

## Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флерова

В официальном пресс-релизе от 8 июня 2016 г. Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC) вынес свое определение по предложенным названиям новых химических элементов Периодической таблицы Д.И. Менделеева с атомными номерами 113, 115, 117 и 118.

Авторами открытия новых элементов предложены названия:

- «нихоний» и символ Nh для элемента 113,
- «московский» и символ Mc для элемента 115,
- «теннессин» и символ Ts для элемента 117,
- «оганесон» и символ Og для элемента 118.

Отделение неорганической химии IUPAC рассмотрело и изучило эти предложения и рекомендовало принять их. С этого времени отводится пять месяцев на их публичное обсуждение до официального утверждения Советом IUPAC.

Рекомендации по наименованию были в последнее время пересмотрены и доведены до сведения авторов открытий с целью оказания помощи при внесении предложений. Следуя традиции, вновь открытые элементы могут быть названы: а) по имени мифологического персонажа или понятия (включая астрономический объект), б) по

## Flerov Laboratory of Nuclear Reactions

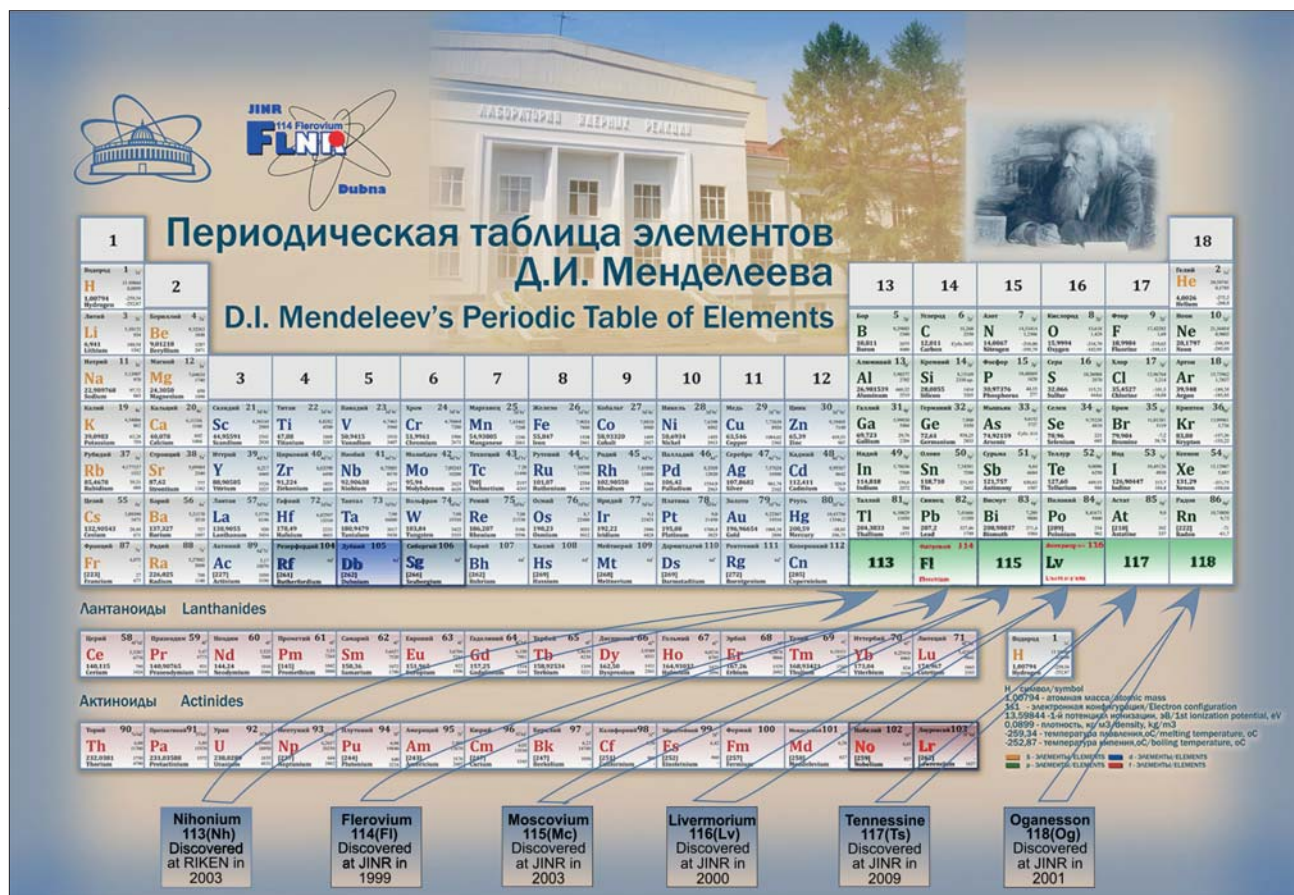
In the official press release of 8 June 2016, IUPAC introduced their definition on the proposed names, as follows:

The discoverers have been invited to propose names and the following are now disclosed for public review:

- Nihonium and symbol Nh, for element 113,
- Moscovium and symbol Mc, for element 115,
- Tennessine and symbol Ts, for element 117, and
- Oganesson and symbol Og, for element 118.

The IUPAC Inorganic Chemistry Division has reviewed and considered these proposals and recommends these for acceptance. A five-month public review is now set, expiring 8 November 2016, prior to the formal approval by the IUPAC Council.

The guidelines for the naming the elements were recently revised and shared with the discoverers to assist in their proposals. Keeping with tradition, newly discovered elements can be named after: a) a mythological concept or character (including an astronomical object), b) a mineral or similar substance, c) a place or



Новая карта химических элементов

A new table of chemical elements

названию минерала или аналогичного вещества, в) по названию населенного пункта или географической области, г) в соответствии со свойствами элемента или д) по имени ученого. В общем случае наименования всех элементов должны иметь окончания, которые бы отражали и сохраняли единообразие с точки зрения истории и химической науки. В целом это окончание «-ium» для элементов, принадлежащих группам 1–16, «-ine» — для элементов группы 17 и «-on» — для элементов группы 18. Наконец, английские наименования новых химических элементов должны адекватно переводиться на другие основные языки.

Для элемента с атомным номером 113 авторы его открытия из RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science (Япония) предложили название «нихоний» (nihonium) и символ Nh. «Нихон» — один из вариантов японского произношения слова «Япония» и означает буквально «Страна восходящего солнца».

Для элемента с атомным номером 115 предложено название «московский» (moscovium) и символ Mc, а для элемента с атомным номером 117 — «теннессин» (tennessine) и символ Ts. Оба наименования следуют традиции, они даны в честь места или географической области и предложены совместно первооткрывателями (авторами открытий) из Объединенного института ядерных исследований в Дубне (Россия), Окриджской национальной лаборатории (США), Университета Вандербильта (США) и Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса (США).

Название «московский» отдает должное Московскому региону, оно дано в честь древней Русской земли, где находится Объединенный институт ядерных исследований, где в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова проведены приведшие к открытиям эксперименты с использованием дубненского газонаполненного сепаратора ядер отдачи и потенциала ускорителя тяжелых ионов.

Название «теннессин» дано в знак признания вклада региона Теннесси, в том числе Окриджской национальной лаборатории, Университета Вандербильта и Университета Теннесси в Ноксвилле, в исследования сверхтяжелых элементов; работа включала накопление и химическое выделение уникальных актинидных мишенных материалов для синтеза сверхтяжелых элементов на высокопоточном изотопном реакторе Окриджской лаборатории и в Центре развития радиохимической технологии.

Для элемента с атомным номером 118 сотрудничающие команды авторов его открытия из Объединенного института ядерных исследований в Дубне (Россия) и Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса (США) предложили название «оганессон» (oganesson) и символ Og. Предложение следует традиции оказания чести и отражает признание новаторского вклада профессора Ю. Ц. Оганесяна в исследование трансактинидных элементов. В числе его многих достижений — открытие сверхтяжелых элементов и значительный прогресс в ядерной фи-

geographical region, d) a property of the element, or e) a scientist.

The names of all new elements in general would have an ending that reflects and maintains historical and chemical consistency. This would be in general “-ium” for elements belonging to groups 1–16, “-ine” for elements of group 17 and “-on” for elements of group 18. Finally, the names for new chemical elements in English should allow proper translation into other major languages.

For the element with atomic number 113 the discoverers at RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science (Japan) proposed the name “nihonium” and the symbol Nh. Nihon is one of the two ways to say “Japan” in Japanese and literally means “the Land of Rising Sun”.

For the element with atomic number 115 the name proposed is moscovium with the symbol Mc, and for the element with atomic number 117 the name proposed is tennessine with the symbol Ts. These are in line with tradition honoring a place or geographical region and are proposed jointly by the discoverers at the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna (Russia), Oak Ridge National Laboratory (USA), Vanderbilt University (USA), and Lawrence Livermore National Laboratory (USA).

Moscovium is in recognition of the Moscow region and honors the ancient Russian land that is the home of the Joint Institute for Nuclear Research, where the discovery experiments were conducted using the Dubna Gas-Filled Recoil Separator in combination with the heavy ion accelerator capabilities of the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions.

Tennessine is in recognition of the contribution of the Tennessee region, including Oak Ridge National Laboratory, Vanderbilt University, and the University of Tennessee at Knoxville, to superheavy element research, including the production and chemical separation of unique actinide target materials for superheavy element synthesis at ORNL’s High Flux Isotope Reactor (HFIR) and Radiochemical Engineering Development Center (REDC).

For the element with atomic number 118 the collaborating teams of discoverers at the Joint Institute for Nuclear Research (Dubna, Russia) and Lawrence Livermore National Laboratory (USA) proposed the name “oganesson” and symbol Og. The proposal is in line with the tradition of honoring a scientist and recognizes Professor Yuri Oganessian for his pioneering contributions to transactinoid elements research. His many achievements include the discovery of superheavy elements and significant advances in the nuclear physics of superheavy nuclei including experimental evidence for the “island of stability”.



зике сверхтяжелых элементов, включая экспериментальное подтверждение существования «острова стабильности».

После завершения общественного обсуждения окончательное решение будет опубликовано в журнале IUPAC «Pure and Applied Chemistry».

