



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2010-141

**КРАТКИЙ ОБЗОР  
ВАЖНЕЙШИХ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
В 2010 ГОДУ**

Дубна 2010

## Содержание

Теоретическая физика .....	3
Экспериментальная физика .....	5
Физика частиц.....	5
Релятивистская ядерная физика .....	8
Физика тяжелых ионов .....	8
Ядерная физика низких и промежуточных энергий ....	9
Нейтронная ядерная физика .....	10
Физика конденсированных сред .....	12
Радиационные и радиобиологические исследования .....	14
Информационные технологии и вычислительная физика	16
Учебно-научный центр .....	19
Общие данные о количестве публикаций сотрудников ОИЯИ (с 11.11.2009 по 13.11.2010).....	20

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

На основе метода правил сумм с нелокальными конденсатами, непertурбативного дисперсионного подхода к аксиальной аномалии и кварковых моделей систематически изучен переходный формфактор и волновые функции пиона, связанные с экспериментальными данными коллаборации BaBar. Установлено, что экспериментальные данные указывают на нарушение факторизации — основы применения квантовой хромодинамики к жестким процессам.

- *Mikhailov S. V., Pimikov A. V., Stefanis N. G.* // Phys. Rev. D. 2010. V. 82. P. 054020; *Klopot Y. N., Oganessian A. G., Teruyaev O. V.* e-Print: arXiv:1009.1120 [hep-ph]; *Dorokhov A. E.* e-Print: arXiv:1003.4693 [hep-ph].

Разработан последовательный квантово-полевой подход к теории нейтринных осцилляций на основе релятивистски-инвариантных волновых пакетов, позволяющий как решать принципиальные вопросы теории, так и делать новые предсказания, которые могут быть проверены экспериментально.

- *Naumov D. V., Naumov V. A.* // J. Phys. G. 2010. V. 37. P. 105014.

Показано, что в реакциях многонуклонной передачи с пучком  $^{48}\text{Ca}$  и актиноидными мишенями могут быть синтезированы новые сильно нейтронно-избыточные ядра  $^{84,86}\text{Zn}$  и  $^{90,92}\text{Ge}$ . Динамика бинарной реакции рассматривалась в рамках модели двойной ядерной системы как диффузионная передача нескольких нуклонов между взаимодействующими ядрами в столкновениях, когда энергия возбуждения получившегося экзотического ядра ниже порога испускания нейтрона. Предсказанные сечения находятся в пределах 0,1–5 пб для разных нуклидов.

- *Adamian G. G. et al.* // Phys. Rev. C. 2010. V. 81. P. 024604.

Предложен новый метод расчета скоростей ядерных процессов, связанных со слабым взаимодействием, протекающих в горячем звездном веществе. Метод основан на термополевой динамике и отличается ясной трактовкой процессов возбуждения и

девозбуждения горячего ядра. Рассчитана зависимость распределений силы переходов Гамова–Теллера и зарядово-обменных переходов первого порядка запрета от температуры для нескольких изотопов Fe и Ge. С полученными распределениями рассчитаны скорости электронного захвата на этих ядрах при температурах и плотностях, типичных для различных стадий коллапса сверхновой.

- *Dzhioev A. A. et al. // Phys. Rev. C. 2010. V. 81. P. 015804.*

В ковариантном подходе Бете–Солпитера построено сепарабельное 6-го ранга ядро нейтрон-протонного взаимодействия для триплета  ${}^3S_1-{}^3D_1$  связанных парциальных волн. Сконструированное ядро с успехом использовано для описания массовых и немассовых характеристик триплетного состояния парциальных волн для системы  $np$  и дейтрона. Построенное сепарабельное  $NN$ -взаимодействие может быть использовано в расчетах фото- и электродезинтеграции дейтрона.

- *Bondarenko S. G. et al. // Nucl. Phys. A. 2010. V. 848. P. 75.*

Представлены детальные расчеты асимптотик двухчастичных корреляционных функций в двумерной абелевой модели песка. С использованием комбинаторных методов для перечисления покрывающих паутин хорошо известный результат для коррелятора  $\sigma_{1,1} \sim 1/r^4$  обобщен на случай  $\sigma_{1,h} = P_{1,h} - P_1 P_h$  при  $h = 2, 3, 4$ . Полученные результаты подтверждают доминирующее логарифмическое поведение  $\sigma_{1,h} \sim (c_h \log r + d_h)/r^4 + O(r^{-5})$  для больших  $r$ , предсказанное логарифмической конформной теорией поля. Из решеточных расчетов впервые получены явные значения коэффициентов  $c_h$  и  $d_h$ .

- *Poghosyan V. S. et al. // J. Stat. Mech. 2010. P. 07025.*

Сформулирован калибровочный подход для описания дираковских фермионов на упругой мембране с дисклинацией. Упругая мембрана рассмотрена как вложение 2D-поверхности в пространство  $R^3$ . Дисклинация описывается посредством калибровочного вихря  $SO(2)$  в центре мембраны, что приводит к метрике с конической сингулярностью. Сглаживание конической сингулярности учитывается посредством замены жесткой плоской мембраны гиперболоидом с почти нулевой кривизной, содержащим на своей вершине вихрь  $SO(2)$ . Параметры вложения выбраны таким образом, чтобы удовлетворить решениям

уравнений Кармана. Показано, что учет однородного решения стабилизирует теорию. Получена модификация уровней Ландау и плотности электронных состояний, обусловленная упругостью графеновой мембраны.

- *Kochetov E. A., Osipov V. A., Pincak R.* // J. Phys.: Cond. Matt. 2010. V. 22. P. 395502.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА

### Физика частиц

Завершены работы по запуску системы подавления (СП) поперечных когерентных колебаний пучка в ЛНС, выполняемые в рамках совместного проекта ЦЕРН–ОИЯИ. Окончательная наладка СП была осуществлена на протонном пучке с энергией 450 ГэВ в мае 2010 г. СП успешно функционировала при энергии 3,5 ТэВ. Устойчивая работа СП позволила достигнуть в октябре 2010 г. светимости более  $10^{32} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

- *Zhabitsky V. M. et al.* Beam Tests of the LHC Transverse Feedback System // XXII Russian Particle Accelerators Conference RuPAC-2010, 27 September – 1 October 2010, Protvino, Russia. Protvino: IHEP, 2010. P. 275–279.

