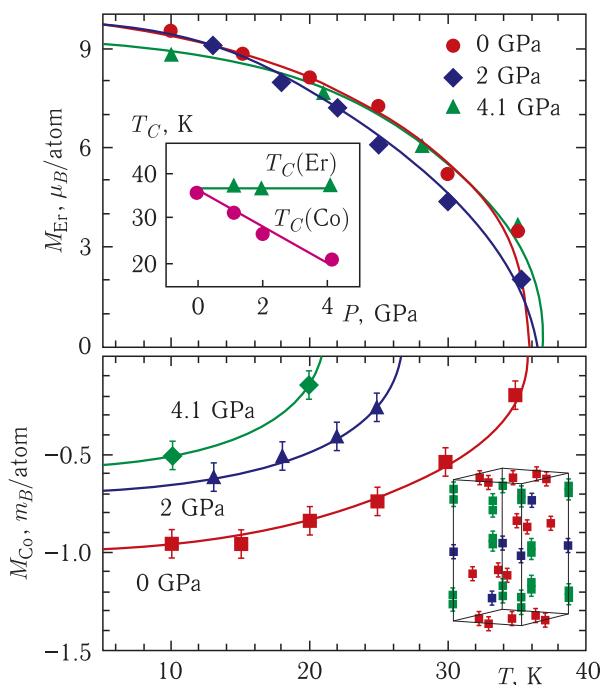
For the first time in the region being explored by means of neutron activation analysis concentrations of about 45 elements in the samples under study have been determined. The analysis of the obtained data has revealed the aquatic areas of Sevastopol region with an increased anthropogenic load and aquatic areas of the Crimea with high concentrations of elements of terrigenous origin due to the features of the geological structure of the coast [1]. Groups of elements with different sources of their inflow into phytoplankton (precipitation, terrigenous runoff, anthropogenic discharge) [2] have been distinguished. For the first time in the region being explored background concentrations of macroelements, heavy metals and arsenic in algae selected in the coastal zone of protected marine areas of the Crimea have been determined, and scientific recommendations on their use as biomonitors of aquatic ecosystems [3] have been given. The results obtained can be used for long-term monitoring of the ecological status of aquatic areas of the Crimea.

1. *Kravtsova A., Milchakova N., Frontasyeva M.* // Ecological Chemistry and Engineering S. 2014. V. 21, No. 1. P. 9–23.

2. Nekhoroshkov P.S. et al. // Am. J. Anal. Chem. 2014. V. 5. P. 323–334; <http://www.scirp.org/journal/ajac>; <http://dx.doi.org/10.4236/ajac.2014.55040>.
3. Kravtsova A., Milchakova N., Frontasyeva M. // Ecosystems, Their Optimization and Protection. 2014. V. 10. P. 146–158.

Condensed Matter Physics

Intermetallic compounds of rare-earth metals and R–Co cobalt show a wide range of interesting physical phenomena that are promising for use as materials for permanent magnets, elements of the electronic device and cooling equipment. The possibility of



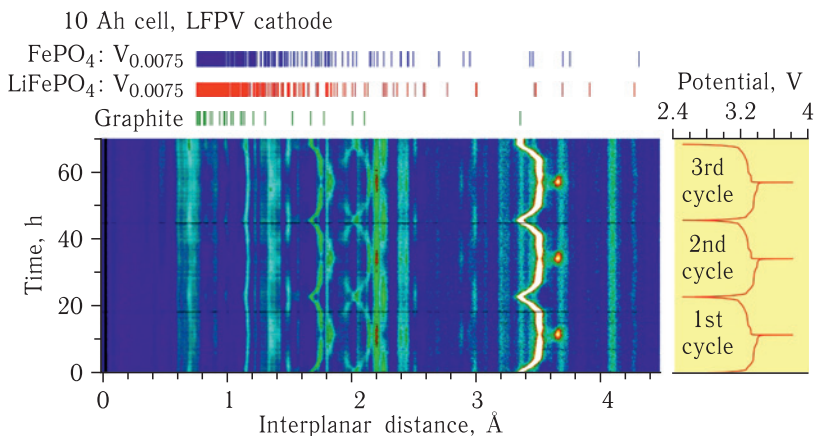
Temperature dependence of the magnetization of Er and Co sublattices in ErCo_2 at different pressures illustrating their independent behavior. The inserts show pressure dependences of Curie temperatures of Er and Co sublattices and the nature of the magnetic ordering in these compounds