В целом решение IUPAC является признанием выдающегося вклада ученых ОИЯИ в открытие «острова стабильности» сверхтяжелых элементов — одно из важнейших достижений современной ядерной физики.

After the lapse of the public review, the final Recommendations will be published in the IUPAC journal *Pure and Applied Chemistry*.

On the whole, the decision of IUPAC is the acknowledgement of the outstanding contribution of JINR scientists to the discovery of the “stability island” of superheavy elements that is a most important achievement in modern nuclear physics.



Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова.  
Строительство фабрики сверхтяжелых элементов

The Flerov Laboratory of Nuclear Reactions. The construction  
of the factory of superheavy elements

**Лаборатория теоретической физики  
им. Н. Н. Боголюбова**

Модифицированная статистическая модель точки разрыва была использована для описания деления актинидов. Ключевым элементом модели является вычисление поверхностей потенциальной энергии. Знание деформаций ядер, формирующих двойные ядерные системы в момент разрыва, имеет решающее значение. Простое ограничение максимальных значений деформаций ядер в двойной ядерной системе, предложенное в данной работе, имитирует динамические эффекты, сохраняя при этом все характерные особенности статистической модели. Было получено хорошее описание зарядовых и массовых распределений, изотопных тенденций и полной кинетической энергии осколков деления в реакциях  $^{235}\text{U}+n$  и  $^{239}\text{Pu}+n$ .

Для этих реакций было изучено влияние энергии возбуждения на форму массового, зарядового и изотопного распределений осколков деления при относительно больших энергиях налетающих нейтронов (до 55 МэВ). Показано, что эволюция этих характеристик деления, а также средней полной кинетической энергии осколков деления с ростом энергии связана с уширением и миграцией минимумов на поверхности по-

тенциальной энергии. Важным результатом является сохранение асимметричных форм распределения массы и заряда осколков деления при достаточно высоких энергиях возбуждения делящегося ядра.

Можно надеяться, что представленные предсказания энергетической зависимости наблюдаемых деления будут стимулировать будущие эксперименты по изучению нейтронно-индуцированного деления при более высоких энергиях столкновения. Детальное сравнение наших предсказаний и новых экспериментальных данных, как ожидается, может дать дополнительную информацию о процессе деления. Данная модель также может быть использована для описания деления, вызванного гамма-квантами, заряженными частицами и нуклонной передачей, при больших энергиях возбуждения.

*Pasca H., Andreev A. V., Adamian G. G., Antonenko N. V., Kim Y. // Phys. Rev. C. 2016. V.93. P.054602.*

Среди решений уравнений Максвелла в составных средах выделенными являются электромагнитные колебания, локализованные вблизи поверхности раздела. Они свободно распространяются вдоль этой поверхности, экспоненциально спадая в нормальном к ней направлении. Подобные решения, которые обыч-

**Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics**

The improved scission-point statistical model was employed to describe the fission reactions with actinides. The key element of the model is the calculation of the potential energy surfaces. The knowledge of the deformations of the nascent dinuclear system at the moment of scission is crucial. The simple restriction of maximum deformations of the nuclei in the dinuclear system tries to mimic some dynamical effects while still retaining all the features of the statistical model. A good description of the charge and mass distributions, isotopic trends and the total kinetic energy of the fission fragments in the reactions  $^{235}\text{U}+n$  and  $^{239}\text{Pu}+n$  was obtained.

For these reactions, the influence of the excitation energy on the shape of the mass, charge, and isotopic distributions of fission fragments for higher neutron energies (up to 55 MeV) was studied. The evolution of these fission characteristics as well as of the average total kinetic energies of fission fragments with increasing energy was shown to be related to the widening and migration of the minima in the potential energy surface. The important result was the conservation of the asym-

metric shapes of the mass and charge distributions of the fission fragments at high enough excitation energies of fissioning nucleus.

One can hope that the presented predictions of energy dependence of the fission observables will encourage future experiments to explore the neutron-induced fission at higher bombarding energies. The detailed comparisons between our predictions and new experimental data are expected to add to our understanding of the fission process. The present model can also be employed for the description of electromagnetic-, charge-particle-, and nucleon-transfer-induced fission at high excitation energies.

*Pasca H., Andreev A. V., Adamian G. G., Antonenko N. V., Kim Y. // Phys. Rev. C. 2016. V.93. P.054602.*

In compound media, among the solutions of Maxwell equations those localized near the interface are in the focus. They freely propagate along this surface, falling exponentially in the direction normal to it. These solutions, usually called surface plasmons, for example, give a decisive contribution to the Casimir attraction of neutral metallic plates at short distances,  $d \leq 10$  nm. The

но называют поверхностными плазмонами, дают основной вклад, например, в казимировское притяжение нейтральных металлических пластин на малых расстояниях,  $d \leq 10$  нм. Частоты плазменных колебаний определяются свойствами поверхности, которая поддерживает их существование.

Могут ли плазмоны распространяться по листу графена и как получить его коэффициенты отражения? Ответы на эти вопросы дает квантово-полевая модель Дирака. В этой модели электромагнитное поле взаимодействует со спинорным полем, «живущим» на двумерной поверхности. Сделано обобщение модели Дирака для случаев ненулевой массы носителей, ненулевого химического потенциала и конечной температуры.

Отражение электромагнитных волн от листа графена подчиняется уравнениям Максвелла с условиями шивки, в которые входит поляризационный тензор. В ведущем порядке теории возмущений ему соответствует однопетлевая диаграмма Фейнмана для 2+1-мерных фермионов, взаимодействующих с 3+1-мерными фотонами. Поляризационный тензор был вычислен при конечной температуре, после чего коэффициенты отражения удалось выразить через его компоненты. При частоте, равной частоте поверхност-

ного плазмона, коэффициенты отражения имеют полюс. Из этого условия были получены законы дисперсии поверхностных плазмонов для обеих поляризаций электромагнитного поля.

Было рассмотрено влияние конечной температуры на поверхностные плазмоны графена с конечной массовой щелью и нулевым химическим потенциалом. При нулевой температуре в отсутствие химического потенциала плазмонное решение существует только в поперечно-электрической (ТЕ) поляризации электромагнитного поля. Показано, что с ростом температуры это решение слабеет, зато возникает и растет поперечно-магнитный плазмон. Дана оценка максимальной температуры, при которой исчезает ТЕ-плазмон. Например, для массовой щели  $\sim 5 \cdot 10^{-3}$  эВ эта температура составляет примерно 226 К. Обнаружено некоторое сходство между влиянием температуры и конечного химического потенциала.

*Bordag M., Pirozhenko I. G. QED and Surface Plasmons on Graphene // Int. J. Mod. Phys. A. 2016. V. 31. P. 1641027.*

*Bordag M., Pirozhenko I. Surface Plasmon on Graphene at Finite  $T$  // Int. J. Mod. Phys. B. 2016. V. 30. P. 1650120.*

Разработкой моделей квантового магнетизма для многочисленного семейства новых функциональных

frequencies of plasmonic oscillations are defined by the properties of the surface supporting their existence.

Can plasmons propagate along a graphene sheet and how to compute its reflection coefficients? The answers to these questions are given within the Dirac quantum field model of graphene. In this model the electromagnetic field interacts with a spinor field living on the two-dimensional surface. The generalizations for nonzero carriers' mass, nonzero chemical potential and finite temperature are performed.

The reflection of the electromagnetic waves by a graphene sheet obeys the Maxwell equations with matching conditions, which comprise a polarization tensor computed within the Dirac model. In the leading order of perturbation theory it corresponds to a one-loop Feynmann diagram with 2+1-dimensional fermions interacting with 3+1-dimensional photons. The polarization tensor was derived at finite temperature, and then the reflection coefficients were expressed in terms of its components. At the plasmon frequency a reflection coefficient has a pole. This condition was used to obtain the dispersion laws for surface plasmons in both polarizations of the electromagnetic field.

The influence of temperature on the surface plasmons on graphene with a finite mass gap and a zero chemical potential was studied. At zero temperature, without chemical potential the plasmonic solution exists only in transverse electric polarization. It was demonstrated that with increasing temperature this solution faints, while the transverse magnetic plasmon emerges and grows. An estimate was given for a maximal temperature which corresponds to vanishing TE-plasmon. For example, with the mass gap achieving  $\sim 5 \cdot 10^{-3}$  eV, the approximate temperature is about 226 K. Certain similarities of these features with those found previously in the case with the nonzero chemical potential but zero temperature were observed.

*Bordag M., Pirozhenko I. G. QED and Surface Plasmons on Graphene // Int. J. Mod. Phys. A. 2016. V.31. P. 1641027.*

*Bordag M., Pirozhenko I. Surface Plasmon on Graphene at Finite  $T$  // Int. J. Mod. Phys. B. 2016. V.30. P. 1650120.*

Models describing quantum magnetism in a wide family of new functional materials — iridium oxides — are now elaborated by the international team of researchers from Great Britain, Germany, Greece, India, Russia, Romania, and Japan. From JINR, the leading scientific



материалов — оксидов иридия — занята интернациональная группа исследователей из Великобритании, Германии, Греции, Индии, России, Румынии и Японии. От ОИЯИ в работе участвует ведущий научный сотрудник Лаборатории теоретической физики В. Ю. Юшанхай. Среди многочисленных научных публикаций, выпущенных группой за последние три года, вторая на их счету статья в «Nature Communications» опубликована в 2016 г.

В своей работе авторы исследовали следствия слабого нарушения гексагональной симметрии планарной решеточной структуры, формирующей последовательность магнитных слоев в одном из недавно синтезированных слоистых оксидов иридия. Равновесное искажение решетки также приводит к понижению симметрии магнитных связей между узлами решетки. Используя компьютерные программы для квантово-химических кластерных вычислений в комбинации с

аналитическими методами многочастичной квантовой теории, авторы работы сформулировали и обосновали оригинальную модель магнитных взаимодействий и на ее основе теоретически предсказали новый тип магнитного основного состояния, названный «структурой триплетных димеров на эффективной треугольной решетке с фрустрированным взаимодействием». Данное предсказание может быть проверено с применением методов нейтронной дифракции и магнитной нейтронной спектроскопии.