Коллаборацией **COMPASS** (ЦЕРН–ОИЯИ) представлены результаты анализа экспериментальных данных по измерению поперечно-поляризованных распределений кварков в протоне. Извлеченное значение асимметрии Сиверса положительно почти во всей области измерения. Этот результат подтверждает теоретическую интерпретацию этой асимметрии в лидирующем порядке КХД. Величина асимметрии Коллинса отлична от нуля и зависит от бьеркеновской переменной  $x$ .

Проведен анализ данных по измерению азимутальных асимметрий в полуинклюзивном рождении заряженных адронов при рассеянии мюонов с энергией 160 ГэВ на продольно-поляризованной дейтериевой мишени. Извлеченные амплитуды сравнимы с нулем в пределах статистических ошибок.

- *Alexeev M. G. et al.* Measurement of the Collins and Sivers Asymmetries on Transversely Polarised Protons // PLB. 2010. V. 692. P. 240–246.

- *Alexeev M. G. et al.* Azimuthal Asymmetries of Charged Hadrons Produced by High Energy Muons off Longitudinally Polarized Deuterons // EPJC, CERN-PH-EP/2010-018.

В эксперименте **NA48/2** (ЦЕРН–ОИЯИ) завершена обработка данных 2003–2004 гг. Проанализировано около 600 кандидатов распада  $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \gamma$ . Впервые выделен вклад интерференции ( $F_{\text{INT}} = (-2,35 \pm 0,35_{\text{stat}} \pm 0,39_{\text{sys}}) \cdot 10^{-2}$ ); определен вклад прямого испускания фотонов ( $F_{\text{DE}} = (3,32 \pm 0,15_{\text{stat}} \pm 0,14_{\text{sys}}) \cdot 10^{-2}$ ) и тормозного излучения. Установлено ограничение на асимметрию CP-нарушения в данном распаде для  $K^+$  и  $K^-$  ( $< 1,5 \cdot 10^{-3}$  на 90 %-м уровне достоверности).

На основе фита далитц-плота экспериментальных данных распада  $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0$  с учетом касп-эффекта получена новая эмпирическая параметризация. Улучшена точность измерения асимметрии распадов  $\Xi \rightarrow \Lambda \gamma$  и  $\Xi \rightarrow \Sigma \gamma$ .

- *Batley J. R. et al.* Measurement of the Direct Emission and Interference Terms and Search for CP Violation in the Decay  $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \gamma$  // Eur. Phys. J. 2010. V. 68. P. 75–87.
- *Batley J. R. et al.* Empirical parameterization of the  $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0$  Decay Dalitz plot // Phys. Lett. B. 2010. V. 686. P. 101–108.
- *Batley J. R. et al.* New Precise Measurements of the  $\Xi \rightarrow \Lambda \gamma$  and  $\Xi \rightarrow \Sigma \gamma$  Decay Asymmetries. CERN-PH-EP-2010-032, Sep. 2010. 14 pp. arXiv:1009.3844 [hep-ex].

Коллаборацией **CMS** (ЦЕРН–ОИЯИ) в протон-протонных столкновениях на ЛHC впервые обнаружены корреляции частиц, вылетающих в существенно разных направлениях.

- *Khachatryan V. et al. (CMS Collaboration).* Observation of Long-Range, Near-Side Angular Correlations in Proton-Proton Collisions at the LHC // J. High Energy Phys. 2010. V. 09. P. 091.

Группой ОИЯИ–INFN–FNAL измерена масса топ-кварка на данных **CDF** на статистике  $5,6 \text{ фб}^{-1}$  в канале распада двух лептонов:  $M_{\text{top}} = 173,13 \pm 0,67$  (стат.)  $\pm 0,95$  (сист.)  $\text{ГэВ}/c^2$ . Был усовершенствован метод измерения массы топ-кварка в канале распада «два лептона». Для увеличения числа выбранных событий был использован так называемый отбор «лептон + трек».

На статистике  $5,9 \text{ фб}^{-1}$  в экспериментах CDF и D0 (FNAL, США) с вероятностью 95 % исключено рождение бозона Хиггса из стандартной модели в интервалах масс  $m_H = 158-175 \text{ ГэВ}/c^2$  и  $m_H = 100-109 \text{ ГэВ}/c^2$ . Эти результаты существенно увеличивают значимость индивидуальных пределов, полученных отдельно на CDF и D0, и обеспечивают новые данные для области допустимых масс бозона Хиггса в рамках стандартной модели за пределами прямых измерений LEP.

Группой из ОИЯИ в эксперименте D0 получен новый результат измерения вклада двухпартонных процессов в протон-антипротонных столкновениях на тэватроне. Были отобраны процессы с сигнатурой «фотон + 3 струи» (партон — кварк или глюон), которые включали в себя два уровня: «партон + партон  $\rightarrow$  партон + партон» и «партон + партон  $\rightarrow$  партон + фотон». Вклад двухпартонных процессов оценен в пределах от 0,23 до 0,47. Поэтому двухпартонные процессы необходимо учитывать как кандидатов на заметный фон в исследованиях за пределами стандартной модели.

- *Aaltonen T. et al. (The CDF Collaboration). Measurement of the Top-Quark Mass and  $p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}$  Cross Section in the All-Hadronic Mode with the CDF II Detector // Phys. Rev. D. 2010. V. 81. P. 052011.*
- *Abazov V. M. et al. Double Parton Interactions in  $\Gamma + 3$  Jet Events in  $p\bar{p}$  Collisions at  $\sqrt{s} = 1,98 \text{ TeV}$  // Phys. Rev. D. 2010. V. 81. P. 052012.*

В эксперименте OPERA (Гран-Сассо, Италия) был проведен полный сеанс набора данных на пучке CNGS, анализ которых продолжается в настоящее время. ОИЯИ разработал алгоритмы поиска вершин событий в электронных детекторах. Автоматическая сканирующая станция для анализа данных OPERA была запущена в ОИЯИ и позднее дополнена роботом для смены эмульсий, что значительно повысило ее производительность. Впервые был зарегистрирован кандидат на  $\nu_\tau$ -событие (уровень достоверности  $2,36\sigma$ ). Этот результат является важным шагом к давно ожидаемому прямому экспериментальному доказательству того, что мюонные нейтрино способны превращаться в  $\tau$ -нейтрино.

