



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2009-26

**КРАТКИЙ ОБЗОР
ВАЖНЕЙШИХ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В 2008 ГОДУ**

Дубна 2009

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Поправки к полной ширине ортопозитрония порядка $O(\alpha)$ и $O(\alpha^3 \ln(\alpha))$ получены в замкнутой аналитической форме, позволяющей вычислить эти поправки с произвольной точностью. Результат воспроизводит лучшие численные оценки в пределах их точности. Ортопозитроний является системой, удобной для прецизионной проверки справедливости квантовой электродинамики, и играет важную роль в атомной физике и физике элементарных частиц. Полученные в работе результаты имеют фундаментальное значение.

- *Kniehl B. A., Kotikov A. V., Veretin O. L. // Phys. Rev. Lett. 2008. V.101. P.193401.*

Предложен новый непертурбативный механизм для потери энергии быстрым партоном в кварк-глюонной плазме (КГП) при температуре выше температуры деконфайнмента, обусловленный взаимодействием партона со скалярными и псевдоскалярными глюоблами в КГП. Показано, что этот механизм может играть доминирующую роль в наблюдаемом подавлении выхода струй в ядро-ядерных взаимодействиях.

- *Min D. P., Kochelev N. I. // Phys. Rev. C. 2008. V.77. P.014901.*

Определены неканонические духовые и антидуховые переменные для нелинейных алгебр типа W -алгебр. В терминах этих переменных построен БРСТ-оператор для W_3 - и $W_3^{(2)}$ -алгебр, имеющий каноническую кубическую форму. Некоторые ингредиенты БРСТ-конструкции для квантовых алгебр Ли применены для более широкого класса квадратичных алгебр связей. Важной чертой этой конструкции является использование неканонической алгебры духов, которая в общем случае представляется алгеброй Николса, определяемой с помощью специальных элементов (элементов перетасовок) в кольце группы кос. В этом

кольце построены мультипликативные аналоги элементов перетасовок, с помощью которых строятся новые градуированные ассоциативные алгебры («*b*-shuffle» алгебры).

- *Isaev A. P., Krivonos S. O., Ogievetsky O. V.* // J. Math. Phys. 2008. V. 49. P. 073512.

Развит сеточный метод изучения многоканального рассеяния атомов в волноводах с гармоническим удерживающим потенциалом. Метод использован для анализа поперечных возбуждений и девозбуждений, а также процессов резонансного рассеяния. Исследованы столкновения одинаковых и различных атомов как бозонного, так и фермионного типов в гармонических ловушках, допускающих отделение движения центра масс. В пределе нулевой энергии и в режиме единственной моды хорошо воспроизводятся известные индуцированные конфайнментом резонансы в бозонных, фермионных и гетероядерных столкновениях. Кроме того, были идентифицированы и проанализированы последовательности резонансов Фешбаха. В многоканальном рассеянии выявлен дуальный индуцированный конфайнментом резонанс, вызывающий полное квантовое подавление рассеяния атомов. Среди возможных приложений метода — столкновения атомов в атомных волноводах и рассеяние электронов на примесях в квантовых проволоках.

- *Saeidian Sh., Melezhik V. S., Schmelcher P.* // Phys. Rev. A. 2008. V. 77. P. 042721.

В рамках теоретико-полевой модели исследованы электронные свойства графена с семи- или восьмиугольными кольцами. Поверхность графена с введенными топологическими дефектами считается «конусом с отрицательной кривизной» с бесконечной отрицательной (гауссовой) кривизной в центре. Вычислена плотность состояний для случаев одного семи- и восьмиугольника, а также для пары семиугольников с различной морфологией. Плотность состояний при энергии Ферми равна нулю для всех случаев, кроме двух семиугольников с ненулевым фактором трансляции.

- *Колесников Д. В., Осипов В. А.* // Письма в ЖЭТФ. 2008. Т. 87. С. 487.

Сформулирован новый подход к исследованию сильно коррелированных электронных систем. В отличие от прежних методов предлагаемый подход контролируемым образом учитывает локальные электрон-электронные корреляции. В рамках предложенного подхода установлена связь t - J -модели сильно коррелированных электронов и решеточной модели Гейзенберга–Кондо тяжелых фермионов. В рамках этого соответствия качественно объяснены недавние экспериментальные результаты о кроссовере ферми-поверхности в высокотемпературных сверхпроводниках.

- *Pepino R., Ferraz A., Kochetov E. A. // Phys. Rev. B. 2008. V. 77. P. 035130.*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА

Физика частиц

В рамках эксперимента NA48/2 (ЦЕРН, SPS) на основе данных, полученных в 2003–2004 гг., при значительном вкладе сотрудников ОИЯИ проведен анализ $\sim 60 \cdot 10^6$ распадов $K_{3\pi}(K^\pm \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^\pm)$ и $\sim 10^6$ распадов $K_{e_4}(K^\pm \rightarrow \pi^+ e^+ e^- \gamma)$. Извлечены значения a_0 и a_2 для длины S -волны $\pi\pi$ -рассеяния с изотопическим спином 0 и 2 с экспериментальной погрешностью в несколько процентов, что в 3 раза превышает результаты предыдущих измерений и дает возможность для проведения прецизионной проверки предсказаний киральной пертурбативной теории. Этот результат был признан наиболее значимым в ЦЕРН за 2008 г.

- *Batley J. R. et al. First Observation and Measurement of the Decay $K^+ \rightarrow \pi^+ e^+ e^- \gamma$ // Phys. Lett. B. 2008. V. 659. P. 493–499; arXiv:0711.4313 [hep-ex].*

Коллаборацией COMPASS (ЦЕРН–ОИЯИ) завершен анализ по измерениям асимметрий Коллинза и Сиверса для идентифицированных адронов, рожденных в глубоконеупругом рассеянии μ^+ с энергией 160 ГэВ на поперечно-поляризованной мишени ${}^6\text{LiD}$ [1]. Обе асимметрии оказались сравнимы с нулем в статистических ошибках, что находится в согласии с ожидаемой компенсацией между u - и d -кварками.

Определена поляризация глюонов в нуклоне в распадах D^0 -мезонов [2]. В лидирующем порядке (ЛП) КХД среднее значение поляризации глюонов составило $\langle \Delta g/g \rangle x = -0,49 \pm 0,27$ (стат.) $\pm \pm 0,11$ (сист.) для $\langle x_g \rangle \approx 0,11$.