Оксиды иридия, как совершенно новый класс магнитных материалов, свойства которых полностью обусловлены квантовыми эффектами, оказались в центре внимания исследователей из многих научных центров после выхода в 2009–2011 гг. серии работ Г. Джакели с соавторами. Грузинский ученый Г. Джакели, работавший в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ до 1999 г. и защитивший здесь кандидатскую



Дубна, апрель. Коллектив молодых ученых, удостоенных премии президента Украины за лучшую работу по физике. Слева направо: Т. В. Тропин (ЛНФ ОИЯИ), В. И. Петренко, Е. А. Кизима (Киевский национальный университет им. Т. Г. Шевченко)

Dubna, April. A group of young scientists awarded with the Prize of the President of Ukraine for the best paper in physics. Left to right: T. Tropin (FLNP JINR), V. Petrenko and E. Kizima (Kiev National University after T. Shevchenko)

researcher of the Laboratory of Theoretical Physics V. Yu. Yushankhai participates in this work. Among numerous scientific publications issued by the team over the last three years, their second article in “Nature Communications” appeared in 2016.

In this work, devoted to the study of recently synthesized layered iridium oxides, the authors considered consequences of a weak breaking of hexagonal structural symmetry in the lattice forming the sequence of magnetic layers. The equilibrium distortion of the lattice leads also to the lowering of symmetry of magnetic intersite bonds. With the use of the computer codes for quantum-chemical cluster calculations in combination with the methods of quantum many-particle theory, the authors offered and

substantiated the original model of magnetic interactions. On this basis, they predicted theoretically the new type of the magnetic ground state that was called “the structure of triplet dimers on an effective triangle lattice”. The prediction can be verified by means of neutron diffraction and neutron magnetic spectroscopy.

Iridium oxides as an entirely new class of magnetic materials, whose properties are caused by quantum effects, were the focus of attention of many researchers from numerous scientific centres after the series of papers by G. Jakeli and coauthors, which appeared during 2009–2011. Georgian scientist George Jakeli, who worked at the Laboratory of Theoretical Physics till 1999 and defended there his PhD thesis under the supervision of V. Yu. Yushankhai and

диссертацию под руководством В.Ю. Юшанхая и Н.М. Плакиды, в настоящее время руководит научным проектом в Институте физики твердого тела Общества им. М. Планка (Штутгарт, Германия).

*Nishimoto S., Katukuri V., Yushankhai V., Stoll H., Roessler U., Hozoi L., Rousochatzakis I., Brink J. van den.* Strongly Frustrated Triangular Spin Lattice Emerging from Triplet Dimer Formation in Honeycomb  $\text{Li}_2\text{IrO}_3$  // *Nature Commun.* 2016. V. 7. P. 10273.

### Лаборатория информационных технологий

В работе «Лагранжевы связи и дифференциальная декомпозиция Томаса» показано, как алгоритмически вычислить полный набор алгебраически независимых связей для сингулярных механических и теоретико-полевых моделей с полиномиальными лагранжианами. Если рассматриваемая модель в целом (глобально) не сингулярна, но в отдельных областях динамических (полевых) переменных лагранжиан модели становится сингулярным, то наш подход позволяет определить все такие области сингулярности и вычислить соответствующие (локальные) связи. При этом мы предполагаем, что лагранжиан является дифференциальным многочленом, и применяем дифференциальную декомпозицию Томаса к уравнениям Эйлера–Лагранжа.

*Gerdt V.P., Robertz D.* // *Adv. Appl. Math.* 2016. V. 72. P. 113–138.

Предложен новый подход к полиномиальной аппроксимации (сглаживанию) высоких порядков, основанный на методе базисных элементов (МБЭ). Конструкция МБЭ-многочлена строится на трехточечной сетке и зависит от управляющих параметров  $x_0$ ,  $\alpha = x_\alpha - x_0$ ,  $\beta = x_\beta - x_0$ , функционально связанных с независимой переменной  $\tau = x - x_0$  правилом двойного отношения четырех точек. МБЭ-многочлен степени  $n$  определяется по четырем базисным элементам, заданным на трехточечной сетке:  $x_0 + \alpha < x_0 < x_0 + \beta$ ,  $\alpha\beta < 0$ . Для вычисления коэффициентов полиномиальной модели 12-го порядка получены формулы, зависящие от длины интервала, параметров  $\alpha$ ,  $\beta$  и значений  $f^{(m)}(x_0 + v)$ ,  $v = \alpha, \beta, 0$ ,  $m = \overline{0,3}$ . Применение МБЭ-многочленов высоких степеней для кусочно-полиномиальной аппроксимации функций и сглаживания экспериментальных данных повышает устойчивость и точность вычислений при увеличении шага сетки, а также понижает вычислительную сложность алгоритмов.

*Dikusar N.D.* // *Math. Models Comp. Simul.* 2016. V. 8, No. 2. P. 183–200.

N. M. Plakida, is now leading a scientific project at the Max Planck Institute for Solid State Research.

*Nishimoto S., Katukuri V., Yushankhai V., Stoll H., Roessler U., Hozoi L., Rousochatzakis I., Brink J. van den.* Strongly Frustrated Triangular Spin Lattice Emerging from Triplet Dimer Formation in Honeycomb  $\text{Li}_2\text{IrO}_3$  // *Nature Commun.* 2016. V. 7. P. 10273.

### Laboratory of Information Technologies

The paper entitled “Lagrangian Constraints and Differential Thomas Decomposition” analyzes how to compute algorithmically a full set of algebraically independent constraints for singular mechanical and field-theoretical models with polynomial Lagrangians.

If the model under consideration is not singular as a whole (globally) but has domains of dynamical (field) variables where its Lagrangian becomes singular, this approach allows one to detect such domains and compute the relevant constraints. In doing so, we assume that the Lagrangian of the model is a differential polynomial and apply the differential Thomas decomposition algorithm to the Euler–Lagrange equations.

*Gerdt V.P., Robertz D.* // *Adv. Appl. Math.* 2016. V. 72. P. 113–138.

A new approach to the higher-order polynomial approximation (smoothing) based on the basic elements method (BEM) is proposed. The design of the BEM polynomial is built on a three-point grid and depends on the control parameters  $x_0$ ,  $\alpha = x_\alpha - x_0$ ,  $\beta = x_\beta - x_0$  related to the independent variable  $\tau = x - x_0$  by a cross-ratio rule. The BEM polynomial of degree  $n$  is expressed using four basic elements given on the three-point grid:  $x_0 + \alpha < x_0 < x_0 + \beta$ ,  $\alpha\beta < 0$ . Formulas for calculating the coefficients of the polynomial model of order 12 were derived. These formulas depend on the interval length, the parameters  $\alpha$  and  $\beta$ , and the derivatives  $f^{(m)}(x_0 + v)$ ,  $v = \alpha, \beta, 0$ ,  $m = \overline{0,3}$ . Application of the higher-degree BEM polynomials for piecewise-polynomial approximation of functions and data smoothing improves the stability and accuracy of calculations when the grid step is increased and reduces the computational complexity as well.

*Dikusar N.D.* // *Math. Models Comp. Simul.* 2016. V. 8, No. 2. P. 183–200.

### Лаборатория радиационной биологии

Продолжены исследования по моделированию биологического действия галактического космического излучения в наземных условиях. Проведен сеанс облучения лабораторных животных (крыс линии Sprague–Dawley) протонами терапевтического пучка фазотрона ЛЯП ОИЯИ с целью изучения влияния радиации на функции центральной нервной системы. Суммарно в эксперименте использовано 64 самца крыс в возрасте 8 недель. Десять животных составили группу необлученного контроля, а остальные были облучены в краниокаудальном положении протонами с энергией 170 МэВ в дозе 1 Гр.

Одной из задач проводимого эксперимента является изучение динамики поведенческих реакций после воздействия разных видов излучений на организм крыс. Также отобран биологический материал для изучения морфологических изменений в головном мозге. Для анализа цитогенетических повреждений, возникающих в костном мозгу животных, используется стандартный метафазный метод. Для исследования формирования и элиминации радиационно-индуцированных двунитевых разрывов ДНК (ДР ДНК) в клетках гиппокампа и мозжечка применяется методика иммуногистохимиче-

ского окрашивания срезов тканей головного мозга крыс с использованием флуоресцентных антител для белков маркеров ДР ДНК — фосфорилированного гистона  $\gamma$ H2AX и репарационного белка 53BP1. Такие работы, проводимые в основном с использованием мелких экспериментальных животных — крыс и мышей, нацелены на выявление молекулярных механизмов, которые могут лежать в основе изменений поведения и оперативной памяти, наблюдаемых у экспериментальных животных после облучения.

Проводимые исследования являются частью научной программы лаборатории по изучению поведенческих, нейрохимических, клеточных и морфологических нарушений, вызываемых воздействием протонов и тяжелых заряженных частиц высоких энергий в различных отделах головного мозга и центральной нервной системы. Исследование влияния разных видов излучений на высшую нервную деятельность организма имеет большое значение для оценки радиационного риска пилотируемых космических полетов вне магнитосферы Земли. Возможные нарушения операторской деятельности космонавта, вызванные воздействием галактического космического излучения, могут представлять угрозу для здоровья и жизни членов экипажа корабля непосредственно в процессе полета.

### Laboratory of Radiation Biology

Research has been continued on modeling the biological action of galactic cosmic radiation in terrestrial conditions. Sprague–Dawley rats were irradiated at the therapeutic proton beam of the Phasotron (JINR Laboratory of Nuclear Problems) to study the effect of radiation on the central nervous system functions. In total, 64 eight-week-old male rats were used in the experiment. The non-exposed control group included 10 animals; the rest were irradiated with 170-MeV protons at a dose of 1 Gy in the craniocaudal position.

One of the tasks of this experiment is to study the dynamics of the rats' behavioral reactions after exposure to different types of radiation. Also, biological material was obtained to study the morphological changes in the brain. For the analysis of the cytogenetic damage developing in animals' bone marrow, the standard metaphase method is used. The formation and elimination of radiation-induced DNA double-strand breaks (DSBs) in hippocampus and cerebellum cells are observed with the technique of immunohistochemical staining of rat brain sections involving fluorescent antibodies of DNA DSB marker proteins, the phosphorylated histone  $\gamma$ H2AX and repair protein 53BP1.