- *Agafonova N. et al. Observation of a First  $\nu_\tau$  Candidate in the OPERA Experiment in the CNGS Beam // Phys. Lett. B. 2010. V. 691. P. 138.*

## Релятивистская ядерная физика

В ходе очередного сеанса на нуклотроне ОИЯИ ускорены и выведены из ускорителя пучки ионов ксенона Хе ( $A = 124$ ,  $Z = +42$ ). Проведены испытания по увеличению магнитного поля до 1,8 Тл. Осуществлена полная модернизация системы питания ускорителя нуклотрон.

- *Аверичев А. С. и др.* Итоги 40-го и 41-го сеансов нуклотрона. Сообщение ОИЯИ Р9-2010-68. Дубна, 2010. 16 с.

## Физика тяжелых ионов

Завершен цикл экспериментов по синтезу нового элемента 117 в реакции полного слияния  $^{249}\text{Bk} + ^{48}\text{Ca}$ . Эксперименты были выполнены на газонаполненном сепараторе ЛЯР ОИЯИ в сотрудничестве с лабораториями в Ок-Ридже, Ливерморе, Университетом Вандербильта (США) и Институтом атомных реакторов в Димитровграде (Россия).

В двух экспериментах, проведенных при энергии бомбардирующих ионов  $^{48}\text{Ca}$  252 и 247 МэВ, был впервые синтезирован новый сверхтяжелый элемент с порядковым номером 117. В реакции  $^{249}\text{Bk}(^{48}\text{Ca}, 4n)^{293}117$  зарегистрировано пять ядер изотопа  $^{293}117$  ( $E_\alpha = 11,03$  МэВ,  $T_{1/2} = 14$  мс). Этот нуклид испытывает три последовательных  $\alpha$ -распада, ведущих к ядрам  $^{289}115$ ,  $^{285}113$  и спонтанно делящемуся изотопу  $^{281}\text{Rg}$  ( $T_{1/2} = 26$  с). Измеренное сечение образования ядер  $^{293}117$  составило 1,3 пб.

В реакции  $^{249}\text{Bk}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{294}117$  зарегистрирована цепочка распада из шести  $\alpha$ -распадов ядер  $^{294}117$  ( $E_\alpha = 10,81$  МэВ,  $T_{1/2} = 78$  мс),  $^{290}115$ ,  $^{286}113$ ,  $^{282}\text{Rg}$ ,  $^{278}\text{Mt}$ ,  $^{274}\text{Bh}$  и спонтанного деления  $^{270}\text{Db}$  ( $T_{1/2} = 23$  ч). Сечение реакции  $^{249}\text{Bk}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{294}117$  составило 0,5 пб.

Радиоактивные свойства 11 новых нуклидов демонстрируют существенный рост стабильности ядер с увеличением числа нейтронов и приближением к области действия сферических оболочек  $Z = 114-126$  и  $N = 184$ . Новые ядра наряду с другими, синтезированными ранее в реакциях с ионами  $^{48}\text{Ca}$ , создают согласованную картину свойств ядер в области наиболее тяжелых нуклидов. Они демонстрируют определяющую роль



ядерных оболочек и являются экспериментальным подтверждением существования предсказанной области сверхтяжелых элементов.

- *Oganessian Yu. Ts. et al.* Synthesis of a New Element with Atomic Number  $Z = 117$  // *Phys. Rev. Lett.* 2010. V.104. P. 142502.

### **Ядерная физика низких и промежуточных энергий**

В совместном ОИЯИ–INFN (Италия) эксперименте **PAINUC** наблюдалось рождение одиночных фотонов при «упругом» рассеянии отрицательных пионов на ядрах гелия при энергиях пионов 106 и 68 МэВ. Если рассматривать ядро как черное тело, то соответствующие планковские температуры  $E_{\text{Planck}}$  равны  $(14,4 \pm 1,6)$  и  $(14,6 \pm 1,1)$  МэВ соответственно. Создана также полуэмпирическая модель возбуждения коллективных резонансов, объясняющая наблюдаемые параметры неупругого рассеяния пионов на ядрах в области  $\Delta$ -резонанса, в частности, распределение инвариантных масс трех нуклонов, наблюдаемых при поглощении пионов в гелии.

- *Angelov N. S. et al.* // *European Physical Journal A. Hadrons and Nuclei*: EPJA-101452.R1.

Интернациональный эксперимент **EDELWEISS-II**, проводящийся с активным участием ОИЯИ, направлен на поиск WIMP-частиц небарионной темной материи при помощи криогенных HPGe-детекторов. В 2010 г. в эксперименте была набрана эффективная экспозиция в 322 кг · сут. Сечения спин-независимого взаимодействия WIMP–нуклон на уровне выше  $5,0 \cdot 10^{-8}$  пб ( $5,0 \cdot 10^{-44}$  см<sup>2</sup>) исключаются с 90 %-м уровнем доверительной вероятности для WIMP с массой 80 ГэВ/ $c^2$ . Это один из трех лучших результатов в мире. Дальнейшее увеличение массы детекторов в эксперименте в ходе следующих трех лет измерений позволит достичь беспрецедентной чувствительности в  $10^{-45}$  см<sup>2</sup> на спин-независимое рассеяние WIMP–нуклон.

- *Armengaud E. et al.* (*EDELWEISS collaboration*). First Results of the EDELWEISS-II WIMP Search Using Ge Cryogenic Detectors with Interleaved Electrodes // *Phys. Lett. B.* 2010. V. 687. P. 294–298.
- *Kozlov V. Yu. et al.* (*EDELWEISS collaboration*). A Detection System to Measure Muon-Induced Neutrons for Direct Dark Matter Searches // *Astropart. Phys.* 2010. V. 34. P. 97–105.