controlling the properties of these materials (e.g., magnetic field) is determined by the correlation between the magnetization of R and Co sublattices.

Neutron studies of the atomic and magnetic structure of RCO_2 compounds at the variation of thermodynamic parameters have shown that the high degree of correlation is realized in the compounds with the inner magnetic field of R sublattice exceeding certain critical value $H_{\text{cr}} \sim 75$ T, and for the compounds with $H < H_{\text{cr}}$ inconsistent behavior of magnetization of R and Co sublattices is observed. The obtained results supplemented by theoretical calculations have allowed clarifying the current understanding of formation mechanisms of magnetic properties of these materials.

- *Burzo E. et al.* // J. Alloys and Compounds. 2014. V.584. P. 393–401.
- *Kozlenko D.P. et al.* // Sci. Rep. 2014 (in consideration).

Lithium batteries have become an inalienable part of our daily lives. They can now be a power source in a wide variety of devices from mobile phones to airliners. One of the most pressing scientific challenges is the creation of new functional materials allowing one to improve the characteristics and performance properties of lithium-ion rechargeable power sources. For this purpose, it is important to obtain information on the changes in



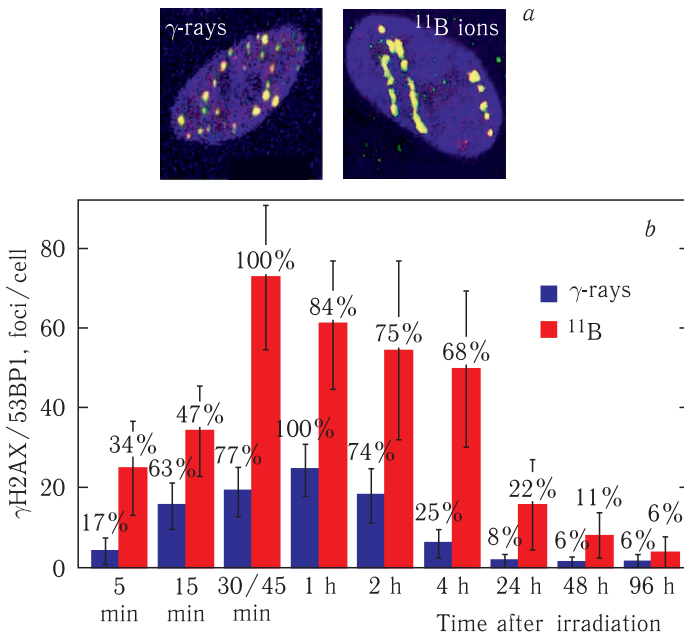
Evolution of neutron diffraction spectra obtained in the experiment on the study of the electrodes work in a V-doped LiFePO_4 -based battery. On the right, a graph of the potential change in the course of charging/discharging of the battery is shown

the micro- and crystal structure, including information acquired during operation of the battery. The study of the structural behavior of new electrode materials based on the modified LiFePO_4 directly during charging and discharging of the battery, as well as in stationary conditions was carried out using the HRFD diffractometer of the IBR-2 reactor. As a result of the experiments, phase transitions occurring in the electrodes directly during charging-discharging cycles have been studied in detail, and structural causes of improvement of their parameters have been identified. Modification of LiFePO_4 by means of vanadium doping improves conductivity by reducing the size of crystallites rather than by vanadium substitution of other ions in the crystal structure of the original cathode material, as previously assumed.