This kind of research, performed mainly on small experimental animals like mice and rats, is aimed at identifying the mechanisms that can underlie the changes in the behavior and operational memory observed in experimental animals after exposure.

This study is part of the Laboratory's programme of research on the behavioral, neurochemical, cell, and morphological changes induced in different parts of the brain and central nervous system by high-energy protons and heavy charged particles. Research on the action of different types of radiation on the organism's higher nervous activity is significant for the evaluation of the radiation risk of manned flights beyond the Earth's magnetosphere. The possible disorders in cosmonauts' operational activity caused by exposure to galactic cosmic radiation can endanger the health and life of the crew during the flight.

### University Centre

**Education.** On 22 and 24 June, fifteen students of the JINR-based Department of Fundamental and Applied Problems of Microworld Physics of MIPT defended their Bachelor and Master theses.



## Учебно-научный центр

**Учебный процесс.** 22 и 24 июня состоялись защиты бакалаврских и магистерских работ 15 студентов базовой кафедры фундаментальных и прикладных проблем физики микромира МФТИ.

**Международная летняя студенческая практика.** В первом этапе практики 2016 г., который стартовал 23 мая, участвовало 28 студентов, аспирантов и молодых ученых из 16 университетов и научно-исследовательских центров Египта, в том числе Александрийского университета, Университета аль-Азхар, Университета Айн Шамс, Университета Саут Вэлли, Каирского университета, Египетско-русского уни-

верситета и др. На участие в практике было подано более 100 заявок. С 2009 г. участниками практик стали 136 студентов и аспирантов из Египта.

Программа включала ознакомительные лекции о деятельности лабораторий ОИЯИ, экскурсии. Основное время отводилось выполнению учебно-исследовательских проектов. База учебно-исследовательских проектов на сайте УНЦ (<http://uc.jinr.ru>) содержит 61 проект. Для первого этапа практики сотрудники лабораторий подготовили 32 проекта, 13 из них — в ЛЯР. В последний день практики участники представили отчеты-презентации о выполненной работе.

Сроки проведения второго этапа для студентов из стран Европы — с 3 по 24 июля, третьего этапа для студентов из ЮАР — с 4 по 25 сентября.

Дубна, 23 мая –  
11 июня.  
Международная  
практика для  
студентов АРЕ.  
Выполнение учебно-  
исследовательских  
проектов

Dubna, 23 May –  
11 June. The  
international practice  
for students from ARE.  
Doing class research  
projects



**International Student Practice in JINR Fields of Research 2016.** On 23 May, the first stage of the Practice 2016 began. Traditionally, the first stage is attended by representatives of Egypt. Twenty-eight students, postgraduates and young scientists from 16 universities and research centres of Egypt had passed the national selective competition. Among them were members of the University of Alexandria, Al-Azhar University, Ain Shams University, South Valley University, University of Cairo, Egyptian Russian University, and others. More than 100 applications were submitted for participation in the Practice. Since 2009, 136 students and postgraduates from Egypt have become participants in the event.

The programme included introductory lectures on the activities of the JINR laboratories and excursions. The main focus was on the accomplishment of research projects. The database of projects at the UC website (<http://uc.jinr.ru>) contains 61 projects. For the first stage of the

Practice the staff members of the laboratories prepared 32 projects, 13 of them by FLNR. On the last day of the Practice the participants presented their reports on the work performed.

On 3–24 July, the second stage was held for students from the European countries.

On 4–25 September, students from South Africa will attend the third stage.

**International Scientific Schools for Teachers of Physics at JINR.** On 19–25 June, Dubna hosted the Seventh School for Teachers of Physics from the JINR Member States. Among the participants were 26 teachers and 8 students from Bulgaria, Russia, and Ukraine. The Russian Federation was represented by teachers and students from the Vologda, Moscow, Rostov, Samara, Sverdlovsk, Tambov and Chelyabinsk regions, the Crimea, the Nenets AR, Tatarstan, and Chuvashia.

**Международные научные школы для учителей физики в ОИЯИ.** 19–25 июня в Дубне в седьмой раз проходила школа для учителей физики из стран-участниц ОИЯИ. Ее участниками стали 26 преподавателей и 8 учащихся из Болгарии, РФ и Украины. РФ представляли учителя и ученики из Вологодской, Московской, Ростовской, Самарской, Свердловской, Тамбовской, Челябинской областей, Крыма, Ненецкого АО, Татарстана и Чувашии.

С 26 июня по 1 июля состоялась 3-я школа для учителей из Москвы и Подмосковья при финансовой поддержке Московского городского дома учителя. В ней приняли участие 20 преподавателей из Москвы.

В программы школ, с учетом пожеланий участников, были включены научно-популярные лекции ведущих специалистов ОИЯИ, экскурсии на базовые установки ОИЯИ, знакомство с опытом проектной работы в физическом практикуме и «домашнее задание» для школьников. Старшеклассники представили доклады на научном семинаре. Для учителей был проведен круглый стол «Современные проблемы физики и методика преподавания физики в школе».

Научная школа для российских учителей физики в ЦЕРН пройдет с 30 октября по 6 ноября 2016 г.

**Летняя студенческая программа ОИЯИ.** В этом году в летней студенческой программе участвовали студенты и аспиранты из МГУ, МФТИ, МИФИ, вузов

Санкт-Петербурга (СПбГУ, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», университета ИТМО), Белоруссии, Египта, Казахстана, Кубы, Польши, Румынии, Словакии и ЮАР, всего 41 человек.

В течение 6–8 недель участники выполняли исследовательские проекты под руководством научных сотрудников в лабораториях ОИЯИ. Научные направления летней студенческой программы ОИЯИ 2016 г.:

- теоретическая и математическая физика;
- физика элементарных частиц;
- ядерная физика;
- сети, компьютеринг, вычислительная физика;
- ускорительная техника;
- детекторы частиц;
- нейтронная физика;
- физика конденсированных сред;
- прикладные исследования с применением методов ядерной физики.

**Визиты.** Лекции о деятельности лабораторий ОИЯИ и экскурсии на базовые установки, знакомство с работой медико-технического комплекса ЛЯП, демонстрации фильмов в визит-центре, научные опыты, экскурсии по городу, а также занятия в физическом практикуме УНЦ были организованы:

- 24 марта для 13 учащихся Президентского физико-математического лицея №239 (Санкт-Петербург);



Дубна, 19–25 июня. Школа для учителей физики из стран-участниц ОИЯИ

Dubna, 19–25 June. A school for physics teachers from JINR Member States

- 25 апреля для 10 учащихся школы №1212 (Москва);
  - 12 мая для 10 учащихся 11-го класса дубненской школы №1;
  - 30–31 мая для 24 школьников 8-го класса из Смоленска;
  - 1 июня для 25 учащихся 10-х классов школы №51 (Тверь);
  - 6–7 июня для 18 учащихся Берлинской школы физики им. Джона Ф. Кеннеди;
  - 10 июня для 13 школьников физико-математического класса лицея (Балашиха);
  - 10 июня для 28 воспитанниц пансиона Министерства обороны РФ.
- 14 июня для 70 детей из городского лагеря «Лето» (на базе гимназии №8) были проведены увлекательные демонстрации опытов с жидким азотом.

**Видеоконференция.** 19 мая состоялась видеоконференция между ОИЯИ и школой №185 (Москва). Сотрудники ОИЯИ отвечали на вопросы учащихся об устройстве и работе будущего коллайдера NICA и медико-технического комплекса ЛЯП. Школьникам рассказали о востребованности инженерных специально-

стей и о возможности применения профессиональных знаний в ОИЯИ.

**Робототехнический хакатон для школьников RoboHACK CROC.** 21–22 мая в Дубне в гимназии №8 им. Н. Н. Боголюбова проводился робототехнический хакатон для школьников RoboHACK CROC.

Он был организован по инициативе компании CROC, одного из крупнейших системных интеграторов в области IT (направление «Развитие школьного IT-образования»). Основные партнеры компании: Учебно-научный центр ОИЯИ, гимназия №8 им. Н. Н. Боголюбова и Межрегиональная компьютерная школа.

В хакатоне приняли участие 23 школьника с 5-го по 11-й класс из Дубны и Дмитрова. В программе были подготовительные лекции, практические занятия, конкурсы и гонки собранных роботов.

**Повышение квалификации.** 31 мая Образовательным центром «Дубна» для 33 руководителей и специалистов подразделений ОИЯИ было организовано обучение по программе «Пожарно-технический минимум».

On 26 June – 1 July, the Third School for Teachers from Moscow and the Moscow Region was held with the direct financial support from the Moscow City Teacher’s Club. The event was attended by 20 teachers from Moscow.

Taking into account the requests of the participants, the programme included popular-science lectures by the leading specialists of JINR, excursions to the JINR basic facilities, hands-on activities in the UC Physics Lab and “Homework” for school students. The high-school students presented their reports at the scientific seminar. The round table on “Modern Problems of Physics and Methods of Teaching Physics at School” was organized for the teachers.

On 30 October – 6 November, the Scientific School for Russian Teachers of Physics at CERN will be held.

**Summer Student Programme at JINR 2016.** The Summer Student Programme 2016 involved students and postgraduates from MSU, MIPT, MEPHI, the universities of St. Petersburg (St. Petersburg State University, ETU “LETI”, ITMO University), Belarus, Egypt, Kazakhstan, Cuba, Poland, Romania, Slovakia, and South Africa, 41 students in total.

During 6–8 weeks the participants carried out research projects in the laboratories of JINR, being supervised by the JINR scientists. The research areas of the Summer Student Programme at JINR 2016 include:

- Theoretical and Mathematical Physics;
- Elementary Particle Physics;
- Nuclear Physics;
- Networking, Computing, Computational Physics;
- Accelerator Physics;
- Particle Detectors;
- Neutron Physics;
- Condensed Matter Physics;
- Applied Research with the Use of Nuclear Physics Methods.