- Broniatowski A. et al. (EDELWEISS collaboration). A new high-background-rejection dark matter Ge cryogenic detector // Phys. Lett. B. 2010. V. 681. P. 305–309.
- Розов С. В. и др. (Коллаборация EDELWEISS). Система мониторинга потока тепловых нейтронов в эксперименте по поиску темной материи EDELWEISS-II // Изв. РАН. Сер. физ. 2010. Т. 74. С. 4.

В проекте **SPRING** выполняются исследования адронных взаимодействий с помощью установки ANKE на ускорителе COSY в Юлихе (Германия). Физиками ОИЯИ предложен и впервые выполнен ряд экспериментов с образованием дипротонной пары в конечном состоянии реакций. Полученные результаты позволяют прояснить динамику взаимодействий адронов при промежуточных энергиях. Исследованы процессы развала дейтрона протонами, пионного рождения, жесткого тормозного излучения.

- Dymov S. et al. // Phys. Rev. C. 2010. V. 81. P. 044001.
- Tsirkov D. et al. // J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 2010. V. 37. P. 105005.

### Нейтронная ядерная физика

Проведен теоретический анализ экспериментов по измерению спиновой релаксации поляризованного  $^3\text{He}$  в газовых ячейках на предмет извлечения ограничений на  $P$ ,  $T$ -неинвариантное дальнедействующее взаимодействие. Получены новые ограничения на  $P$ ,  $T$ -неинвариантное нуклон-нуклонное взаимодействие в диапазоне  $10^{-4}$ –1 см. Градиент дальнедействующего зависящего от спина нуклон-нуклонного взаимодействия между ядрами  $^3\text{He}$  и нуклонами стенок ячейки, содержащей поляризованный газ  $^3\text{He}$ , должен влиять на скорость его спиновой релаксации.

- Pokotilovski Yu. N. Limits on Short-Range Spin-Dependent Forces from Spin Relaxation of Polarized  $^3\text{He}$  // Phys. Lett. B. 2010. V. 686. P. 114–7.

Выполнена прецизионная аппроксимация полученных экспериментальных данных по плотности уровней ядер в области масс  $39 < A < 201$  моделью с предполагаемой энергетической зависимостью уровней вибрационного типа. Разработанная в Дубне методика определения плотности уровней возбужденного ядра при регистрации каскадов гамма-переходов радиационного захвата

нейтронов позволила понизить систематическую ошибку этой величины в 5–10 раз по сравнению с существующими данными. В результате их анализа удалось впервые в мире определить с хорошей достоверностью пороги разрыва второй и одной-двух последующих куперовских пар нуклонов и соответствующие им корреляционные функции.

- *Суховой А. М., Хитров В. А.* Прецизионная модельная аппроксимация дубненских данных по плотности уровней ядер области  $40 \leq A \leq 200$  ниже  $B_n$  // ЯФ. 2010. Т. 73, № 9. С. 1554–1562; *Sukhovej A. M., Khitrov V. A.* Precise Model Approximation of the Dubna Data on Nuclear Level Density in Region  $40 \leq A \leq 200$  below  $B_n$  // Phys. At. Nucl. 2010. V. 73, No. 9. P. 1507–1515.
- *Суховой А. М., Хитров В. А.* Возможность реализации непрямого эксперимента по определению сечения взаимодействия нуклона с произвольным ядром в широкой области энергии его возбуждения // ЯФ. 2010. Т. 73, № 10. С. 1683–1692; *Sukhovej A. M., Khitrov V. A.* The Possibility to Realize Indirect Experiment on Determination of Nucleon Interaction Cross Section with Excited Nucleus // Phys. At. Nucl. 2010. V. 73, No. 10. P. 1635–1644.

Изучено магнитное рассеяние нейтронов на магнитных наночастицах с вихревой и геликоидальной намагниченностью. Частицы могут быть как в свободном виде, так и в виде включений в магнитную среду. В последнем случае рассеяние может зависеть от величин и направлений однородных магнитных полей по обе стороны от границы раздела. Для решения задачи используется теория возмущений по методу искаженных волн и функция Грина, которая впервые записана в виде компактного спинорного выражения. Использование этой функции Грина позволило рассчитать сечения рассеяния и показать, что в случае магнитных вихрей сечения обладают асимметрией, а в случае геликоидальных наночастиц — резонансом, определяемым геликоидальным вектором.

- *Игнатович В. К.* Рассеяние на магнитных наноцилиндрах и метод искаженных волн в неколлинеарных полях // ТМФ. 2010. Т. 163, № 1. С. 140–155.

Совместно с Институтом физики им. Э. Андроникашвили (Тбилиси, Грузия) и Техническим университетом (Дельфт, Нидерланды) проведен нейтронно-активационный анализ образцов бактерий *Arthrobacter globiformis 151B* с целью изучения их способности к детоксификации хрома и ртути. Работа имеет большое прикладное значение для разработки методов очистки окружающей среды от токсичных металлов.

- *Tsibakhashvili N. et al.* NAA for Studying Detoxification of Cr and Hg by *Arthrobacter Globiformis 151B* // *J. of Radio-analytical and Nucl. Chem.* 2010. V. 286, No. 2. P. 533–537. DOI 10.1007/s10967-010-0815-y.

### Физика конденсированных сред

Предсказано явление расщепления нейтронной волны при процессах отражения и преломления нейтронов от нанослоя, помещенного в статическом магнитном поле и перпендикулярном ему осциллирующем магнитном поле. Проверка теоретических предсказаний была выполнена в экспериментальных исследованиях отражения нейтронов от нанослоев из пермаллоя толщиной 250 и 500 нм. Показано, что наряду с зеркальным отражением нейтронов наблюдается незеркальное отражение, имеющее резонансный характер. Полученные результаты указывают на возможность и необходимость развития нового, основанного на явлении нейтронного магнитного резонанса, метода исследования динамических характеристик слоистых наноструктур.

- *Ignatovich V. K., Nikitenko Yu. V., Radu F.* Neutron Refraction in Oscillating Magnetic Field // *Nucl. Instr. Meth. A.* 2010. V. 620. P. 410–413.
- *Ignatovich V. K., Nikitenko Yu. V., Radu F.* Interaction of Neutrons with Layered Magnetic Media in Oscillating Magnetic Field // *Physica B.* 2010.