Получены предварительные результаты по поляризованным партонным распределениям в ЛП КХД из данных, набранных в 2002–2006 гг. [3]. Найдено, что величина $(\Delta u_v + \Delta d_v)$ положительна и малочувствительна к использованному в анализе виду функций фрагментации; $(\Delta u_v\text{-bar} + \Delta d_v\text{-bar})$ и $x\Delta s$ сравнимы с нулем.

1. *Alexeev M. et al.* Collins and Sivers Transverse Spin Asymmetries for Pions and Kaons on Deuterons. CERN-PH-EP/2008-002, hep-ex/0802.2160; PLB (submitted).
2. *Alexeev M. et al.* Direct Measurement of the Gluon Polarisation in the Nucleon via Charm Meson Production. CERN-PH-EP/2008-003, hep-ex/0802.3023.
3. *Santos H.* (on behalf COMPASS). New COMPASS results on SIDIS'. Talk given in PANIC 2008, International Conference on Particles and Nuclei, Eilat, Israel, November 9–14, 2008.

Специалисты ОИЯИ приняли активное участие в тестовом запуске ускорительного комплекса ЛHC (ЦЕРН) и физических установок ATLAS, CMS и ALICE. В частности, успешно осуществлен запуск системы подавления поперечных когерентных колебаний пучка в ЛHC.

- *Baudrenghien P. et al.* LHC Transverse Feedback System and its Hardware Commissioning // Proc. of the 11th European Particle Accelerator Conference, 23–27 June 2008, Genoa. P. 3266–3268.
- *Gorbachev E. V. et al.* LHC Transverse Feedback System: First Results of Commissioning // Proc. of the XXI Russian Particle Accelerator Conference, 28 September–3 October 2008, Zvenigorod. P. 97–100.

- *Gorbachev E., Lebedev N., Zhabitsky V.* Implementing Elements of Digital Transverse Feedback System in Altera FPGA // *Ibid.* P. 6–8.

На статистике $3,0 \text{ фб}^{-1}$ экспериментами **CDF** и **D0** с 95 %-й вероятностью установлены верхние пределы на сечение рождения бозона Хиггса для масс $m_H = 165, 170$ и 175 ГэВ. Эти пределы в 1,2, 1,0 и 1,3 раза выше, чем сечение образования бозона Хиггса, предсказанное стандартной моделью. В результате, с 95 %-й вероятностью исключено рождение бозона Хиггса из стандартной модели в области массы $m_H = 170$ ГэВ. Эти результаты существенно увеличивают значимость индивидуальных пределов, полученных независимо на CDF и D0, и обеспечивают новые данные для области допустимых масс бозона Хиггса в рамках стандартной модели за пределами прямых измерений LEP. Группой ОИЯИ также улучшена точность измерения значения массы топ-кварка: $M_{\text{top}} = 165,5 \pm 3,4/3,1(\text{стат.}) \pm 3,1(\text{сист.})$ ГэВ/ c^2 (при $2,9 \text{ фб}^{-1}$ интегральной светимости).

- *Suslov I. et al.* Top Quark Mass Measurement in the 2.8 fb^{-1} Tight Lepton and Isolated Track Sample. CDF Note Number: CDF/PHYS/TOP/PUBLIC/9456, 2008.
- *Suslov I. et al.* Top Quark Mass Measurement in the 2.9 fb^{-1} Tight Lepton and Isolated Track Sample using Neutrino ϕ Weighting Method. JINR Commun. E1-2008-173. Dubna, 2008.
- *The CDF Collaboration.* Combined Upper Limit on Standard Model Higgs Boson Production for Summer 2008. CDF note 9502.

В совместном (INFN–ОИЯИ) эксперименте **BOREXINO** (Гран-Сассо, Италия) получен первый результат по потоку бериллиевых нейтрино, основанный на анализе 47 сут живого времени детектора, с систематической ошибкой около 25 %, возникшей в основном из-за неточности определения активной массы детектора. Поток нейтрино от ${}^7\text{Be}$ за 192 сут живого времени составил $49 \pm 3(\text{стат.}) \pm 4(\text{сист.})$ соб./сут/100 т сцинтиллятора. Сиг-

нал, ожидаемый в стандартной модели солнца с высокой металличностью, составляет 74 ± 4 соб./сут/100 т, эффект MSW-LMA уменьшает ожидаемую скорость счета до 48 ± 4 соб./сут/100 т. Гипотеза отсутствия осцилляций несовместима с измерением на уровне 4σ . Другим интересным результатом является получение ограничения на магнитный момент нейтрино: $\mu_\nu < 5,4 \cdot 10^{-11} \mu_B$ с 90 %-й вероятностью.

- *Belini G. et al.* (BOREXINO collaboration). First Real Time Detection of ${}^7\text{Be}$ Solar Neutrinos by BOREXINO // Phys. Lett. B. 2008. V. 658. P. 101–108.
- *Arpesella C. et al.* (BOREXINO collaboration) Direct Measurement of the ${}^7\text{Be}$ Solar Neutrino Flux with 192 Days of BOREXINO Data. arXiv:0805.3843 [astro-ph]; Phys. Rev. Lett. (submitted).

Релятивистская ядерная физика

В рамках сотрудничества ОИЯИ–GSI (Дармштадт, Германия) завершено создание первых полномасштабных дипольного и квадрупольного магнитов нуклотронного типа для быстроциклирующего сверхпроводящего синхротрона SIS100 ускорительного комплекса FAIR. Работа выполнена в рамках программы FP6 при финансовой поддержке Евросоюза.

- *Kovalenko A. et al.* Full Size Magnets for Heavy Ion Superconducting Synchrotron SIS100 at GSI: Status of Manufacturing and Test at JINR // EPAC’08, paper WEPD017, Genoa, Italy, June 23–27, 2008.

В рамках программы развития базовых установок ОИЯИ проведен цикл работ по модернизации ускорительного комплекса ОИЯИ, осуществляемых по проекту «**Нуклотрон-М**», проведена модернизация и обновление вакуумной системы сверхпроводящего синхротрона, позволившее улучшить значение вакуума в пучковой камере почти на два порядка.