**Visits.** Lectures on the activities of the JINR laboratories and excursions to the basic facilities, introduction to the operation of the Medical-Technical Complex of DLNP, films in the visitor centre, demonstration of experiments, city tours, as well as hands-on activities in the UC Physics Lab were organized:

- on 24 March — for 13 students of the Presidential Physics and Mathematics Lyceum No. 239, St. Petersburg;





Дубна, 21–22 мая. Хакатон по спортивной робототехнике

Dubna, 21–22 May. Hackathon on sport robot technology

- on 25 April — for 10 students from School No.1212, Moscow;
- on 12 May — for 10 high-school students from School No. 1, Dubna;
- on 30–31 May — for 24 students from Smolensk;
- on 1 June — for 25 high-school students of School No.51, Tver;
- on 6–7 June — for 18 students of the John F. Kennedy Physics School, Berlin;
- on 10 June — for 13 high-school students from Balashikha;
- on 10 June — for 28 students from the Boarding School of the Ministry of Defense of the Russian Federation.

On June 14 a demonstration of experiments with liquid nitrogen was organized for 70 children from the summer camp “Leto” (based in Gymnasium No. 8).

**Videoconference.** On 19 May a videoconference between JINR and Moscow School No.185 was held. The JINR staff members answered the students’ questions about the design and operation of the future collider NICA and the Medical-Technical Complex of DLNP. The school students heard about engineering professions currently being in great demand and the possibility of using one’s professional potential at JINR.

**Robotics Hackathon for School Students RoboHACK CROC.** On 21–22 May, the Robotics Hackathon

RoboHACK CROC for school children was held in the Dubna School No. 8 named after N. N. Bogoliubov.

The Hackathon was held at the initiative of CROC, one of the leaders among the system integrators in the field of IT (in the direction “The Development of School IT Education”). CROC’s main partners are the JINR University Centre, School No.8 named after N. N. Bogoliubov, and the Interregional Computer School.

The Hackathon was attended by 23 pupils of the 5–11 grades from the cities of Dmitrov and Dubna. The programme included introductory lectures, workshops, competitions, and robot races.

**Skill Improvement.** On 31 May, the Educational Centre “Dubna” organized a training programme on “The Basics of Fire Safety” for 33 executives and specialists of JINR subdivisions.

*A. I. Titov*

## Квантовые процессы в коротких и интенсивных электромагнитных (лазерных) полях

Быстрый прогресс в лазерной технологии дает беспрецедентную возможность исследовать поведение квантовых процессов в интенсивных электромагнитных (ЭМ) полях. Уже достигнута интенсивность лазеров  $I_L \sim 2 \cdot 10^{22}$  Вт/см<sup>2</sup>, и при этом ожидается, что интенсивности порядка  $I_L \sim 10^{23} \dots 10^{25}$  Вт/см<sup>2</sup> будут получены в ближайшее время. Ряд лазерных проектов создается в странах-участницах ОИЯИ или странах, связанных с ОИЯИ на основе двухсторонних договоров, например: проект «European Laser Infrastructure», объединяющий Чешскую Республику, Венгрию и Румынию; петаваттный параметрический лазер, создаваемый в Сарове (Россия); лазеры на свободных электронах в DESY (Гамбург, Германия) и на других установках в известных мировых центрах (см. ссылки в [1]). Столь высокая интенсивность лазерных пучков возможна только в коротких, фемтосекундных импульсах, что соответствует нескольким

осцилляциям (или даже долям осцилляции) в одном импульсе. Это ставит принципиально новые условия для теории: квантовая электродинамика становится нелинейной с существенно нелокальными ЭМ-взаимодействиями. Как результат, теория предсказывает качественно новый эффект многофотонного взаимодействия пробного фотона или электрона с лазерным импульсом. В качестве примера рассмотрим образование  $e^+e^-$  пар при взаимодействии внешнего (пробного) фотона с лазерным импульсом и обобщенное комптоновское рассеяние электрона интенсивным лазерным импульсом.

Ниже мы используем естественное предположение, что лазерный циркулярно поляризованный импульс может быть аппроксимирован ЭМ четырехпотенциалом в аксиальной калибровке  $A^\mu = (0, \mathbf{A}(\phi))$  с  $\mathbf{A}(\phi) = f(\phi)(\mathbf{a}_1 \cos \phi + \mathbf{a}_2 \sin \phi)$ , где  $\phi = k \cdot x$  есть инвариантная фаза с 4-волновым вектором  $k = (\omega, \mathbf{k})$ ,

*A. I. Titov*

## Quantum Processes in Short and Intensive Electromagnetic (Laser) Fields

The rapid progress in laser technology offers novel and unprecedented opportunities to investigate quantum systems with intense laser beams. The laser intensity  $I_L \sim 2 \cdot 10^{22}$  W/cm<sup>2</sup> has already been achieved and intensities of an order of  $I_L \sim 10^{23} \dots 10^{25}$  W/cm<sup>2</sup> are envisaged in the near future. A number of these projects are being developed in the Member States of JINR or closely related to JINR on the basis of bilateral agreements (e.g., the European Laser Infrastructure project involved the Czech Republic, Romania and Hungary; the PEARL laser facility at Sarov/Nizhny Novgorod, Russia; the XFEL facility in DESY/Hamburg, Germany, and some other laser centres around the world (see, for example, [1] and references therein)). The high intensities are provided in short pulses at a femtosecond pulse duration level with only a few oscillations of the electromagnetic (e.m.) field or even subcycle pulses, which requires the development of the quantum electrodynamics at the new level: it becomes essentially nonlinear with nonlocal e.m. interactions. As a

result, the theory predicts the new important qualitative effect: multiphoton interaction of an external electron or photon with an intensive laser pulse. Here, we illustrate the new phenomena by the example of  $e^+e^-$ -pair production in interaction of an external photon with the intensive laser pulse and the generalized Compton scattering of an external electron off the powerful laser.

We assume that the laser pulse is approximated by the circularly polarized e.m. four-potential in the axial gauge  $A^\mu = (0, \mathbf{A}(\phi))$  with  $\mathbf{A}(\phi) = f(\phi)(\mathbf{a}_1 \cos \phi + \mathbf{a}_2 \sin \phi)$ , where  $\phi = k \cdot x$  is the invariant phase with the four-wave vector  $k = (\omega, \mathbf{k})$ , obeying the field property  $k^2 = k \cdot k = 0$  implying  $\omega = |\mathbf{k}|$ ,  $\mathbf{a}_{(1,2)} \equiv \mathbf{a}_{(x,y)}$ ;  $|\mathbf{a}_x|^2 = |\mathbf{a}_y|^2 = \mathbf{a}^2$ ,  $\mathbf{a}_x \mathbf{a}_y = 0$ ; transversality means  $\mathbf{k} \mathbf{a}_{x,y} = 0$  in the present gauge. The envelope function  $f(\phi)$  ( $f(\phi) \rightarrow 0$  at  $\phi \rightarrow \pm \infty$ ) accounts for the finite pulse length. In the case of the infinitely long pulse,  $f(\phi) = 1$ . To define the pulse duration, one can use the number  $N$  of cycles in a pulse,  $N = \Delta/\pi = \tau\omega/2$ , where the dimensionless quantity  $\Delta$  or the duration of the

удовлетворяющим условиям  $k^2 = k \cdot k = 0$ ,  $\omega = |k|$ ,  $\mathbf{a}_{(1,2)} \equiv \mathbf{a}_{(x,y)}$ ;  $|\mathbf{a}_x|^2 = |\mathbf{a}_y|^2 = \mathbf{a}^2$ ,  $\mathbf{a}_x \cdot \mathbf{a}_y = 0$ ; в выбранной калибровке поперечность означает  $\mathbf{k} \cdot \mathbf{a}_{x,y} = 0$ . Огибающая функция импульса  $f(\phi)$  ( $f(\phi) \rightarrow 0$  при  $\phi \rightarrow \pm \infty$ ) описывает форму и длительность импульса. В случае бесконечно длинного импульса  $f(\phi) = 1$ . Длительности импульса можно характеризовать числом осцилляций  $N$  в импульсе,  $N = \Delta/\pi = \tau\omega/2$ , где безразмерная величина  $\Delta$  или длительность импульса  $\tau$  являются удобными переменными. Функция огибающей определяется двухпараметрическим ферми-распределением  $f(\phi) = \cosh(\Delta/b) + 1 / (\cosh(\Delta/b) + \cosh(\phi/b))$ . Это распределение описывает все многообразие огибающих, известных в литературе. Параметр  $b$  имеет смысл времени возрастания (убывания) огибающей в области  $\phi \sim \Delta$ . Малые величины отношения  $b/\Delta$  соответствуют импульсу с «плоской вершиной». Фактически отношение  $b/\Delta$  может рассматриваться как второй независимый параметр огибающей функции лазерного импульса. Отметим, что квантовые процессы в бесконечно длинных ЭМ-полях были детально рассмотрены в работах Райса, группы Ритуса и работах других авторов (ссылки см. в обзоре [2]). Однако использованные в ранних работах условия  $\Delta \rightarrow \infty$  и  $\omega \rightarrow 0$  не соответствуют требованиям современных лазерных проектов, в ко-