Задача корректного описания распространения упругих волн в неоднородных и анизотропных горных породах имеет важное значение как для сейсмологии, так и для интерпретации лабораторных экспериментов по исследованию упругих свойств геоматериалов. Предложен способ учета анизотропии материала, приводящий к простому описанию, в частности, преломления и

отражения упругих волн на границах раздела анизотропных сред. На его основании получены зависимости скорости и амплитуды продольных упругих волн в образцах.

- *Nikitin A. N. et al.* Propagation of Quasi-Longitudinal and Quasi-Transverse Elastic Waves at an Interface between Isotropic and Anisotropic Media: Theoretical and Experimental Investigations // Proc. of the 32nd General Assembly of European Seismological Commission, Montpellier, France, September 6–10, 2010. P. 256.

С помощью малоуглового рассеяния нейтронов определена структура биосовместимых феррожидкостей для терапии раковых опухолей головного мозга человека. Для стабилизации наночастиц магнетита (размер  $\sim 10$  нм, полидисперсность  $> 50\%$ ) в жидкой среде использован двойной слой миристиновой или лауриновой кислот. Несмотря на сравнительно большие объемные доли диспергированного магнетита (до  $10\%$ ) при сохранении высокой стабильности, в образцах обнаружены компактные кластеры наночастиц с характерным размером в диапазоне  $30\text{--}40$  нм. Использование вариации контраста позволило определить характеристики внутренней структуры кластеров. В частности, обнаружено существенное различие в доле кислот в кластерах для двух типов феррожидкостей. Определена степень проникновения магнитных наночастиц исследуемых феррожидкостей в раковые клетки глиобластомы. Показано, что наночастицы обладают сравнительно низкой токсичностью в отношении клеток головного мозга.

- *Avdeev M. V. et al.* Structure and in Vitro Biological Testing of Water-Based Ferrofluids Stabilized by Monocarboxylic Acids // *Langmuir*. 2010. V. 26. P. 8503–8509.

Важнейшие свойства и функционирование биологических липидных мембран определяются уровнем их гидратации. На реакторе ИБР-2 исследованы процессы диффузии воды в липидной мембране ДПФХ в режиме реального времени. Времяпролетная методика и высокая скорость набора дифракционных спектров позволила проследить эволюцию внутренней структуры мембраны в ходе процессов гидратации и дегидратации парами воды и определить их характерные времена, а также получить данные о структуре равновесной системы и стандартно измеряемой временной зависимости периодичности мембраны. По-

лученные различные времена изменения структурных параметров мембраны (от нескольких минут до нескольких сотен минут) указывают на различные скорости обмена свободной воды в межмембранном пространстве и связанной воды в гидрофильной области бислоя ДПФХ. Исследования важны для изучения физических принципов механизма проникновения лекарственных веществ через биологические липидные мембраны.

- *Рябова Н. Ю. и др.* Исследование структуры многослойных липидных мембран методом дифракции нейтронов в реальном времени // *Физика твердого тела*. 2010. Т. 52, № 5. С. 984–991.

С помощью рассеяния нейтронов исследована атомная структура и динамика гидроксила никеля  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ , материала для электродов в химических источниках тока. На основе данных по неупругому некогерентному рассеянию нейтронов, а также КР- и ИК-спектроскопии проведен сравнительный анализ колебательных спектров и динамики решетки гидроксидов никеля и магния. Спектры оптических фононов, рассчитанные с использованием методов теории функционала плотности, хорошо согласуются с данными колебательной спектроскопии. Анализ матрицы силовых постоянных, определенных по результатам расчета, позволил предложить интерпретацию основных особенностей, проявляющихся в спектрах этих соединений. Метод функционала плотности выявляет особенности межуатомного взаимодействия, характерные для этих слоистых соединений, и указывает на существенную роль спинового взаимодействия в гидроксиде никеля. Показано, что этот метод может быть с успехом применен для разработки моделей структуры и динамики фазы  $\beta$ -NiOOH.

- *Kazimirov V. Yu. et al.* Lattice Dynamics of Ni and Mg Hydroxides // *Solid State Ionics*. 2010. V. 181. P. 1764–1770.

## **РАДИАЦИОННЫЕ И РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Продолжались работы, связанные с решением вопросов радиационной безопасности на проектируемом ускорительном комплексе **НИСА**. На основе программы GEANT4 выполнен расчет

защиты коллайдера в режиме накопления ядер золота с энергией 4,5 ГэВ/нуклон с учетом равномерно распределенных по кольцам потерь ядер и локальных потерь на перехватчиках пучка [1]. Предложена конфигурация защиты, обеспечивающая не превышение предела годовой дозы для населения на границе санитарно-защитной зоны за счет многократно рассеянных нейтронов и гамма-квантов. Подготовлены исходные данные для выполнения инженерных расчетов защиты (двойные дифференциальные сечения взаимодействия  $^{197}\text{Au} + \text{natFe}$  при энергии ядер 4,5 ГэВ/нуклон, коэффициенты ослабления флюенса нейтронов в бетоне, активация воздуха внутри защиты коллайдера). Начаты работы по оценке наведенной активности элементов коллайдера. Выполнена предварительная проверка программ GEANT4 и SHIELD по данным эксперимента в GSI (Германия) по облучению толстой железной мишени ядрами урана с энергией 1 ГэВ/нуклон, которая подтвердила применимость программы GEANT4 для поставленных целей [2]. Ведется расчет динамики накопления активности и дозы в предложенной модели перехватчиков пучка.

- Техническое задание на разработку проектной документации размещения ионного коллайдера NICA в здании 205 ЛФВЭ ОИЯИ в г. Дубне. 318Б-059-Т31, 2010.
- *Beskrovnaia L. et al.* Simulation of Residual Activity in Steel and Copper Targets Induced by 950 MeV/n Uranium Ions // Part. Nucl., Lett. 2011. V. 8, No. 4 (to be published).