Коренной реконструкции и модернизации подвергнут комплекс криогенного обеспечения ускорителя и эксперименталь-

ных криогенных стендов лаборатории. Работы проведены в тесном сотрудничестве с предприятиями «Гелиймаш» и «Криогенмаш».

- *Trubnikov G. et al.* Project of the Nuclotron-Based Ion Collider Facility (NICA) at JINR // Proc. of the 11th European Particle Accelerator Conference, 23–27 June 2008, Genoa, Italy.
- *Butenko A. V. et al.* Status of the Nuclotron. Nuclotron-M project // Proc. of the XXI Russian Particle Accelerator Conference, 28 September – 3 October 2008, Zvenigorod.

Физика тяжелых ионов

Значительные успехи достигнуты в экспериментах по изучению химических свойств сверхтяжелых элементов с $Z = 112$ и 114 , выполненных под руководством академика РАН Ю. Ц. Оганесяна и профессора С. Н. Дмитриева. Полученные данные указывают, что элемент 112 подобен более легкому аналогу — ртути, в то время как элемент 114 проявляет отклонение от тенденций группы IVa и образует с поверхностью золота слабую физическую адсорбционную связь подобно благородным газам. Это наблюдение является первым указанием на влияние релятивистских эффектов на свойства наиболее тяжелых элементов Периодической системы элементов Д. И. Менделеева.

- *Dmitriev S. N.* Synthesis, Chemical Identification and Study of Properties of Superheavy Elements // Book of Abstracts Seventh International Conference on Nuclear and Radiochemistry, 24–29 August 2008, Budapest, Hungary. P. 41.
- *Eichler R. et al.* Gas Phase Chemistry of Element 114. To be published in «Nature».

Ядерная физика низких и промежуточных энергий

При участии специалистов ОИЯИ в подземной лаборатории Modane (LSM, Франция) создан детектор NEMO-3 для поиска двойного безнейтринного бета-распада ($0\nu\beta\beta$), который является

одним из свидетельств наличия новой физики за пределами стандартной модели. Главная особенность проекта NEMO — чувствительность на уровне $(0,8-1,3)/(1,4-2,2)$ эВ к эффективной массе нейтрино $(T_{1/2}^{0\nu\beta\beta}({}^{100}\text{Mo}) \sim 5,8 \cdot 10^{23} \text{ лет}) / (T_{1/2}^{0\nu\beta\beta}({}^{82}\text{Se}) \sim 2,1 \cdot 10^{23} \text{ лет})$. Здесь были получены новые пределы двойного бета-распада: для ${}^{150}\text{Nd}$ $T_{1/2}^{2\nu\beta\beta}({}^{150}\text{Nd}) = (0,92 \pm 0,025 / 0,022(\text{стат.}) \pm \pm 0,72(\text{сист.})) \cdot 10^{19}$ лет и для ${}^{96}\text{Zr}$ $T_{1/2}^{2\nu\beta\beta}({}^{96}\text{Zr}) = (2,3 \pm 0,2(\text{стат.}) \pm \pm 0,3(\text{сист.})) \cdot 10^{19}$ лет.

- *Nasteva I. et al.* Neutrinoless double beta decay search with the NEMO 3 experiment. arXiv:0810.0637.

Нейтронная ядерная физика

На пучке реактора ILL (Франция) проведены измерения «малого нагреха» УХН на образцах меди, тефлона и алмазоподобного углерода. Измерены спектры нагретых нейтронов при энергиях от УХН до тепловых, а также эволюция во времени спектров УХН в ловушке. Разработан метод «калиброванных поглотителей» для измерения спектров нейтронов. В качестве поглотителей применялись монокристаллические пластины кремния и родиевые фольги. Спектры нейтронов определялись из кривых поглощения в моноэнергетическом и более детальном приближениях. Обнаружено, что разные материалы дают разные спектры нагретых нейтронов, а также что спектр нагретых нейтронов простирается в область мкэВ-энергий.

- *Pokotilovski Yu. N., Novopoltsev M. I., Geltenbort P.* A Study of the Ultracold Neutron Upscattering at Reflection from Solid Surfaces // Eur. Phys. J. (accepted).

Подведен итог деятельности за последние годы по доказательству возможности реализации предложения по извлечению длины n, e -рассеяния b_{ne} из экспериментальных данных по дифракции медленных нейтронов на благородных газах. Показано, что проведение целенаправленных измерений дифракции нейтронов на парах газов $\text{Ar}-{}^{36}\text{Ar}$ и $\text{Kr}-\text{Xe}$ может обеспечить извлечение b_{ne} с точностью 2–3 %. Это позволило бы достичь про-

гресса в проблеме большого разброса существующих экспериментальных оценок b_{ne} , который выходит за 5 стандартных ошибок. Существующие экспериментальные значения b_{ne} в пределах $\pm 10\%$ близки к длине Фолди $b_F = \mu e^2 / M c^2 = -1,468 \cdot 10^{-3}$ фм. Интрига состоит в том, что если $b_{ne} = b_F$, то это означало бы, что за взаимодействие нейтрона с внешним электромагнитным полем полностью отвечает его магнитный момент без участия зарядовой структуры.

Создана установка для проведения аналога эксперимента Крона–Ринго по измерению угловой анизотропии рассеяния медленных нейтронов и определения из нее b_{ne} . Получение данных об анизотропии рассеяния нейтронов в зависимости от энергии нейтронов позволит устранить те поправки, которые были в эксперименте Крона–Ринго, и получить более надежное значение b_{ne} .

- *Mitsyna L. V. et al.* Neutron-Electron Scattering Length Extraction from the Neutron Diffraction Data Measured on Noble Gases // Nucl. Phys. A. 2009 (in press).

Продолжена обработка экспериментальных данных по поиску тройного коллинеарного распада, полученных в 2006 г. на реакторе ИБР-2, методом определения зарядов регистрируемых осколков деления с использованием времени дрейфа электронов в брэгговской камере. Полученные результаты согласуются с гипотезой о существовании экзотических мод распада делящегося ядра.

- *Kamanin D. V. et al.* Experimental Evidences of Clustering in Low Excited Heavy Nuclear Systems // Proc. of the First Workshop on State of the Art in Nuclear Cluster Physics «SOTANCP2008», France, Strasbourg, 13–16 May, 2008; Int. J. Mod. Phys. E. 2008. V. 17, No. 10. P. 2250–2254.