- *Bobrikov I.A. et al. // J. Power Sources. 2014. V.258. P. 356–364.*
- *Balagurov A. et al. // Uspekhi Khimii. 2014. V.83. P. 113.*

RADIATION AND RADIOBIOLOGICAL RESEARCH

A comparative analysis was performed of the induction of clustered DNA double-strand breaks (DSBs) by ^{60}Co gamma-rays and accelerated heavy ions and their repair. It was shown that for ^{11}B ion irradiation, DNA DSBs are formed along the particle track, while gamma-ray-induced lesions are uniformly distributed over the cell. The ^{11}B ions induce heavy clustered DNA damage, the repair of which is slower than for gamma irradiation (Fig. *a*). The ^{11}B ion irradiation results in a threefold yield of $\gamma\text{H2AX/53BP1}$ foci compared with gamma irradiation. The highest gamma-ray-induced foci yield was observed after 1 h of post-irradiation incubation of fibroblasts, and most of the foci ($\sim 75\%$) were eliminated during 4 h (Fig. *b*). In the cells irradiated with ^{11}B ions, the highest yield of $\gamma\text{H2AX/53BP1}$ foci was observed after 45 min of post-irradiation incubation. Unlike gamma-rays, in the cells irradiated with ^{11}B ions, 4 h after irradiation the number of foci decreased to 68%. Elimination of 78% of the foci was observed only after 24 h of post-irradiation incubation. The research was performed to study the mechanisms of the action of heavy charged particles of space origin on biological objects — the key problem of space radiobiology.



a) Visualization of DNA DSBs in fibroblast nuclei by immunocytochemical staining. b) Kinetics of the formation and elimination of the $\gamma\text{H2AX}/53\text{BP1}$ foci (the γH2AX histone and 53BP1 repair protein – DNA DSB markers) for ^{60}Co gamma-ray and accelerated ^{11}B ion exposure

- *Jeřková L. et al.* Function of Chromatin Structure and Dynamics in DNA Damage, Repair and Misrepair: γ -Rays and Protons in Action // *Appl. Radiat. Isot.* 2014. V. 83. P. 128–136.
- *Falk M. et al.* Primary and Secondary Clustering of DSB Repair Foci and Repair Kinetics Compared for γ -Rays, Protons of Different Energies, and High-LET ^{20}Ne Ions // *J. Radiat. Res.* 2014. V. 55. Suppl.1. P. i79–i80. DOI: 10.1093/jrr/rrt210.
- *Falk M. et al.* Chromatin Differentiation of White Blood Cells Decreases DSB Damage Induction, Prevents Functional Assembly of Repair Foci, but Has No Influence on Protrusion of Heterochromatic DSBs into the Low-Dense Chromatin // *J. Radiat. Res.* 2014. V. 55. Suppl. 1. P. i81–i82. DOI:10.1093/jrr/rrt194.
- *Falk M. et al.* Primary and Secondary Clustering of DSB Repair Foci and Repair Kinetics Compared for γ -Rays, Protons of Different Energies, and High-LET

Research has been continued on the synthesis of chemical compounds from formamide NH_2COH (an HCN hydrolysis product) under exposure to radiations with different linear energy transfer. Synthesis reactions occurred under irradiation with accelerated protons and ^{11}B and ^{12}C ions in the presence of catalysts obtained from meteorites of different classes. Based on the performed experiments, a conclusion was made that in the system “formamide + meteorite matter + ionizing radiation” prebiotic compounds are produced in noticeable amounts up to nucleosides — the main RNA and DNA building blocks. Examples of all molecule