В рамках совместных работ ОИЯИ и Института космических исследований РАН по программе исследования планет ядерно-физическими методами продолжались работы по исследованию характеристик и градуировке нейтронных детекторов и гамма-спектрометров для миссий LRO (LEND), «Фобос-Грунт» (HEND-Fobos), MSL (DAN), ISS (BTN-Neutron) и BepiColombo (MGNS). Выполнена градуировка детектора LaBr<sub>3</sub> в диапазоне энергий гамма-квантов до 10 МэВ на изотопных источниках и на гамма-квантах из реакций радиационного захвата и неупругого рассеяния нейтронов.

- *Tret'yakov V. et al.* The First Stage of the «BTN-Neutron» Space Experiment onboard the Russian Segment of the International Space Station // Cosmic Research. 2010. V. 48, No. 4. P. 285–299.

С помощью трековых детекторов исследована фрагментация ядер  $^{20}\text{Ne}$  с энергией 370 МэВ/нуклон и ядер  $^{24}\text{Mg}$  с энергией 470 МэВ/нуклон в легких мишенях.

- *Golovchenko A. N. et al.* Fragmentation of 370 MeV/nucleon  $^{20}\text{Ne}$  and 470 MeV/nucleon  $^{24}\text{Mg}$  in Light Targets // Radiation Measurements. 2010. V. 45, No. 7. P. 856–860.

В рамках проекта А-2.53 РУС-12/ИС-ХП «Разработка новых защитных материалов и новых ТЛД для целей радиационной безопасности» — комплексной долгосрочной программы сотрудничества России и Индии — продолжены работы по исследованию свойств новых термолюминесцентных фосфоров, изготовленных с использованием нано- и микротехнологий.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Производительность ЦИВК ОИЯИ достигла 2800 kSI2K, а емкость системы хранения данных составила 1068 Тбайт. ЦИВК ОИЯИ функционирует как составная часть мировой грид-инфраструктуры. Эффективная организация работы грид-сайта ОИЯИ позволила ему занять место в первой десятке грид-сайтов второго уровня, включенных в глобальную грид-инфраструктуру проекта LHC (WLCG — Worldwide LHC Computing Grid — более 160 сайтов второго уровня). Вклад ОИЯИ в решение задач в рамках российского грида для интенсивных операций с данными, объединяющего грид-сегменты ОИЯИ и 16 ресурсных центров в российских институтах и странах-участницах ОИЯИ, составил более 40 %.

Создана инфраструктура для освоения грид-технологий в среде gLite, состоящая из трех грид-сайтов ОИЯИ, а также грид-сайтов Института физики высоких энергий (Протвино), Института математики и информационных технологий АН Республики Узбекистан (Ташкент), Софийского университета (Болгария), Института теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова (Киев, Украина) и Киевского политехнического института (Украина).

Проведены согласующиеся с экспериментальными данными расчеты дифференциальных сечений упругого рассеяния  $K^+$  на ядрах  $^{12}\text{C}$  и  $^{40}\text{Ca}$  при энергиях 0,635, 0,715 и 0,8 ГэВ/с с использованием микроскопического оптического потенциала высокоэнергетического приближения, в котором учтены известные



из экспериментов данные каон-нуклонных амплитуд и функции распределения точечных нуклонов ядра-мишени.

- Лукьянов В. К. и др. // ЯФ. 2010. Т. 73, № 8. С. 1489–1496.

Получено обобщение теории рассеяния нескольких квантовых частиц на случай их кулоновского взаимодействия. Сформулирован метод регуляризации (устранения расходимостей) интегралов, описывающих члены ряда теории возмущений при различных возмущающих потенциалах, и приведен расчет дифференциальных сечений квазиупругой реакции ионизации атома водорода быстрым электроном.

- Чулуунбаатар О. и др. // ЭЧАЯ. 2010. Т. 41, вып. 2. С. 607–650.

Предложен алгоритм для оценки периода полураспада дочернего ядра в случае, когда неизвестно, какое ядро является для него материнским. Метод может быть применен в экспериментах с ядерными реакциями полного слияния, индуцированными тяжелыми ионами, если обнаруживаются последовательности редких распадов  $\text{resoil-}\alpha$  (и/или спонтанного деления) и при этом наблюдается более чем один статистически значимый  $\text{resoil-}$ кандидат для таких событий.

- Злоказов В. Б., Цыганов Ю. С. // Письма в ЭЧАЯ. 2010. Т. 7, № 6(162). С. 658–666.

Разработаны алгоритмы для решения задачи идентификации электронов и пионов в детекторе переходного излучения эксперимента **СВМ**. Обсуждаются особенности применения искусственных нейронных сетей (ИНС) и статистических методов для решения рассматриваемой проблемы. Проведен сравнительный анализ мощностей статистических критериев и ИНС.

- Акишина Е. П. и др. // Вестник РУДН. 2010. № 2(2). С. 76–84.

С использованием техники уравнения движения функций Грина получено строгое решение эффективной двухзонной модели Хаббарда высокотемпературной сверхпроводимости в приближении среднего поля в купратах, которая модифицирована для включения надлежащих граничных условий при нулевом легировании. Энергетические спектры, полученные как для нормального состояния, так и для состояния сверхпроводимости,

являются конечными по всей доступной области легирования, независимо от вида легирования купратов. Выявлено, что вызванная прыжковой электропроводностью гибридизация энергетических уровней нормальных состояний сохраняет центр тяжести негибридизированных уровней. Вместе с тем в зоне Бриллюэна происходит смещение центра тяжести гибридизированных нормальных уровней, что согласуется с полным смещением энергетического спектра состояния сверхпроводимости, обнаруженным в оптических измерениях очень высокой точности.

- *Адам Г., Адам С.* // Румынский физический журнал. 2010. Т. 55, № 5–6. С. 13–24.

Разработана вычислительная схема решения эллиптических краевых задач с аксиально-симметричными ограничивающими потенциалами, использующая различные наборы однопараметрических базисных функций. Эффективность предложенных символично-численных алгоритмов, реализованных в MAPLE, показана на примерах моделей сфероидальных квантовых точек, для которых вычислены энергетические спектры и соответствующие собственные функции в зависимости от отношения полуосей сфероидов в рамках приближения эффективных масс. Обнаружены критические значения отношения полуосей сфероидов, для которых дискретный спектр моделей с потенциалами стенки конечной высоты переходит в непрерывный в режиме сильного размерного квантования.