торых ожидаются большие интенсивности  $I_L$ , малые  $\Delta$  и конечные  $\omega$ . Все это требует разработки новой теории для исследования квантовых процессов в условиях сильных и ультракоротких ЭМ-полей. Такой подход был разработан в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ и суммирован в обзоре [1]. Интенсивность ЭМ-поля определяется безразмерной переменной  $\xi^2 = -e^2 \langle |A|^2 \rangle / M_e^2$ , где  $M_e$  — масса электрона и  $e^2/4\pi = \alpha \approx 1/137$ . Переменная  $\xi^2$  связана с интенсивностью лазерного импульса  $I_L$  как  $\xi^2 \simeq (5,62 \cdot 10^{-19}) / \omega^2 [\text{эВ}^2] \langle I_L \rangle [\text{Вт/см}^2]$ . В случае образования  $e^+e^-$  пар удобно ввести вторую безразмерную переменную  $\zeta = s_{\text{thr}}/s$ , где  $s$  есть квадрат полной энергии в системе центра масс, а переменная  $s_{\text{thr}} = 4M_e^2$  есть пороговое значение начальной энергии. То есть переменная  $\zeta$  является чисто кинематической величиной и означает, что при  $\zeta > 1$  линейный процесс Брейта–Уиллера  $\gamma' + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$  находится под порогом и кинематически запрещен. Однако многофотонные эффекты, вызванные нелинейным процессом  $\gamma' + l\gamma \rightarrow e^+ + e^-$ , разрешены даже для  $\zeta > 1$ . Мы называем такие процессы подпороговым рождением  $e^+e^-$  пар. Полный выход (вероятность рождения)  $e^+e^-$  пар определяется интегралом  $W = \int_{l_{\text{min}}}^{\infty} dlw(l)$ , где  $w(l)$  есть парциальная ве-

pulse  $\tau$  are further useful measures. The envelope function is described by the two-parameter symmetrized Fermi shape widely used for parametrization of the nuclear density:  $f(\phi) = \cosh(\Delta/b) + 1 / (\cosh(\Delta/b) + \cosh(\phi/b))$ . This shape covers a variety of relevant envelopes discussed in literature. The parameter  $b$  describes the ramping time in the neighborhood of  $\phi \sim \Delta$ . Small values of the ratio  $b/\Delta$  cause a flat-top shaping. In fact, the ratio  $b/\Delta$  can be treated as the second independent parameter for the envelope function. Note that the quantum processes occurring in the interactions of charge fermions in an infinitely long e.m. pulse were investigated in detail in the pioneering papers of Reiss, Ritus group and some others (see, for example, [2] and references therein). However, the conditions  $\Delta \rightarrow \infty$  and  $\omega \rightarrow 0$  considered in these papers do not correspond to the conditions of modern laser projects, where large pulse intensity  $I_L$ , small  $\Delta$  and finite  $\omega$  are expected, which requires the elaboration of new approaches for describing the quantum processes in strong and ultra-short e.m. fields, since the known old methods no longer work. Such an approach was elaborated at BLTP JINR and summarized in the review paper [1].

The e.m. field intensity is determined by the dimensionless variable  $\xi^2 = -e^2 \langle |A|^2 \rangle / M_e^2$ , where  $M_e$  is the electron mass and  $e^2/4\pi = \alpha \approx 1/137$ . The variable  $\xi^2$  is related to the laser pulse strength  $I_L$  as  $\xi^2 \simeq (5.62 \cdot 10^{-19}) / \omega^2 [\text{eV}^2] \langle I_L \rangle [\text{W/cm}^2]$ .

In the case of the  $e^+e^-$ -pair emission the second relevant dimensionless variable is  $\zeta = s_{\text{thr}}/s$ , where  $s$  is the square of the total energy in the center of mass and the variable  $s_{\text{thr}} = 4M_e^2$  is the square of the initial energy at the threshold. The variable  $\zeta$  is a pure kinematic quantity with the meaning that for  $\zeta > 1$  the linear Breit–Wheeler process  $\gamma' + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$  is subthreshold, i.e. kinematically forbidden. However, multiphoton effects enable the nonlinear process  $\gamma' + l\gamma \rightarrow e^+ + e^-$  even for  $\zeta > 1$  which we refer to as the subthreshold pair production. The total production rate (or probability) of the  $e^+e^-$  emission is equal to the integral  $W = \int_{l_{\text{min}}}^{\infty} dlw(l)$ , where  $w(l)$  is a partial probability and the integration starts from the kinematical limit  $l_{\text{min}} = \zeta$  (for detail, see [1, 3]). The production rate of the  $e^+e^-$  emission as a function of  $\zeta$  is exhibited in the left panel of the figure for the infinitely long and

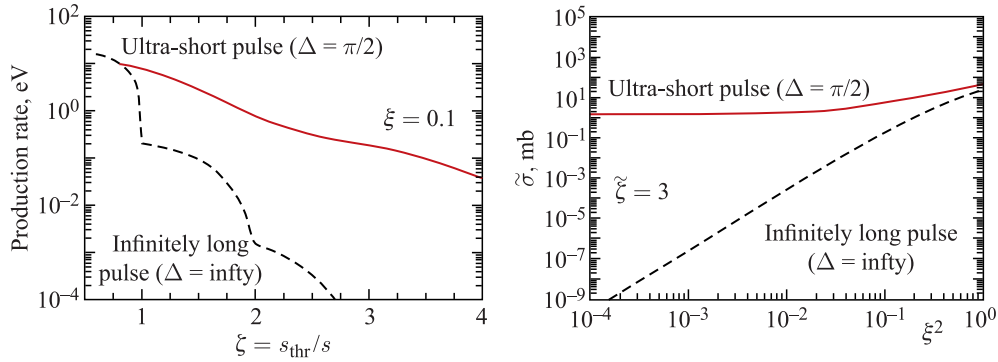


роятность, а интегрирование начинается от кинематического предела  $l_{\min} = \zeta$  (детали см. в [1,3]). Выход  $e^+e^-$  пар как функция от  $\zeta$  приведен на рисунке слева для бесконечно длинного и ультракороткого импульса с  $\Delta = \pi/2$  и  $b/\Delta = 0,15$ . Видно, что в подпороговой области выход  $e^+e^-$  пар для ультракороткого импульса значительно (на несколько порядков величины) усилен по сравнению с предсказанием для бесконечно длинного импульса. Этот эффект объясняется нелинейной динамикой переходных амплитуд и спецификой спектральных свойств огибающих функций  $f(\phi)$ , которые

генерируют высокоимпульсные компоненты в парциальных амплитудах, которые и приводят к предсказанному усилению.

В противоположность процессу Брейта–Уиллера, комптоновское рассеяние фотона электроном на фиксированный угол всегда выше порога, что усложняет выделение многофотонных взаимодействий типа  $e + l\gamma \rightarrow e' + \gamma'$  на фоне однофотонных процессов. Эту трудность можно преодолеть, если вместо полных сечений анализировать частично проинтегрированные сечения [1]. Здесь много-

Слева: выход  $e^+e^-$  пар во взаимодействии  $\gamma +$  лазер как функция подпорогового параметра  $\zeta$  при  $\xi = 0,1$ . Результаты для бесконечно длинного и ультракороткого с  $\Delta = \pi/2$  импульсов изображены штриховой и сплошной кривыми соответственно. Справа: частично проинтегрированное сечение комптоновского рассеяния как функция от интенсивности ЭМ-поля  $\xi^2$  при значении подпорогового параметра  $\tilde{\zeta} = 3$ . Обозначения те же, что и слева



Left panel: The rate of the  $e^+e^-$  emission in the  $\gamma +$  laser interaction as a function of the subthreshold parameter  $\zeta$  at  $\xi = 0.1$ . The results for an infinitely long pulse and a ultra-short (subcycle) pulse with  $\Delta = \pi/2$  are shown by the dashed and solid curves, respectively. Right panel: The partially integrated Compton scattering as a function of the field intensity  $\xi^2$  at the subthreshold parameter  $\tilde{\zeta} = 3$ . The notation is the same as in the left panel

subcycle pulse with  $\Delta = \pi/2$  and  $b/\Delta = 0.15$ . One can see that in the subthreshold region the yield of  $e^+e^-$  pairs in the case of subcycle pulse is greatly enhanced (by several orders of magnitude) in comparison with the prediction for the infinitely long pulse. This effect is explained by the nonlinear dynamics of the corresponding transition amplitudes and specifics of the envelope functions which generate the high-frequency components in the partial amplitudes and lead to predicted enhancement.

Contrary to the Breit–Wheeler process, the Compton scattering at a fixed scattering angle is always above the threshold, making it difficult to distinguish the multiphoton dynamics in the interaction  $e + l\gamma \rightarrow e' + \gamma'$ . This difficulty can be overcome if instead of the total cross section one explores the partly integrated cross section, where the nonlinear dynamics becomes most transparent [1]. The partially energy-integrated cross section is defined as  $\tilde{\sigma}(\omega') = \int_{l_{\min}}^{\infty} dl d\sigma(l)/dl$ , where  $\omega'$  is the energy of the

outgoing photon,  $d\sigma(l)/dl = (d\sigma(\omega)/d\omega)(d\omega(l)/dl)$  is the partial cross section, and the low limit of integral is  $l_{\min} = \tilde{\zeta} = \omega'/\omega_1'$  with  $\omega_1'$  being the energy of outgoing photon in the one-photon process  $e + \gamma \rightarrow e' + \gamma'$ . The variable  $\tilde{\zeta}$  is an analog of subthreshold variable  $\zeta$  in the Breit–Wheeler process and characterizes the multiphoton interactions. The figure (right panel) illustrates the partially integrated cross sections for the infinitely long and subcycle pulses as the functions of the field intensity  $\zeta^2$  at the subthreshold parameter  $\tilde{\zeta} = 3$ . Again, one can see a great amplification of the cross section for the subcycle pulse induced by the nonlinear dynamics of the process and dispersion properties of the pulse envelope function.

In summary, we can conclude that the new generation of lasers offers a wide range in investigations of new nonlinear, multiphoton effects in quantum electrodynamics.

фотонная динамика проявляется наиболее ярко. Частично проинтегрированные сечения определяются как  $\tilde{\sigma}(\omega') = \int_{l_{\min}}^{\infty} dl d\sigma(l)/dl$ , где  $\omega'$  — энергия уходящего фотона, а  $d\sigma(l)/dl = (d\sigma(\omega)/d\omega)(d\omega(l)/dl)$  есть парциальное сечение. Нижний предел интегрирования определяется как  $l_{\min} = \tilde{\xi} = \omega'/\omega_1'$ , где  $\omega_1'$  есть энергия уходящего фотона в однофотонном процессе  $e + \gamma \rightarrow e' + \gamma'$ . Величина  $\tilde{\xi}$  является аналогом подпороговой переменной в процессе Брейта–Уиллера и характеризует многофотонные взаимодействия. Справа на рисунке показаны частично проинтегрированные сечения для бесконечного и ультракороткого импульсов в зависимости от интенсивности поля  $\zeta^2$  для подпорогового параметра  $\tilde{\xi} = 3$ . Вновь видно сильное увеличение частично проинтегрированных сечений для ультракоротких импульсов, вызванное нелинейной динамикой амплитуд перехода и дисперсионными свойствами огибающих лазерных функций.