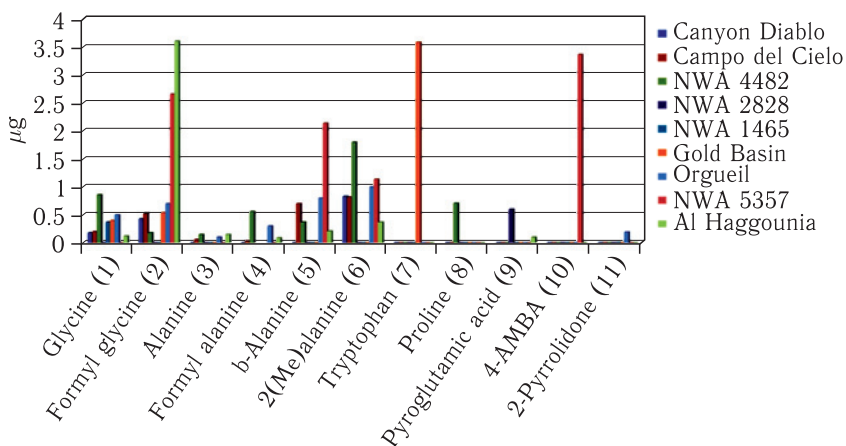


Fig. 1. Data on the production of amino acids

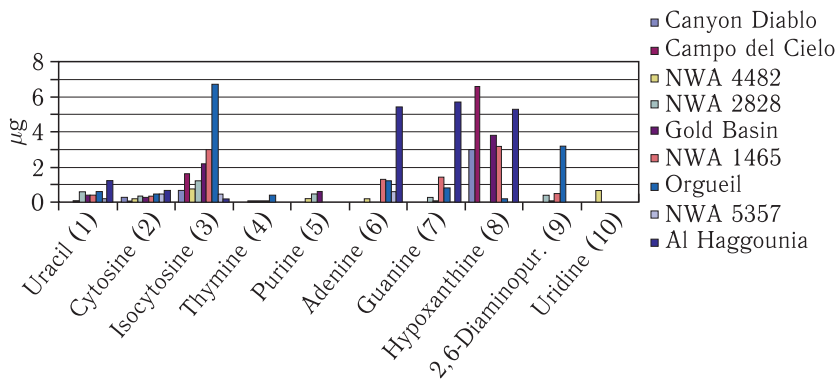


Fig. 2. Data on the production of nucleic bases and nucleosides

classes necessary for the origination of life on Earth were produced: carboxylic acids, amino acids (Fig. 1), sugars, nucleic bases, nucleosides (Fig. 2), and other complex compounds. These studies bring closer the solution of the problem of the origin of life.

- *Saladino R. et al.* Meteorite-Catalyzed Syntheses of Nucleosides and of Other Prebiotic Compounds from Formamide under Proton Irradiation // J. PNAS. 2015. DOI: 10.1073/pnas. P. 1–9 (in press).

ACCELERATOR TOPICS

The double user operational mode was realized as a routine regime during the Nuclotron run #49. The circulation of the coasting (structureless) beam was realized at consequent plateaus of the magnetic field. At the first plateau the beam was used for internal target experiment, at the second plateau the slow extraction was realized.

The first operation of the new stand heavy ion source KRION-6T was performed at the Nuclotron accelerator complex. The optimization of the source and linac LU-20 regimes was provided for generation of a few ion species. The experimental results required for further development of the source were obtained. Accelerated Ar beams were delivered for users.

The working area for serial production and tests of superconducting magnets was created. It includes the workshop for the cable production, the workshop for fabrication of the superconducting coils, the line for the magnet assembly, magnetic measurements, vacuum and cryogenic tests. The pre-serial version of the Booster dipole magnet was assembled and tested.

In 2014, the JINR DLNP scientists acquired an RF patent for the invention of a precision laser inclinometer. This product is a result of development effort in the field of technical physics, and it can be used for stabilizing the position of large-sized research facilities or industrial equipment on the earth surface. The precision laser inclinometer allowed the position of large-scale industrial or research complexes such as the International Linear Collider (ILC), modern telescopic systems, etc., to be better stabilized under the earth and industrial seismic noise and surface seismic waves to be detected.