- *Gusev A. A. et al.* // Lecture Notes in Computer Science. V. 6244. Berlin/Heidelberg: Springer, 2010. P. 106–122.

Разработаны и программно реализованы на языке системы MAPLE эффективные символичные алгоритмы для декомпозиции систем нелинейных уравнений в частных производных на конечное число инволютивных подсистем с непересекающимися пространствами. Разработан новый алгоритмический подход к построению конечно-разностных аппроксимаций для линейных систем уравнений в частных производных.

- *Gerdt V. P.* // J. Math. Sci. 2010. V. 168, No. 3. P. 362–367.
- *Bächler T. et al.* // Lecture Notes in Computer Science. 2010. V. 6264. P. 31–54.
- *Gerdt V. P., Robertz D.* // Proc. of ISSAC 2010 (Munich, Germany, 25–28 July, 2010). ACM Press, 2010. P. 53–59.

## УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

В 2010 г. в УНЦ ОИЯИ обучались 436 студентов МГУ, МИФИ, МФТИ, университета «Дубна», государственных университетов Воронежа, Еревана, Иркутска, Костромы, Самары, Саратова, Твери, Тулы, Томского государственного политехнического университета, Уральского государственного технического университета, национальных университетов Казахстана, Узбекистана, Украины, Молдовы. В аспирантуре ОИЯИ обучались 68 человек из Армении, Белоруссии, Молдовы, РФ, Турции, Украины.

Летняя практика была организована для 48 студентов государственных университетов Новгорода, Твери, Тулы, Томского политехнического университета, Казанского государственного технологического университета, Ужгородского национального университета.

Участниками первого этапа ежегодной международной летней студенческой практики по направлениям исследований ОИЯИ стали 15 студентов из Египта. Практикантам были прочитаны ознакомительные лекции о ведущихся в лабораториях Института исследованиях; основная часть практики была посвящена работе над учебно-исследовательскими проектами по трем направлениям: грид-технологии, ускорительная техника и прикладные применения, нейтронная ядерная физика и прикладные применения. Затем на трехнедельную практику приехали 67 студентов из Белоруссии, Болгарии, Польши, Румынии, Сербии, Словакии, Чехии. Завершающий этап летней практики проходил для 29 студентов из ЮАР. Программа практик включала лекции ведущих специалистов Института и выполнение учебно-исследовательских проектов под руководством сотрудников лабораторий ОИЯИ.

В рамках сотрудничества с польскими университетами (программа «Боголюбов–Инфельд») для студентов Университета им. М. Кюри-Склодовской (Люблин) были организованы ежегодные курсы «Радиационная охрана и ядерная безопасность», а также ознакомительные курсы по направлениям исследований ОИЯИ — для студентов Горно-металлургической академии (Краков).

Проведены ознакомительные экскурсии в лаборатории ОИЯИ, занятия и демонстрации в физическом практикуме для школьни-

ков из г. Бытом (Польша), школьников из Берлина, для учащихся из школ Москвы, Дмитрова и Дубны.

4–10 июня в Дубне совместно с Европейской организацией ядерных исследований (ЦЕРН) была организована научная школа для учителей физики из стран-участниц ОИЯИ. В ее работе приняли участие 44 учителя из Белоруссии, Болгарии, России, Украины и Чехии. ОИЯИ участвовал в организации научной школы для учителей физики из стран-участниц ОИЯИ, проходившей с 31 октября по 6 ноября в ЦЕРН (Женева, Швейцария). 40 учителей физики из общеобразовательных учреждений России и Казахстана получили возможность осмотреть ускорители, познакомиться с физическими программами, интеллектуальным и техническим потенциалом ЦЕРН и ОИЯИ, чтобы поддержать и повысить у школьников интерес к современной физике.

ОИЯИ совместно с ЦЕРН провел восемь видеоконференций между Европейской организацией ядерных исследований и школами Тихвина (Ленинградская область), Кисловодска, Ульяновска, Екатеринбурга, Дмитрова, Волгограда, Снежинска с общим количеством участников более 800 человек. Школьники получили представление о современных научных исследованиях, о специфике физического эксперимента, особенностях научной работы.

Состоялась дистанционная практическая видеоконференция «Исследование космических лучей широких атмосферных ливней с использованием распределенного детектора РУСАЛКА» для учащихся школ и лицеев Дубны, Кисловодска и Ставрополя. Программа конференции включала презентацию образовательной программы ОИЯИ и университета «Дубна», лекцию «Космические лучи — открытие, характеристики, открытые вопросы, связь с астрономией и астрофизикой» и практическую часть — знакомство с работой научно-образовательного сайта «Ливни знаний».

#### **ОБЩИЕ ДАННЫЕ О КОЛИЧЕСТВЕ ПУБЛИКАЦИЙ СОТРУДНИКОВ ОИЯИ (с 11.11.2009 по 13.11.2010)**

- Книги — 21:

*Ахмедов А. И., Кураев Э. А., Быстрицкий Ю. М., Кокоулина Е. С.* Уравнения в частных производных и методы математической физики: Учеб. пособие. — Дубна: ОИЯИ, 2009. — 148 с. —

(Учебно-метод. пособия Учебно-научного центра ОИЯИ. УНЦ; 2009-40). — Библиогр.: с. 147–148.

*Bilenky S.* Introduction to the Physics of Massive and Mixed Neutrinos. — Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. — XIV, 256 p. — (Lecture Notes in Physics; V. 817). — Bibliogr.: p. 245–252. <http://www.springer.com/physics/book/978-3-642-14042-6>

International Large Detector: Letter of Intent / ILD Concept Group, H. Stoeck, A. Olchevski [a.o.]. — Hamburg: DESY. — Batavia: FERMILAB. — Tsukuba: KEK, 2010. — X, 164 p.: ill. — (DESY; 2009-87) (FERMILAB-Pub; 09-682-E) (KEK Report; 2009-6). — Bibliogr.: p. 153–163. <http://ccdb4fs.kek.jp/tiff/2009/0924/0924006.pdf>

*Plakida N.* High-Temperature Cuprate Superconductors: Experiment, Theory, and Applications / N. Plakida. — Berlin [etc.]: Springer-Verlag, 2010. — X, 570 p.: ill. — (Springer Series in Solid-State Sciences; V. 166). Bibliogr.: p. 513–564.