В заключение можно констатировать, что разрабатываемые лазерные проекты открывают широкую область исследований качественных новых эффектов в квантовой электродинамике.

#### Список литературы / References

1. Titov A. I., Kämpfer B., Hosaka A., Takabe H. // Phys. Part. Nucl. 2016. V.47. P.456.
2. Ritus V.I. // J. Sov. Laser Res. (United States). 1985. V.6. P.497.
3. Titov A. I., Takabe H., Kämpfer B., Hosaka A. // Phys. Rev. Lett. 2012. V.108. P. 240406.

*Л. Н. Богданова, К. И. Грицай, Д. Л. Демин,  
В. Н. Дугинов, А. Д. Конин, Т. Н. Мамедов,  
А. И. Руденко, М. П. Файфман, А. А. Юхимчук*

## В ОИЯИ открыты новые каналы реакции ядерного синтеза

Высокая вероятность синтеза ядер изотопов водорода в мюонных молекулах была теоретически предсказана Ф. Ч. Франком и А. Д. Сахаровым в конце 1940-х гг. и позднее экспериментально подтверждена в эксперименте Л. Альвареса (1957 г.). Первые строгие научные представления о сложной цепочке реакций, вызываемых мюоном в среде изотопов водорода H/D/T (явление мюонного катализа), сложились в работах Д. Джексона, Я. Б. Зельдовича и С. С. Герштейна к началу 1960-х гг.

С 1964 г. в ЛЯП ОИЯИ по инициативе В. П. Дзепелева начались систематические экспериментальные исследования мюонного катализа, результаты которых по праву относятся к фундаментальным достижениям физики: было открыто явление резонансного образования мезомолекул дейтерия; впер-

*L. N. Bogdanova, K. I. Gritsai, D. L. Demin,  
V. N. Duginov, A. D. Konin, T. N. Mamedov,  
A. I. Rudenko, M. P. Faifman, A. A. Yukhimchuk*

## New Channels of the Nuclear Fusion Reaction Discovered at JINR

High fusion probability for nuclei of hydrogen isotopes in muonic molecules was theoretically predicted by F. Ch. Frank and A. D. Sakharov at the end of the 1940s and later experimentally confirmed by L. Alvarez (1957). The first strict scientific concepts regarding a complex chain of reactions induced by a muon in a mixture of hydrogen isotopes H/D/T (muon catalysis) were formulated in the papers of J. Jackson, Ya. B. Zel'dovich, and S. S. Gershtein in the early 1960s.

In 1964, V. P. Dzhelepov initiated systematic experimental research of muon catalysis at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR, which resulted in what could be rightfully regarded as fundamental achievements in physics: resonant formation of muonic deuterium molecules was discovered, a high rate of the muon catalysis cycle in a mixture of deuterium and tritium (D/T) predicted by

вые экспериментально подтверждена предсказанная в ОИЯИ Л. И. Пономаревым и теоретиками его группы высокая скорость цикла мю-катализа в D/T смеси дейтерия и трития; впервые получены спиновая и температурная зависимости скоростей образования мезомолекул в жидком и твердом дейтерии.

Эти результаты стимулировали исследования по мюонному катализу на протяжении десятилетий как в отечественных научно-исследовательских центрах (ОИЯИ, ПИЯФ), так и за рубежом (Великобритания, Канада, США, Швейцария, Япония).

Для дальнейшего изучения мю-катализа при плодотворном сотрудничестве ученых ЛЯП ОИЯИ с экспериментаторами из ВНИИЭФ (Саров), начатом В. Г. Зиновым, была создана специальная установка ТРИТОН (удостоенная первой премии ОИЯИ за 2002 г.). На этом оборудовании проведены систематические исследования явления мю-катализа, в результате которых были получены параметры цикла мю-катализа в смеси D/T в широком диапазоне экспериментальных условий (температура 20–800 К, давление до 1500 атм), а накопленный экспериментальный материал является рекордным по объему и по точности в сводке мировых данных. Также впервые были проведены исследования явления мюонного катализа

в плотной тройной H/D/T смеси изотопов водорода, наблюдались предсказанные для такой смеси эпitherмальные эффекты и сделан вывод о возможности разбавления D/T смеси водородом на уровне порядка 10% в целях экономии трития, что важно при разработке источников ядерной энергии с использованием мю-катализа. С рекордной точностью были измерены параметры цикла в среде чистого трития, изучен механизм реакции синтеза ядер трития, и сделан вывод о существенной  $\alpha - n$  корреляции в конечном состоянии такой реакции. Также впервые была получена экспериментальная оценка выхода канала радиационного захвата дейтрона  $dd \rightarrow {}^4\text{He} + \gamma$  по отношению к основным каналам  $dd$ -реакции, протекающей в мюонной молекуле  $dd\mu$ .

Мюонный катализ является эффективным методом изучения реакций синтеза изотопов водорода, особенно при низких, «астрофизических», энергиях столкновений ядер. С его помощью удалось впервые получить (либо уточнить) константы различных реакций при определенных спиновых состояниях ядер, а также обнаружить каналы синтеза, запрещенные при столкновении свободных ядер.

К настоящему времени все возможные ядерные реакции, катализируемые мюоном в смесях изотопов

L. I. Ponomarev and colleagues at JINR was experimentally confirmed for the first time, and spin and temperature dependences of muonic molecule formation rates in liquid and solid deuterium were obtained for the first time.

For decades, these results stimulated muon catalysis researches both in our country (JINR, PINP) and abroad (United Kingdom, Canada, United States, Switzerland, Japan).

The muon catalysis research at DNLП continued in fruitful cooperation with experimenters from VNIIEF (Sarov) initiated by V. G. Zinov. Systematic studies on the specially developed TRITON facility (2002 First JINR Prize) resulted in obtaining parameters of the muon catalysis cycle in a D/T mixture under a variety of experimental conditions (temperature 20–800 K, pressure up to 1500 atm) and acquiring experimental data of record high amount and accuracy. Muon catalysis in a dense triple H/D/T mixture of hydrogen isotopes was investigated for the first time, epithermal effects predicted for this mixture were observed, and a conclusion was drawn about a possibility of diluting the D/T mixture by hydrogen to a level of about 10% to save tritium, which is important for developing nuclear energy sources based on muon catalysis.

Parameters of the cycle in pure tritium were measured with a record accuracy, the mechanism for fusion of tritium nuclei was studied, and considerable  $\alpha - n$  correlations in the final state of that reaction were inferred. Also, the yield of the radiative deuteron capture channel  $dd \rightarrow {}^4\text{He} + \gamma$  with respect to the main channels of the  $dd$  reaction in the muonic molecule  $dd\mu$  was experimentally estimated for the first time.

Muon catalysis is profitable for studying fusion reactions of hydrogen isotopes, especially at low, “astrophysical”, nuclear collision energies. It helped obtain or refine constants of various reactions at particular spin states of nuclei and find fusion channels forbidden in collisions of free nuclei.

By now, all kinds of muon-catalyzed nuclear reactions in mixtures of hydrogen isotopes have been well studied. An exception is fusion of proton and tritium nuclei. The latest experiment on the study of muon catalysis in the H/T mixture was carried out by an international team of experimenters at PSI (Switzerland) in 1993 [1]. Two exit channels of this reaction were observed: M1 transitions with emission of a gamma ray and, for the first time, E0 with conversion on the muon. The mea-



водорода, изучены достаточно хорошо, кроме реакций синтеза ядер протона и трития. Последний эксперимент по изучению мю-катализа в Н/Т смеси был проведен международной группой экспериментаторов в PSI (Швейцария, 1993 г.) [1]. В результате измерений наблюдались два выходных канала этой реакции: М1-переходы с испусканием гамма-кванта и впервые

Е0 — с конверсией на мюоне. Измеренные выходы этих каналов  $pt$ -реакции существенно превышают ожидаемые значения, основанные на экспериментальных данных по радиационному захвату  $pt$  «на лету» и реакции  $n + {}^3\text{He}$ , зеркальной по отношению к радиационному каналу реакции  $p + t$ , так же как и вычисленные на основе данных по  $n + {}^3\text{He}(e, e')pt$  реакции

Рис. 1. *a*) Схема экспериментальной установки: 1–3 — счетчики пучка мюонов; E1, E2 — электронный телескоп; F — фильтр пучка мюонов; G1, G2 — детекторы гамма-квантов; M — детектор мюонов; Н/Т — мишень с жидкой смесью изотопов водорода. *b*) Экспериментальный энергетический спектр электронов/позитронов реакции (3), зафиксированных детектором E1, необозначенный пик соответствует прохождению только одного партнера — электрона или позитрона из пары. *c*) Экспериментальный энергетический спектр мюонов конверсии в реакции (2), зафиксированных детекторами E1 и M

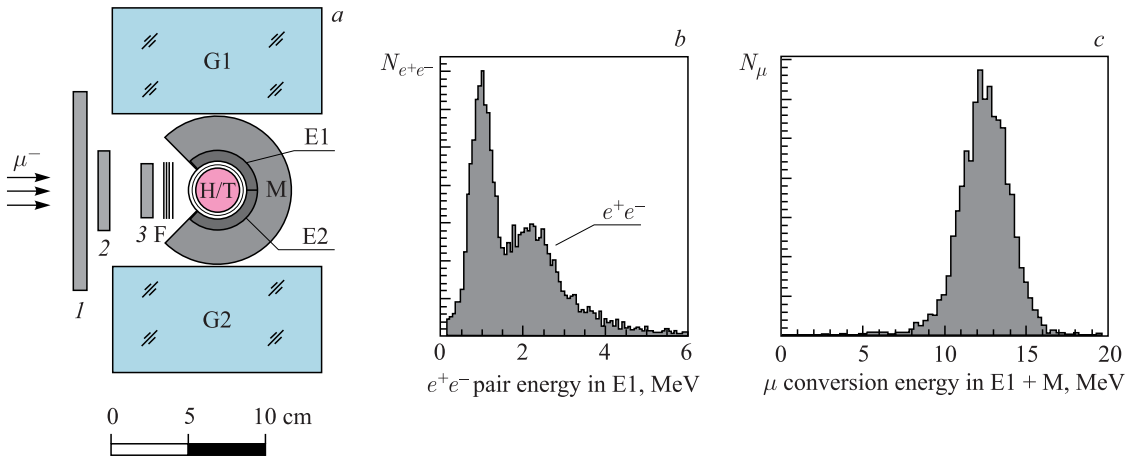


Fig. 1. *a*) Schematic view of the experimental facility: 1–3 are the muon beam counters, E1 and E2 are the electron telescope, F is the muon beam filter, G1 and G2 are the gamma detectors, M is the muon detector, and H/T is the target with the liquid mixture of hydrogen isotopes. *b*) Experimental energy spectrum of electrons/positrons from reaction (3) detected by the detector E1; the unlabeled peak corresponds to the passage of only one pair partner, an electron or a positron. *c*) Experimental energy spectrum of conversion muons in reaction (2) detected by the detectors E1 and M

sured yields of these  $pt$  reaction channels are appreciably larger than the expected values based on the experimental data on the in-flight radiative capture  $pt$  and the reaction  $n + {}^3\text{He}$ , which is a mirror reaction relative to the radiative channel of the  $p + t$  reaction, and also the values calculated from the data on the  $n + {}^3\text{He}(e, e')pt$  reaction (for the conversion channel). No explanation for this disagreement has been found so far. In addition, the conversion channel with the formation of  $e^+e^-$  pairs was not observed though its yield was predicted to be about the muon yield [2].