- *Batusov V., Budagov J., Lyablin M.* A Laser Sensor of a Seismic Slope of the Earth Surface // Phys. Part. Nucl., Lett. 2013. V. 10, No. 1. P. 43–48.

- *Budagov J., Lyablin M., Shirkov G.* The Search for and Registration of Superweak Angular Ground Motions. JINR Preprint E18-2013-107. Dubna, 2013.
- *Budagov J.A., Lyablin M.V.* Patent for Invention No. 2510488 “A Device to Measure Incination Angle”.

INFORMATION TECHNOLOGY AND COMPUTER PHYSICS

A new grid and cloud services simulation for NICA accelerator complex data storage and processing system has been developed. This system is focused on improving the efficiency of the grid–cloud systems development by using work quality indicators of some real system to design and predict its evolution. For these purposes the simulation program is combined with real monitoring system of the grid–cloud service through a special database. An example of the program usage to simulate a sufficiently general cloud structure, which can be used for more common purposes, is given.

- *Korenkov V. V. et al.* // *Comp. Res. Model.* 2014. V. 6, No. 5.

A comparative analysis of packages for modeling of cloud infrastructures such as CloudSim, iCanCloud, CReST has been done. These program packages allow developing the models of cloud systems with particular functionality and configuration. The model is launched for simulation and, as a result, the modeling systems provide statistical information on the most important features: execution time, virtual machine life cycle, the use of recourses. Analyzing this information, the developer can detect bottle neck in the model and provide for solution, the realization of which allows control by means of the following simulation iteration.

- *Korenkov V.V., Muravyev A.N, Nechaevsky A.V.* // *Electronic Journal “System Analysis in Science and Education”.* 2014. No. 2.

Approaches for content integration and interoperability of information systems, accompanying research at JINR, namely, server scientific documents JINR Document Server (JDS), information-analytical system “Personal Information of JINR employees” (PIN) and tools for the scientific activities management Indico have been developed. The main goal of this investigation is complete automation of research activities of JINR based on Internet technology.

- *Zaikina T.N. et al.* // Proc. of XVI All-Russian Scientific Conf. RCDL-2014, Dubna, 2014. P. 349.

On the basis of Kalman filter-based track reconstruction algorithm an online track reconstruction in the CBM experiment (GSI, Germany) algorithm has been developed. The problem of online track reconstruction can be solved only by using modern high-performance computers. Therefore, there is a need to use parallel programming technologies adapted to the hybrid computing architectures. To perform numerical analysis, a manycore hybrid server with two Intel Xeon X5660 CPUs and an NVIDIA GTX 480 GPU (JINR LIT) was used.

- *Ablyazimov T.O. et al.* // Phys. Part. Nucl., Lett. 2014. V. 11, No. 4. P. 828.

A FORTRAN 77 program POTHEA is developed for calculating with a predetermined accuracy of eigenvalues, surface eigenfunctions and their first derivatives with respect to a parameter of the parametric self-adjointed 2D elliptic partial differential equation with the Dirichlet and/or Neumann-type boundary conditions in a finite two-dimensional region. The program also calculates potential matrix elements that are integrals of the products of the surface eigenfunctions and/or the first derivatives of the surface eigenfunctions with respect to a parameter. Eigenvalues and matrix elements computed by the POTHEA program can be used for solving the bound state and multichannel scattering problems for a system of the coupled second-order ordinary differential equations with the help of the KANTBP Benchmark.

- *Gusev A.A. et al.* // Comp. Phys. Commun. 2014. V. 185. P. 2636–2654.