Продолжается анализ и интерпретация экспериментальных данных по интенсивностям двухквантовых каскадов при захвате тепловых нейтронов различными ядрами. Суммы радиационных силовых функций дипольных первичных γ -переходов аппроксимированы с высокой точностью полуфеноменологической зави-

симостью в области энергий первичных γ -переходов $0,5 < E_1 < B_n - 0,5$ МэВ для 41 ядра от ^{40}K до ^{200}Hg . Получено, что форма радиационных силовых функций в исследованных ядрах определяется структурой распадающегося и возбуждаемого уровней, по крайней мере, до энергии связи нейтрона B_n . Независимое подтверждение наличия значительной ступенчатой структуры в плотности уровней получено при реанализе опубликованных к настоящему времени данных об экспериментальных интенсивностях первичных γ -переходов, усредненных по нейтронным резонансам в районе их энергий 2 и 24 кэВ.

- *Суховой А. М., Фурман В. И., Хитров В. А.* Полуфеноменологическая аппроксимация сумм экспериментальных радиационных силовых функций дипольных гамма-переходов в диапазоне $E_\gamma \sim B_n$ для области масс $40 \leq A \leq 200$ // ЯФ. 2008. Т. 71(6). С. 1009–1024.

В 2008 г. завершен цикл работ в рамках международной программы «Атмосферные выпадения тяжелых металлов в Европе — оценки на основе анализа мхов-биомониторов». В рамках проекта «Геохронология и изучение ретроспективных загрязнений незатвердевших донных отложений из кислородосодержащих и бескислородных акваторий западной части Черного моря» проведена оценка ретроспективного загрязнения этого региона. Выполнены работы по проекту «Разработка системы комплексного мониторинга тяжелых металлов и радионуклидов в Монголии с использованием ядерно-физических аналитических методов». В рамках координационной программы МАГАТЭ «Воздействие токсичных и потенциально токсичных элементов на женщин репродуктивного возраста в развивающихся странах» совместно с Российским государственным медицинским университетом (Москва), аналитическим центром Геологического института РАН и Медицинской академией им. И. П. Сеченова в 2008 г. завершена работа по определению многоэлементного анализа образцов крови специально подобранных пациентов из одного из промышленных районов Москвы. На территории Белоруссии впервые был применен метод мхов-биомониторов для оценки атмосферных выпадений радионуклидов спустя 20 лет

после Чернобыльской аварии. Измерения долгоживущих радионуклидов — продуктов деления ядерного топлива — были проведены в 2008 г. совместно со словацкими специалистами в низкофоновой лаборатории Братиславского университета. Часть проб была проанализирована специалистами NECSA в ЮАР.

- *Фронтасьева М. В.* Эпитепловой нейтронный активационный анализ на реакторе ИБР-2 ЛНФ ОИЯИ // ЯФ. 2008. Т. 71, вып. 10. С. 1714–1725.

Физика конденсированных сред

С помощью дифракции нейтронов и рентгеновских лучей, электронной микроскопии и мессбауэровской спектроскопии изучена атомная и магнитная структура серии твердых растворов $\text{Pb}_{2-x}\text{Ba}_x\text{Fe}_2\text{O}_5$ с $x \approx 1$. Эти составы относятся к типу аниондефицитных перовскитов, которые интересны сосуществованием магнитных и сегнетоэлектрических свойств. В дифракционных экспериментах обнаружены две структурные фазы (высоко- и низкотемпературная) с переходом между ними при $T_c \approx 540$ К. Фазы различаются конфигурацией двух зеркально-связанных цепочек тригональных FeO_5 бипирамид, которые упорядочиваются ниже T_c . Из нейтронных дифракционных данных следует, что ниже $T_N = 625$ К в $\text{Pb}_{1,08}\text{Ba}_{0,92}\text{Fe}_2\text{O}_5$ возникает антиферромагнитный порядок с вектором распространения $\mathbf{k} = [0, 1/2, 1/2]$.

- *Nikolaev I. V. et al.* Crystal Structure, Phase Transition and Magnetic Ordering in the Perovskitelike $\text{Pb}_{2-x}\text{Ba}_x\text{Fe}_2\text{O}_5$ Solid Solutions // Phys. Rev. B. 2008. V. 78. P. 024426(1–12).

Продолжались исследования влияния высокого давления на кристаллическую и магнитную структуры сложных магнитных оксидов переходных металлов. В экспериментах с гексагональным фрустрированным манганитом YMnO_3 , проявляющим свойства мультиферроика, обнаружено значительное усиление диффузного магнитного рассеяния и резкое подавление интенсивности магнитных рефлексов при повышении давления в области низких температур. Интерпретация этого явления основана на

предположении о стабилизации под давлением состояния магнитной жидкости с сильными спиновыми флуктуациями.

- *Kozlenko D.P. et al.* High Pressure Induced Spin Liquid Phase of Multiferroic YMnO_3 // *Phys. Rev. B.* 2008. V.78. P. 054401(1–5).

В рамках проекта РФФИ–Сообщество Гельмгольца (Германия) продолжались эксперименты по изучению структуры слабokonцентрированных (с 1 %-й объемной долей магнитного материала) магнитных жидкостей, стабилизированных с помощью насыщенных монокарбоксильных кислот (ПАВ) разной длины, включая лимонную, олеиновую, миристиновую и лауриновую кислоты. Структурный анализ, включающий в себя эксперименты по намагниченности, просвечивающей электронной микроскопии и малоугловому рассеянию нейтронов, показал, что часть наночастиц магнетита (размер около 7 нм) в исследуемых системах образует стабильные агрегаты со средним размером до 40 нм в зависимости от типа оболочки ПАВ. Показано, что предпочтительным источником магнитных наночастиц является магнитная жидкость со стабилизацией лауриновой кислотой. С точки зрения структурных особенностей она обладала наименьшей агрегацией, что объясняет лучшее проникновение магнитных наночастиц в клетки и может являться причиной наименьшей токсичности для клеток.

- *Avdeev M. V. et al.* Structural Aspects of Stabilization of Magnetic Fluids by Mono-Carboxylic Acids // *Advanced Materials Research.* 2008 (accepted).