*Багинян С. А., Иванов В. В., Севастьянов Л. А.* Дискретная математика: математическая логика, элементы теории кодирования и теории графов: Учеб. пособие. — Дубна: ОИЯИ, 2009. — 73 с.: ил. — (Учебно-метод. пособия Учебно-научного центра ОИЯИ. УНЦ; 2009-39). — Библиогр.: с. 73.

*Белушкин А. В.* Основы исследований свойств конденсированных сред с помощью рассеяния нейтронов: Учеб. пособие. — Дубна: ОИЯИ, 2010. — 188 с.: ил. — (Учебно-метод. пособия Учебно-научного центра ОИЯИ. УНЦ; 2010-43).

*Блохинцев Д. И.* Избранные труды: [в 2 т.] / Ред.: Б. М. Барбашов и В. В. Нестеренко. — М.: Физматлит, 2009.

Т. 1: Оптика. Физика твердого тела. Акустика. Ядерная энергетика. Воспоминания / Ред.: Б. М. Барбашов и В. В. Нестеренко, 2009. — 575 с.: ил. — Библиогр. список тр. Д. И. Блохинцева: с. 540–575.

<http://www.fml.ru/book/showbook/1032>

Т. 2: Принципиальные вопросы квантовой механики. Квантовая теория поля и теория элементарных частиц. Выступления по общим вопросам науки / Ред.: Б. М. Барбашов и В. В. Нестеренко, 2009. — 742 с.: ил. — Библиогр. в конце разд.

<http://www.fml.ru/book/showbook/1301>

*Боголюбов Н. Н.* Избранные университетские лекции / Ред.-сост.: А. Д. Суханов. — М.: Изд-во Московского ун-та, 2009. — 775 с.: ил.

*Калинкин Б. Н., Шмонин В. Л., Амеев С. Ш.* Кумулятивный эффект в релятивистской ядерной физике. — Алматы: Б. и., 2010. — 136 с.: ил. — Библиогр.: с. 101–102, в конце прил.

*Калинников В. А.* Разработка Windows-приложений с помощью API-функций на основе объектно-ориентированного языка C++: Учеб. пособие. — Дубна: ОИЯИ, 2009. — 99 с.: ил. — (Учебно-метод. пособия Учебно-научного центра ОИЯИ. УНЦ; 2009-41). — Библиогр.: с. 99.

*Калинников В. А.* Разработка Windows-приложений с помощью MFC-библиотеки классов в среде программирования Microsoft Visual C++2008: Учеб. пособие. — Дубна: ОИЯИ, 2010. — 136 с.: ил. — (Учебно-метод. пособия Учебно-научного центра ОИЯИ. УНЦ; 2010-45). — Библиогр.: с. 136.

*Колтовая Н. А.* Руководство к практическим занятиям по молекулярной биологии: Учеб. пособие. — Дубна: ОИЯИ, 2010. — 112 с.: ил. — (Учебно-метод. пособия Учебно-научного центра ОИЯИ. УНЦ; 2010-44). — Библиогр.: с. 107.

*Корогодин В. И.* Феномен жизни: Избранные труды: в 2 т. Т. 1. / Сост. и коммент.: В. Л. Корогодина. — М.: Наука, 2010. — 436 с.: ил. — Библиогр.: в конце работ.

*Легар Ф., Строковский Е. А.* Феноменология, формализм и процедуры анализа нуклон-нуклонного рассеяния: Учеб. пособие. — Дубна: ОИЯИ, 2010. — 127 с. — (Учебно-метод. пособия Учебно-научного центра ОИЯИ. УНЦ; 2010-42). Содерж.: Включен перевод на рус. яз. ст. *Bystricky J., Lehar F., Winternitz P.* Formalism of Nucleon-Nucleon Elastic Scattering Experiments // *Le Journal de Physique.* 1978. V. 39, No. 1).

*Нестеренко А. В.* Теоретическое описание процессов сильного взаимодействия во времениподобной области: Учеб. пособие для студ. физ. фак. — М.: Физический факультет МГУ, 2009. — 103 с. Библиогр.: с. 89–103.

*Родкин М. В., Никитин А. Н., Васин Р. Н.* Сейсмотектонические эффекты твердофазных превращений в геоматериалах. —

М.: ГЕОС, 2009. — 200 с.: ил. — Библиогр.: с.175–193.  
[http://www.geos-books.ru/Images/Rodkin\\_2009/Rodkin-ogl.pdf](http://www.geos-books.ru/Images/Rodkin_2009/Rodkin-ogl.pdf)

*Сисакян А. Н.* Дружба. Творчество. Память. 2009. — [Изд. 2-е, доп. и испр.]. — Дубна: ОИЯИ, 2009. — 407 с.: ил. — Литературные публ. А. Н. Сисакяна: с. 398–399.

*Сисакян А. Н.* Анамнез: к 80-летнему юбилею выдающегося российского кардиолога профессора А. Л. Сыркина. — Дубна: ОИЯИ, 2010. — 9, [3] с.: цв. ил.

*Титкова И. В., Бедняков В. А.* О возможности разделения механизмов двойного безнейтринного бета-распада. — Дубна: ОИЯИ, 2009. — 122 с.: ил. — (ОИЯИ; Р4-2009-51). — Библиогр.: с. 114–118.

*Фронтасьева М. В.* Нейтронный активационный анализ на реакторе ИБР-2 ЛНФ ОИЯИ. — Дубна: ОИЯИ, 2009. — 40 с.: ил. — (Учебно-метод. пособия Учебно-научного центра ОИЯИ. УНЦ; 2009-38). — Библиогр.: с. 39–40.

- Журнальные статьи — 758
- Публикации в трудах конференций — 715
- Препринты — 168
- Авторефераты диссертаций — 22
- **Всего: 1684**

Редактор *Е. В. Сабеева*

Подписано в печать 04.02.2011.

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

Усл. печ. л. 1,75. Уч.-изд. л. 1,51. Тираж 135 экз. Заказ № 57236.

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

E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)