A numerical investigation of complexes of localized states has been performed in two dynamical systems: a directly driven nonlinear Schrödinger equation (NLS) and a double sine-Gordon equation (2SG). Both systems have a wide range of physical applications. In both cases, the numerical approach is based on a numerical continuation with respect to the control parameters of the quiescent (stationary) solutions and stability and bifurcation analysis of the linearized eigenvalue problem. Multisoliton complexes of the NLS equation are studied in the undamped and weak damping regimes. It has been shown that in the weak

damping case the directly driven NLS equation holds stable and unstable multisoliton complexes. The obtained numerical results are confirmed by means of direct numerical simulations of the time-dependent NLS equation. The properties of the multifluxon solutions of 2SG equation are studied depending on the parameter of the second harmonic. It is shown that the second harmonic changes properties and increases the complexity of coexisting static fluxons of 2SG equation.

- *Zemlyanaya E. V., Alexeeva N. V., Atanasova P. Kh.* // Bull. of Peoples' Friendship University of Russia. Ser. Mathematics, Informatics, Physics. 2014. No. 2. P. 363.

The unitary $U(d)$ -equivalence relation between elements of the space \mathbb{R}_+ of mixed states of d -dimensional quantum system defines the orbit space $\mathbb{R}_+/U(d)$ and provides its description in terms the ring $\mathbb{R}[\mathbb{R}_+]^{U(d)}$ of $U(d)$ -invariant polynomials. It is proved that the semi-algebraic structure of $\mathbb{R}_+/U(d)$ is determined completely by two basic properties of density matrices, their semi-positivity and hermicity. Particularly, it is shown that the Processi–Schwarz inequalities in elements of integrity basis for $\mathbb{R}[\mathbb{R}_+]^{U(d)}$ defining the orbit space, are identically satisfied for all elements of \mathbb{R}_+ .

- *Gerdt V., Khvedelidze A., Pali Yu.* // J. “Notes of PDMI”. 2014. V. 421. P. 68–80.

Matrix-valued functional integrals generated by solutions of the Dirac equation are considered. These integrals are defined on one-dimensional continuous paths $x: |s, t| \rightarrow \mathbb{R}$ and take values in the space of complex $d \times d$ matrices. Matrix-valued integrals are widely used in relativistic quantum mechanics for research on particles in an electromagnetic field. Namely, the integrals are applied to represent the fundamental solution of the Cauchy problem for the Dirac equation. A method of approximate evaluation of matrix-valued integrals has been proposed. This method is based on the expansion of functional into a series. The terms of the series have a form of a product of linear functionals with increasing total power. The proposed method can be used in case of small and large parameters included in the integral.

- *Ayryan E. A., Malyutin V. B.* // Bull. of Peoples' Friendship University of Russia, Series Mathematics, Informatics, Physics. 2014. No. 1. P. 43.

JINR UNIVERSITY CENTRE

In 2014, 422 students and postgraduate students from the basic chairs of MSU, MIPT, MIREA, “Dubna” University and universities of JINR Member States were trained at the University Centre. JINR postgraduate courses were attended by 37 people from Armenia, Belarus, Germany, Kazakhstan and RF.

Under JINR UC two new structures were established: Engineering Research Team and Department of Development and Implementation of Educational Programmes.

In 2014, the Summer Student Practice in JINR Fields of Research was held in three stages; 140 people from Belarus, Bulgaria, Egypt, Poland, Romania, Serbia, Slovakia, the Czech Republic and Republic of South Africa participated in it.

In 2014, a new summer student program was opened at JINR. After competitive selection 8 undergraduate and postgraduate students from RF, Egypt, Poland, Cuba and the Czech Republic for the period of 6–8 weeks, from June to September, carried out their research projects in JINR laboratories.

To enhance cooperation between JINR and the Czech Republic, a new program was launched. It allows undergraduate and postgraduate students to participate in fundamental and applied research in the scientific centers of the Czech Republic.

The annual Scientific School for Teachers of Physics from JINR Member States in Dubna was held in June in two stages: the first one — for 26 teachers of physics from RF, Belarus and Bulgaria, and their 12 school students; the second one — for 20 teachers of physics from Moscow. The programme included lectures on the current research by the leading JINR staff, visits to the laboratories and basic facilities, video conferences with CERN. In November, 42 teachers of physics from RF, Armenia, Belarus, Kazakhstan and Ukraine participated in the School at CERN.