В рамках темы сосуществования ферромагнетизма (FM) и сверхпроводимости (S) в тонких мультислоях завершена обработка данных и интерпретация результатов, полученных на тройной системе (S)/(FM)/(S), а именно, (Nb)/(Fe)/(Si, Mo) на подложке из кремния. Практическая важность изучения таких систем связана с перспективой создания устройств записи информации одновременно по электрическому и магнитному каналам. Измерения проведены в магнитном поле напряженностью 500 Э

и в диапазоне температуры 2–60 К. Впервые одновременно наблюдаются перестройка доменной структуры и понижение намагниченности насыщения в доменах при переходе слоя Nb(500 Å) и структуры [Si(34 Å)/Mo(34 Å)] в сверхпроводящее состояние. Впервые прямо показано, что в тройной системе (S)/(FM)/(S) при переходе слоев в сверхпроводящее состояние происходит уменьшение величины обменного взаимодействия в ферромагнитном слое.

- *Аксенов В. Л. и др.* Сосуществование сверхпроводимости и ферромагнетизма в наноструктуре Nb(500 Å)/Fe(39 Å)/[Si(34 Å)/Mo(34 Å)]₄₀/Si // Поверхность. 2008 (принято в печать).

Проведены исследования нового класса полимеров, получаемых в результате регулируемого синтеза, — дендримеров. По экспериментальным данным восстановлено пространственное распределение рассеивающей плотности исследуемого типа дендримеров. Методом вариации контраста доказано, что молекулы дендримеров в растворах не содержат закрытых внутренних полостей, недоступных растворителю. Определен парциальный объем дендримера в растворе и рассчитана объемная доля (30–40 %) открытых внутренних полостей, доступных растворителю.

- *Rogachev V. et al.* Revealing Inner Structure of the Polycarbosilane Dendrimers from Small-Angle Neutron Scattering Data // J. Phys. Conf. Ser. 2008. V. 129. P. 012041.

Изучены изомеры диметилбутанола C₆H₁₃OH, (2,2DM-1B, 3,3DM-1B, 2,3DM-2B и 3,3DM-2B), состоящие из глобулярных молекул, которые в твердом состоянии образуют ориентационно неупорядоченные кристаллические фазы. Калориметрические исследования полиморфизма этих соединений выявили значительные различия температур плавления, а также кинетики и числа фазовых превращений, наблюдаемых при охлаждении и нагреве. Одновременные исследования дифракции и неупругого некогерентного рассеяния нейтронов (ННРН) позволили идентифицировать стеклообразные и кристаллические фазы, кото-

рые могут сосуществовать при низких температурах. Предварительная интерпретация спектров ННРН основана на квантово-химических расчетах динамики изолированных молекул с применением базиса B3LYP/6-311G** в теории функционала электронной плотности (DFT).

- *Juzycska E. et al.* Neutron Scattering Studies of Solid-State Polymorphism in Dimethyl Butanol Glass Formers // *Physica B*. 2008. V. 403. P. 109.

На основе результатов комплексных нейтронных и акустических экспериментов образцов монокристаллического и поликристаллического кварца в области полиморфного α - β -перехода обоснована флюидометаморфогенная (ФМ) модель сейсмотектогенеза. В такой модели причиной разрушения при сейсмическом процессе является рост величины микронапряжений и уменьшение прочности твердых тел в ходе твердофазных превращений. Формулировка модели приведена в монографии. С использованием метода количественного текстурного анализа установлены основные четыре типа кристаллографических текстур кварца в природных горных породах. Для оценки ожидаемой степени анизотропии различных физических свойств впервые использован метод описания преимущественной ориентировки с помощью построения ФРО-гистограмм и ФРО-спектров.

- *Родкин М. В., Никитин А. Н., Васин Р. Н.* Сейсмотектонические эффекты твердотельных превращений в геоматериалах. М.: Геос, 2008. 220 с.

Завершен цикл работ по исследованию мартенситной трансформации и усталостных свойств аустенитных нержавеющей сталей, широко используемых в технике из-за своих выдающихся механических, сварочных и антикоррозионных характеристик. Экспериментальная симуляция усталостной деградации проводилась с помощью циклических нагрузок растяжение–сжатие в пластической области с частотами от 0,1 до 100 Гц. Выявлены области характерных частот, сильно различающихся по воздействию на сталь. Определены закономерности образования

мартенситной фазы в исходно однофазном (аустенитном) материале. Показано, что в некоторых случаях имеется значительное рассогласование в упругих константах фаз, образующих материал, что оказывает значительное влияние на его прочностные свойства.

- *Taran Yu. V. et al.* Residual Stresses in a Shape Welded Steel Tube by Neutron Diffraction // *J. Phys.: Condens. Matter.* 2008. V. 20. P. 104258(4).

Радиационные и радиобиологические исследования

Изучено модифицирующее влияние на индукцию и репарацию ДР ДНК в лимфоцитах человека при облучении γ -квантами ^{60}Co ингибиторов репарации ДНК — арабинозид цитозина (Ара Ц) и гидроксимочевины (ГМ). Выявлено, что под влиянием ингибиторов увеличивается количество ДР ДНК, что, по-видимому, связано с активным накоплением энзиматических ДР ДНК. При отсутствии Ара Ц и ГМ репарация ДР ДНК полностью завершается в течение 4–6 ч.

- *Чаусов В. Н. и др.* Закономерности индукции и репарации двунитевых разрывов ДНК в лимфоцитах человека при действии ускоренных тяжелых ионов различных энергий // *Радиационная биология. Радиэкология.* 2009. Т. 49, № 7. С. 73–77.