In the summer of 2014, 25 students specializing in natural sciences and engineering participated in the Physics Workshop “105th Element”, in the framework of “Russian Reporter” Summer School held in Dubna. The Workshop programme included lectures and visits, as well as hands-on activities. The participants visited JINR basic facilities, carried out projects, and participated in a video conference with CERN.

At the beginning of January 2014, an international scientific-practical conference “Flerov Readings-2014” was organized for school students and first-year university students.

JINR UC participated in the organization of activities for children and adults “Day of Physics”, organized video conferences with schools and universities of the RF cities, and also gave lectures and excursions for school students and students from Russia, Germany and Poland.

PRIZES

The Presidium of the Russian Academy of Sciences awarded Doctor of Physics and Mathematics Igor Anatolievich Golutvin (the Joint Institute for Nuclear Research) with the Prize after P.A. Cherenkov of 2014, for his outstanding contribution into successful implementation of the CMS experiment at CERN in the position of the leader of the RDMS CMS collaboration.

GENERAL DATA ON THE NUMBER OF PUBLICATIONS BY JINR STAFF MEMBERS (from 14.12.2013 to 05.12.2014)

- Books — 19:

Akimov Yu.K. Photon Methods for Radiation Detection. — Second edition, corr. and suppl. — Dubna: JINR, 2014. — 324 p.: ill. — (JINR; 2013-65). — Bibliogr.: p. 281–323.

Bilenkij S.M. Introduction to Feynman Diagrams and Physics of Electroweak Interaction. — Second ed. — M.: URSS, 2014. — 325, [1] p.: ill. — Bibliogr.: p. 323–324.

Bilenkij S.M. Introduction to Scattering Theory. — Second ed. — M.: URSS, 2014. — 96 p.: ill.

Isaev P.S. We Fought for Our Homeland: Memoirs. — Dubna: JINR, 2014. — 173, [3] p.: ill. — (JINR; 2014-4). — Heading: Joint Institute for Nuclear Research.

Kozlov G.A., Matveev V.A., Savrin V.I. On Benefits of Participation in Programmes of High Energy Elementary Particle Physics. — Dubna: JINR, 2014. — 49, [2] p.: colour. ill. — (JINR; 2014-49). — Bibliogr.: p. 49[50].

55 Years of Space Radiobiology: (to the 50th Anniversary of SSC RF – IMBP RAS) / Yu.G. Grigoriev, I.B. Ushakov,

E. A. Krasavin, B. I. Davydov, A. V. Shafirkin and Institute of Medical and Biological Problems (Moscow). — M.: Ekonomika, 2013. — 304 p.: ill. — Bibliogr.: p. 283–302.

Meshkov I. N., Chirikov B. V. Electromagnetic Field. P. 1. Electricity and Magnetism. — Second edition, corr. and suppl. — M.; Izhevsk: SRC “Regular and Chaotic Dynamics”, 2013. — 544 p.: ill. — Bibliogr.: p. 535–536.

Meshkov I. N., Chirikov B. V. Electromagnetic Field. P. 2. Electromagnetic Waves and Optics. — Second edition, corr. and suppl. — M.; Izhevsk: SRC “Regular and Chaotic Dynamics”, 2013. — 415 p.: ill. — Bibliogr.: p. 409–411.

Nikitenko Yu. V., Syromyatnikov V. G. Reflectometry of Polarized Neutrons. — M.: Fizmatlit, 2013. — 218 p.: ill. — Bibliogr.: p. 208–218.

Orelovich L. N. A Notebook Found in a Bed-Side Chest at a Hotel in Dubna: to the 80th Anniversary of the Birthday of Andrej Voznesensky. Preface: K. Kedrov. — M.: Lazur, 2014. — 224 p.: ill.