Продолжены работы по изучению феномена адаптивного ответа (АО) в лимфоцитах человека. Основной задачей было выяснение возможных причин индивидуальной варибельности в проявлении АО у лимфоцитов разных доноров, которая в настоящее время широко обсуждается в литературе в связи с оценкой последствий экологических катастроф. Проведен цитогенетический анализ хромосомных нарушений в лимфоцитах крови человека после облучения протонами терапевтического пучка фазотрона ОИЯИ с энергией 145 МэВ и в области пика Брэгга. Показана более высокая эффективность протонов пика Брэгга $\sim 1,25$ в диапазоне доз 1–4 Гр. Проведен сравнительный анализ индивидуальной радиочувствительности хромосом 2, 8 и 14 лимфоцитов периферической крови человека при облучении с разной

ЛПЭ. На ускорителях ОИЯИ было проведено облучение образцов цельной крови здоровых доноров (4 мужчин и 2 женщин) ускоренными протонами и ионами углерода, лития и бора в дозах 3, 3,5 и 4 Гр. В месте расположения образцов величины энергии и ЛПЭ составляли: протоны — 170 МэВ, ЛПЭ $\approx 0,5$ кэВ/мкм; ^{12}C — 480 МэВ, ЛПЭ $\approx 10,6$ кэВ/мкм; ^7Li — 30 МэВ, ЛПЭ ≈ 20 кэВ/мкм; ^{11}B — 32 МэВ, ЛПЭ ≈ 55 кэВ/мкм.

- *Зайцева Е. М.* Исследование хромосомных нарушений в клетках человека, облученных терапевтическим протонным пучком // Тез. докл. VII Конф. молодых ученых, специалистов и студентов, посвященной Дню космонавтики и приуроченной к 45-летию ГНЦ РФ — ИМБП РАН, Москва, апрель 2008 г. С. 23.
- *Deperas-Kaminska M. et al.* Variable Sensitivity of Chromosomes 2, 8 and 14 in Human Peripheral Blood Lymphocytes Exposed to Heavy Ions // The 36th meeting of the European Radiation Research Society, Tours, France, 2008.

Продолжен анализ индукции различных мутационных повреждений ионизирующей радиацией у дрожжей сахаромисетов. Анализ потери одной из наиболее крупных хромосом у дрожжей (1554 тпн) — хромосомы IV — под действием УФ-лучей и γ -излучения у дисомных штаммов показал, что хромосома IV нестабильна и теряется с более высокой частотой по сравнению с ранее изученной хромосомой VII. Так, при флюенсе энергии 100 Дж/м^2 и выживаемости $\sim 1\%$ частота утраты хромосомы составляет $20 \cdot 10^{-3}$, а при γ -облучении в дозе 100 Гр и выживаемости $\sim 10\%$ $4 \cdot 10^{-3}$. Наблюдается линейная зависимость индукции потери хромосомы от дозы облучения. Спонтанная частота потери хромосомы составляет $4 \cdot 10^{-4}$.

- *Колтовая Н. А. и др.* Взаимодействие чекпойнт-генов *RAD9*, *RAD17*, *RAD2* и *RA53* в определении чувствительности дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* к действию ионизирующей радиации // Генетика. 2008. Т. 44, № 6. С. 659–668.

На основе экспериментальных данных, полученных для классического объекта генетических исследований — бактерии *Es-*

Escherichia coli, разработана математическая модель мутационного процесса, индуцированного ультрафиолетовым излучением. Представленная модель является одной из немногих попыток феноменологического описания в рамках континуального подхода. Впервые на примере одной модели прослежен весь путь от возникновения первичного повреждения структуры ДНК до закрепления его в мутацию. Разработанные модельные представления позволили предсказать не изученную ранее динамику димеризованных продуктов гена *umuD* и основных регуляторных комплексов системы репарации бактериальных клеток. С использованием данного подхода представляется возможным прогнозирование поведения системы репарации клеток *Escherichia coli* при интересующей дозе ультрафиолетового облучения на заданном временном отрезке.

- Белов О. В. Временная зависимость индуцирующего сигнала SOS-системы бактерии *E. coli* при ультрафиолетовом облучении // Письма в ЭЧАЯ. 2007. Т. 4, № 6(142). С. 867–874.
- Белов О. В., Красавин Е. А., Пархоменко А. Ю. Математическая модель индуцированного мутационного процесса бактерии *Escherichia coli* при ультрафиолетовом облучении. Препринт ОИЯИ Р19-2008-105. Дубна, 2008. 20 с.

Информационные технологии и вычислительная физика

Вклад ЦИВК ОИЯИ в решение задач в рамках российского грида для интенсивных операций с данными, объединяющего грид-сегмент ОИЯИ и 15 ресурсных центров в российских институтах, составил в 2008 г. 40 %. В декабре 2008 г. суммарная производительность грид-сегмента ЦИВК ОИЯИ составила 2000 KSI2K, система хранения данных ЦИВК ОИЯИ увеличена до 400 Тбайт.

На основе микроскопических расчетов вещественной и мнимой частей оптического потенциала (ОП) проведен анализ данных по сечениям упругого рассеяния ${}^6\text{He} + p$ при энергиях в десятки МэВ/нуклон. Изучено влияние зависимости нуклон-нук-

лонного потенциала от плотности ядерного вещества на рассчитанные сечения, роль спин-орбитального взаимодействия и нелинейности микроскопического ОП, а также роль его перенормировки. Путем сравнения с экспериментальными данными исследована чувствительность сечений к этим эффектам.

- Лукьянов К. В. и др. // Изв. РАН, сер. физ. 2008. Т. 72, № 6. С. 903–907.

Исследовано взаимодействие тяжелых ионов с энергией, превышающей 30 ГэВ, в протяженных мишенях из меди и свинца (> 2 см) на основе моделирования с применением каскадной модели (DCM). Проведено сравнение расчетных данных с результатами экспериментов на ускорителях в ОИЯИ (Дубна), LBL (Беркли), Сакле (Франция) и т. д. Показано, что генерация нейтронов ионами ^{12}C с энергией 44 ГэВ превышает ожидаемые значения, полученные экстраполяцией данных в экспериментах с ионами ^{12}C при энергии 12 ГэВ. Полученные результаты позволяют достичь высокой эффективности трансмутации в подкритических сборках. Потоки вторичных частиц исследованы в источнике «Гамма-2». Показано, что рассчитанные относительные плотности потока протонов и нейтронов находятся в хорошем согласии с полученными экспериментальными данными. Компьютерная программа MCNPX 2.6C применена для исследования выходов реакций $\text{natU}(p, f)$, $\text{natU}(\pi, f)$ и $\text{natU}(\gamma, f)$, которые могут определять выход нейтронов и в особенности нейтронные спектры в установке «Энергия плюс трансмутация». Показаны источники возможных ошибок как в эксперименте, так и в проведенных расчетах.

- Brandt R. et al. // Phys. Part. Nucl. 2008. V.39, No.2. P. 259–285.
- Brandt R. et al. // Rad. meas. 2008. V. 43. P. 132–138.
- Manolopoulou M. et al. // Nucl. Instr. Meth. A. 2008. V. 586. P. 239–245.
- Hashemi-Nezhad S.R. et al. // Nucl. Instr. Meth. A. 2008. V. 591. P. 517–529.

Исследованы некоторые задачи вычислительной биосенсорной нанотехнологии, относящиеся к проблеме конструирования биосенсоров. Рассчитаны электростатические свойства целого ряда ферментов и нуклеиновых кислот. Полученные результаты раскрывают ряд закономерностей взаимодействия ферментов с заряженными наноструктурами и могут быть непосредственно использованы в процессе проектирования биосенсоров при условии разработки программных средств систематизации и обобщения данных по иммобилизованным белкам в виде соответствующей базы данных и экспертной системы. Разработанные программные средства могут стать первым шагом на пути реализации вычислительной нанотехнологии для разработки биосенсоров с заданными свойствами.

- *Иванов В. В. и др. // Ядерная физика и нанотехнологии: Ядерно-физические аспекты формирования, изучения и применения наноструктур: Сб. Дубна: ОИЯИ, 2008. С. 293–311.*

Получены результаты некоторых исследований, связанных с получением наноструктур в материалах при облучении их тяжелыми ионами высоких энергий. Численные расчеты получены в рамках модели термического пика для анизотропного материала на примере высокоориентированного пиролитического графита. Проведено сопоставление расчетных эффектов с экспериментальными данными, предложены новые эксперименты и теоретические подходы.

- *Амирханов И. В. и др. // Ядерная физика и нанотехнологии: Ядерно-физические аспекты формирования, изучения и применения наноструктур: Сб. Дубна: ОИЯИ, 2008. С. 339–349.*

Учебно-научный центр

В 2008 г. в УНЦ ОИЯИ проходили обучение 536 студентов: из МГУ — 25 человек, МФТИ — 15 человек, ун-та «Дубна» — 228 человек, МИРЭА — 166 человек, других вузов РФ и стран-участниц — 102 человека (Армения, Белоруссия, Молдавия, Узбекистан, Украина).

В аспирантуре ОИЯИ в 2008 г. обучались представители Армении, Белоруссии, Грузии, Украины и Узбекистана, всего 73 человека, из них по специальности «Физика атомного ядра и элементарных частиц» — 32 человека, по специальности «Теоретическая физика» — 13 человек, по специальности «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» — 11 человек.

В 2008 г. созданы учебные лаборатории ОИЯИ для подготовки специалистов-физиков на базовых кафедрах ОИЯИ и университета «Дубна». В настоящее время ведутся занятия в лабораториях атомной физики, оптики и молекулярной физики, заложены основы лаборатории ядерной физики.

Для студентов на сайте Учебно-научного центра (<http://uc.jinr.ru/>) помещена база данных всех курсов (и их содержание) на 2008/2009 учебный год (русская и английская версии) по разделам: физика частиц и квантовая теория поля; математическая и статистическая физика; конденсированные среды, физика наноструктур и нейтронная физика; ядерная физика; физические установки; информационные технологии.

Международные студенческие практики по направлениям исследований ОИЯИ вызывают большой интерес у научной молодежи, что подтверждает неуклонный рост количества заявок на участие. Учитывая это, УНЦ начинает переходить к режиму проведения практик поэтапно в течение всего года.

Практика 2008 г. проходила в три этапа: в июле — для 40 студентов из Болгарии, Румынии, Словакии, Чехии и Украины; в сентябре на три недели практики приехали 24 студента из Польши, а в конце сентября к ним присоединились студенты и аспиранты из ЮАР (21 человек). Это уже второй приезд представителей научной молодежи из ЮАР на практику в ОИЯИ.

Программа практики составлена с учетом положительного опыта прошлых лет (первая практика проходила в 2004 г.) — работа над учебно-исследовательскими проектами в лабораториях Института, отчеты студентов по результатам работы, лекции ведущих ученых и специалистов ОИЯИ, а также экскурсии и культурные мероприятия.

Учебно-исследовательские проекты для участников практики 2008 г. были разработаны сотрудниками ЛНФ (7 проектов), ЛЯП (5 проектов), ЛЯР (6 проектов), ЛФВЭ (2 проекта), ЛРБ (2 проекта), ЛТФ (2 проекта). С полным списком проектов можно познакомиться на сайте УНЦ (<http://uc.jinr.ru/>) в разделе «Учебные проекты и лаборатории УНЦ ОИЯИ».

ОБЩИЕ ДАННЫЕ О КОЛИЧЕСТВЕ ПУБЛИКАЦИЙ СОТРУДНИКОВ ОИЯИ

(С 27.11.2007 ПО 31.12.2008)

- Книги — 20:

Balasoii, M. Aspecte ale Microstructurii Lichidelor Magnetice. — Bucuresti : SemnE, 2007. — 130 : il. — Bibliogr.: p. 124–130.

International Linear Collider. Reference Desing Reports : ILC Global Design Effort and World Wide Study: in 4 vol. / G. Aarons, N. Anfimov, N. I. Balalykin, D. Y. Bardin, V. I. Boyko, Y. A. Budagov, G. Chelkov, Yu. N. Denisov, V. Duginov, Y. Gornushkin, M. Gostkin, T. Ilicheva, V. V. Ivanov, V. D. Kekelidze, N. Khovansky, S. Kostromin, V. Kruchonak, Z. Krumshstein, R. Makarov, I. N. Meshkov, I. Minashvili, N. Morozov, A. G. Olshevsky, Z. Ya. Sadygov, G. A. Shelkov, G. Shirkov, S. Shulga, A. N. Sissakian, N. B. Skachkov, E. Syresin, N. A. Tokareva, G. V. Trubnikov, E. G. Tskhadadze, S. B. Vorozhtsov, B. Zalikhhanov [et al.]. — Batavia [etc.]: ILC, 2007 — (ILC-Report; 2007-001).

Vol. 1: Executive Summary / Ed.: J. Brau [et al.], 2007. — P.I-XXVI, I-46: il. — Bibliogr.: p. I-41–I-43.