Samoilov V. N., Furasov V. D. Dynamics of Development of RF Regions. Development Indices. — Dubna: JINR, 2013. — 449 p.: ill. — (JINR; 2013-102). — Bibliogr.: p. 447–449.

Saha B. Spinor Field in the Universe Evolution: Spinor Field as a Source of Isotropization and Speeded Expanding of the Universe. — Saarbrücken: Lambert Acad. Publ., 2011. — 244 p.: ill. — Bibliogr.: p. 229–244.

Strokovsky E. A. Lectures of the Essentials of Kinematics of Elementary Processes: Manual. — Second ed. with updates and suppl. — M.: MAKS Press, 2013. — 346 p.: ill. — Bibliogr.: p. 336–346. — Heading: Moscow State University after Lomonosov. Scientific Research Institute of Nuclear Physics after D. V. Skobeltsyn.

Uzikov Yu. N. Introduction into Quantum Theory of Collisions: Manual. — M.: Physics Department MSU, 2014. — 224 p. — Bibliogr.: p. 220–223. — Heading: Physics Department MSU after M. V. Lomonosov. Elementary Particle Physics Chair.

Ulyanov S. V., Reshetnikov G. P. Technology of Intellectual Calculations. Soft and Fraction Calculations in Intellectual Management: Manual. — Dubna: JINR, 2013. — 244 p.: ill. — (Study Guides of the JINR University Centre. UC; 2013-54). — Bibliogr.: end of chapters.

Fursaev D.V. Introduction into Gravitation Theory and Its Application: Manual. — International University of Nature, Society and Man “Dubna”, Department of Natur. and Engineering Sciences, Chair of Theor. Physics. — Dubna: the International University of Nature, Society and Man “Dubna”, 2013. — 79 p. — Bibliogr.: end of chapter.

Dinev D. High Energy Heavy Ion Accelerator: Textbook. — Dubna: JINR, 2013. — 106 p.: ill. — Bibliogr.: p. 102–106.

Pervushin V.N., Pavlov A.E. Principles of Quantum Universe. — Saarbrücken: Lambert Acad. Publ., 2014. — 480 p.: ill. — Bibliogr.: end of chapters.

Pontecorvo B. Selected Scientific Works: Recollections on Bruno Pontecorvo / Ed.: S.M. Bilenky, T.D. Blokhintseva, L. Cifarelli, V.A. Matveev, I.G. Pokrovskaya, M.G. Sapozhnikov. — 2nd ed. — Bologna: Societa Italiana di Fisica, 2013. — VIII, 615 p.: ill. — Complete Bibliogr. of B. Pontecorvo: p. 583–603.

- Papers in Journals — 832
- Publications in Proceedings of Conferences — 486
- Preprints — 95
- Theses Abstracts — 18
- Total: 1450

Содержание/Contents

Теоретическая физика	3
Экспериментальная физика	4
Физика частиц	4
Релятивистская ядерная физика	8
Физика тяжелых ионов	9
Нейтронная ядерная физика	12
Физика конденсированных сред	14
Радиационные и радиобиологические исследования	16
Ускорительная тематика	19
Информационные технологии и вычислительная физика	20
Учебно-научный центр	23
Премии	24
Общие данные о количестве публикаций сотрудников ОИЯИ	25
Theoretical Physics	27
Experimental Physics	28
Particle Physics	28
Relativistic Nuclear Physics	32
Heavy Ion Physics	33
Neutron Nuclear Physics	35
Condensed Matter Physics	38
Radiation and Radiobiological Research	40
Accelerator Topics	43
Information Technology and Computer Physics	44
JINR University Centre	47
Prizes	48
General Data on the Number of Publications by JINR Staff Members	48

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

Подписано в печать 9.02.2015.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 3,6. Тираж 230 экз. Заказ № 58464.

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

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/