Vol. 2: Physics at the ILC / Ed.: A. Djouadi [et al.], 2007. — P.II-XXVI, II-119: il. — Bibliogr.: p. II-105–II-116.

Vol. 3: Accelerator / Ed.: N. Phinney [et al.], 2007. — P.III-XXX, III-305: il. — Bibliogr.: p. III-287–III-297.

Vol. 4: Detectors / Ed.: T. Behnke [et al.], 2007. — P.IV-XXVIII, IV-177: il. — Bibliogr.: p. IV-163–IV-171.

Zakhariev, B. N. Submissive Quantum Mechanics: New Status of the Theory in Inverse Problem Approach / B. N. Zakhariev,

V. M. Chabanov. — N. Y.: Nova Science Publ., 2007. — XXXIII, 235 p.: il. — Bibliogr.: p. 217–226.

Антропокосмическая модель Вселенной и ее экспериментальное применение в ЦЕРН (Женева) / Владимир Иванович Аршинов, Николас Кульберг, Джеймс Пурвис и Владимир Николаевич Шкунденков. — М.: Б.и., 2008. — 260 с. : ил.

Боголюбов, Николай Николаевич. Собрание научных трудов = Collection of Scientific Works: В 12 т. / Николай Николаевич Боголюбов; Отв. ред.: А. Д. Суханов — М.: Наука, 2005–2008. (Классики науки).

Т. 8: Статистическая механика. Теория неидеального бозегаза, сверхтекучести и сверхпроводимости, 1946–1992 = Statistical Mechanics. Theory of Nonideal Bose Gas, Superfluidity and Superconductivity, 1946–1992 / Ред.: Н. М. Плакида и А. Д. Суханов, 2007. — 642 с. : ил. — Библиогр. в конце работ; Список науч. работ Н. Н. Боголюбова, включ. в серию «Статистическая механика»: с. 630–632.

Т. 9: Квантовая теория. Квантовая теория поля, 1949–1966 = Quantum Theory. Quantum Field Theory, 1949–1966 / Редкол.: В. А. Матвеев и Д. В. Ширков; Ред.: Д. В. Ширков и А. Д. Суханов, 2007. — 668 с.: ил.

Т. 10: Квантовая теория. Введение в теорию квантованных полей = Quantum Theory. Introduction to the Theory of Quantized Fields / Николай Николаевич Боголюбов и Дмитрий Васильевич Ширков; Редкол.: В. А. Матвеев и Д. В. Ширков, 2008. — 736 с.: ил. — Библиогр.: с. 649–655.

Егоров, Александр Дмитриевич. Введение в теорию и приложения функционального интегрирования / Александр Дмитриевич Егоров, Евгений Петрович Жидков и Юрий Юрьевич Лобанов. — М.: Физматлит, 2006. — 400 с. — Библиогр.: с. 384–394.

Ефимов, Гарий Владимирович. Метод функционального интегрирования: Учеб. пособие для студ. — Дубна: Международный университет природы, общества и человека «Дубна», 2008. — 96 с.: ил. — Библиогр.: с. 95.

Злоказов, Виктор Борисович. Математическая обработка экспериментальных данных нейтронного рассеяния в физике низ-

ких энергий : Учеб. пособие. — М.: КДУ, 2007. — 60 с. — Библиогр.: с.60.

Концептуальный проект ускорительного комплекса Nuclotron-based Ion Collider Facility (NICA) / Н. Н. Агапов, В. С. Александров, А. В. Алфеев, О. И. Бровко, А. В. Бутенко, Б.-Р. В. Василишин, В. И. Волков, Е. Д. Донец, Е. Е. Донец, А. В. Елисеев, В. М. Жабицкий, И. Б. Иссинский, Г. Г. Ходжибагиян, В. Н. Карпинский, В. Д. Кекелидзе, В. В. Кобец, О. С. Козлов, А. Б. Кузнецов, В. А. Михайлов, В. А. Мончинский, А. Г. Ольшевский, Ю. К. Потребеников, А. О. Сидорин, Г. И. Сидоров, В. Ф. Шевцов, А. А. Смирнов, А. В. Смирнов, В. Д. Тонеев, Г. В. Трубников и [др.]; Рук. проекта: А. Н. Сисакян и А. С. Сорин; Рук. проекта ускорит. комплекса: И. Н. Мешков и А. Д. Коваленко. — Дубна: ОИЯИ, 2008. — 51 с.: ил. — Библиогр.: с.50–51.

Копылов, Герцен Исаевич. Евгений Стромькин. Четырехмерная поэма. — М.: Грантъ, 2007. — 285, [2] с., [8] л. ил.

Мешков, Игорь Николаевич. Излучение релятивистских заряженных частиц = The Radiation of the Relativistic Charged Particles: Учеб. пособие. — Дубна: ОИЯИ, 2008. — 137 с.: ил. — (Учебно-методические пособия Учебно-научного центра ОИЯИ. УНЦ; 2008-31). — Библиогр.: с.134.

Пенев, В. Н. Общество, искусство и физика частиц = Gesellschaft, Kunst und Teilchenphysik: трактат. — Munchen: Rosemann Press, 2008. — 337 с.: ил.

Преддипломная практика по специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети», заочная форма обучения: [Учеб. пособие] / Максим Анатольевич Назаренко, Эдуард Германович Никонов, Алексей Анатольевич Парамонов, Александр Сергеевич Сигов и Алексей Норайрович Сисакян. — М.: ЦИТвП, 2008. — 32 с. — Библиогр.: с.31. В надзагл.: Фед. агентство по образованию. Филиал Гос. образ. учреж. высш. проф. образования МИРЭА (Технический ун-т) в г. Дубне Моск. обл.

Сморodinский, Яков Абрамович. Температура. — М.: Терра — Книжный клуб, 2008. — 224 с. : ил. — (Мир вокруг нас).

Шабалин, Евгений Павлович. В гармонии с реактором: Избранное. — Дубна: Б.и., 2007. — 158 с.: ил.

- Журнальные статьи — 784
- Публикации в трудах конференций — 964
- Препринты — 65
- Авторефераты диссертаций — 16
- **Всего: 1849**

Редактор *Е. В. Сабаева*

Подписано в печать 05.03.2009.

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

Усл. печ. л. 1,81. Уч.-изд. л. 1,63. Тираж 135 экз. Заказ № 56530.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/