The so far unsolved problems in the description of the muon-involving  $pt$  fusion aroused interest of the DNLP scientific experimental group headed by D.L. Demin, and they proposed investigation of the  $pt$  fusion channels

$$pt\mu \rightarrow {}^4\text{He}\mu + \gamma + 19.82 \text{ MeV} (E_\gamma = 19.77 \text{ MeV}), \quad (1)$$

$$pt\mu \rightarrow {}^4\text{He} + \mu + 19.81 \text{ MeV} (E_\mu = 19.22 \text{ MeV}), \quad (2)$$

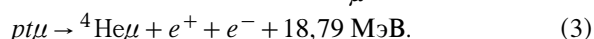
$$pt\mu \rightarrow {}^4\text{He}\mu + e^+ + e^- + 18.79 \text{ MeV}. \quad (3)$$

The TRITON project was prepared and soon supported by the JINR Programme Advisory Committee for Nuclear Physics (2011).

The team established for conducting the experiment had an appreciable background to allow successful implementation of the project. By that time, Demin's group had accomplished the experiment at DLNP on the search for the rare radiative deuteron capture reaction using specially designed gamma detectors with a measurement range up to 30 MeV. With this unique experience, the Dubna experimenters were prepared for studying characteristic features of the  $pt$  reaction. The experimental methodology was proposed by V.V. Fil'chenkov. The experimental target was designed according to the JINR specification. Electron-positron pair and muon detectors were developed to suit the compact experimental geometry (Fig. 1, *a*). The problem of parameterization of angular correlation of pair emission in the  $p + t$  reaction was solved and performed with the Monte Carlo simulation of physical processes in the facility. Electronic equipment and software

(для конверсионного канала). Объяснение этому факту не найдено до сих пор. Кроме того, не наблюдался канал конверсии с образованием пар  $e^+e^-$ , хотя его выход предсказан на уровне выхода мюонов [2].

Оставшиеся нерешенными проблемы описания  $pt$ -синтеза с участием мюона заинтересовали научно-экспериментальную группу ЛЯП под руководством Д. Л. Демина, которая выступила с предложением исследовать следующие каналы реакции  $pt$ -синтеза:



Был подготовлен проект ТРИТОН, вскоре поддержанный Программно-консультативным комитетом по ядерной физике ОИЯИ (2011 г.).

Коллектив, созданный для проведения эксперимента, имел существенный задел для успешной реализации проекта. К тому времени группа завершила в ЛЯП эксперимент по обнаружению редкой реакции радиационного захвата дейтрона с использованием созданных детекторов гамма-излучения с диапазоном измерений до 30 МэВ. Основываясь на уникальном опыте работе с ними, дубненские экспериментаторы были готовы к изучению характерных особенностей

$pt$ -реакции. Методологию эксперимента предложил В. В. Фильченков. Мишень для эксперимента разработали во ВНИИЭФ по техническому заданию ОИЯИ. Были разработаны необходимые детекторы электрон-позитронных пар и мюонов для требуемой компактной геометрии эксперимента (рис. 1, а), электроника и программное обеспечение, аналитически решена задача параметризации угловой корреляции вылета пар в реакции  $p+t$ , проведено моделирование физических процессов в установке по методу Монте-Карло. Большая работа была выполнена по наладке инфраструктуры фазотрона, в том числе восстановлена «растяжка» протонного пучка. Для анализа экспериментальных данных у группы есть тесный контакт как с российскими теоретиками, работающими в области

Рис. 2. Экспериментальный суммарный спектр энергии парных гамма-квантов в реакции (4), сложенный из совпавших по времени событий в гамма-детекторах G1 и G2

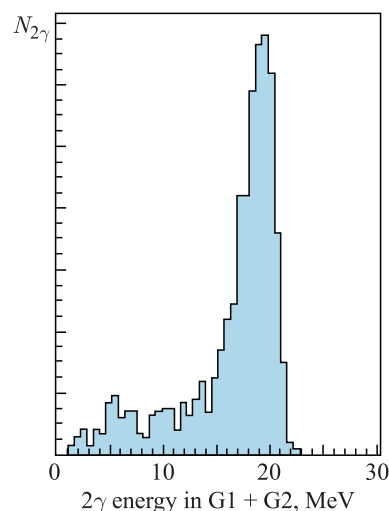


Fig. 2. Experimental summed energy spectrum of gamma-ray pairs in reaction (4): events in the gamma detectors G1 and G2 coinciding in time are added up to the summed energy spectrum

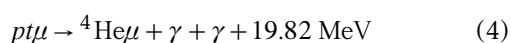
were developed. Much was done for proper arrangement of the Phasotron infrastructure, including restoration of the proton beam “stretcher”. To analyze experimental data, the group has close contacts with both Russian muon-physics theorists and foreign colleagues from Polish and Czech research centres. A detailed description of the experiment at its preparatory stage is given in [3].

In May 2016 an experiment on the search for muon catalysis in an H/T mixture was carried out on the DNLP Phasotron, JINR, in collaboration with VNIIEF specialists.

Earlier known  $pt$  fusion channels (1), (2) with the yield of single gamma rays and conversion muons were observed in the experiment (Fig. 1, c). Now the analysis of the experimental results is under way, but the following important conclusions can already be drawn:

1. The  $pt$  fusion channel with the yield of electron-positron pairs (Fig. 1, b) has been observed for the first time.

2. Evidence for existence of a new channel with the yield of a gamma-ray pair



has been obtained for the first time (Fig. 2).

3. The experimental results confirm Zel'dovich and Gershtein's theoretical predictions (1960) about product yields in muon-involving nuclear reaction in cold hydrogen.

The authors of the experiment and the DNLP Directorate express their gratitude to the personnel of the Scientific Self-Sustained Division of the Phasotron Department, Radiation Safety Department, Radioactive and Fissionable Materials Department, and Electrotechnological Department at DNLP and to the JINR Security Department for the help and support in preparation and conduction of the experiment. The development of the TRITON facility was supported by the International Science and Technology Centre; the development of detectors and conduction of experiment, by the Russian Foundation for Basic Research.

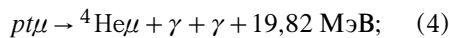
мюонной физики, так и с зарубежными коллегами из научно-исследовательских центров Польши и Чехии. Детальное описание эксперимента на стадии подготовки содержится в работе [3].

В мае 2016 г. поисковый эксперимент по мюонному катализу в смеси Н/Т был проведен в Дубне на фазотроне ЛЯП ОИЯИ в сотрудничестве со специалистами ВНИИЭФ.

В эксперименте наблюдались известные ранее каналы реакции  $pt$ -синтеза (1), (2) с выходом одиночных гамма-квантов и мюонов конверсии (рис. 1, *c*). В настоящее время проводится обработка результатов эксперимента, но уже сейчас из предварительного анализа данных следуют важные выводы:

1) впервые при исследовании реакций  $pt$ -синтеза обнаружен канал с выходом электрон-позитронных пар (рис. 1, *b*);

2) впервые получено указание на существование нового канала с выходом пары гамма-квантов (рис. 2):



3) полученные результаты подтверждают теоретические предсказания Я.Б. Зельдовича и С.С. Герштейна (1960 г.) о продуктах выхода в ядерных реакциях в холодном водороде с участием мюонов.

Авторы эксперимента и дирекция ЛЯП выражают благодарность коллективам НХП ОФ, ОРБ, ОРДВ, СБ ОИЯИ и ЭТО ЛЯП за помощь и поддержку при подготовке и проведении эксперимента. Создание установки ТРИТОН поддержано грантом МНТЦ, а работа детекторов и проведение самого эксперимента — РФФИ.

#### Список литературы / References

1. *Baumann P. et al.* Muon-Catalyzed  $pt$ -Fusion // *Phys. Rev. Lett.* 1993. V. 70. P. 3720.
2. *Oppenheimer J.R., Schwinger J.S.* // *Phys. Rev.* 1939. V. 56. P. 1066.
3. *Bogdanova L.N. et al.* Experimental Study of Nuclear Fusion Reactions in a  $p\mu$  System // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2012. V. 9, No. 8. P. 605–614.

*М. Н. Капишин*

## Эксперимент для изучения барионной материи на нуклотроне (BM@N)

Процессы взаимодействия тяжелых ионов высоких энергий предоставляют уникальные возможности для изучения свойств ядерной материи при экстремальной плотности и температуре. При столкновении ядерная материя нагревается и сжимается в течение очень короткого промежутка времени. При умеренных температурах нуклоны возбуждаются в барионные резонансы, распадающиеся с испусканием мезонов. При более высоких температурах рождаются также барион-антибарионные пары. Отношение выхода мезонов к выходу барионов в результате взаимодействия возрастает с увеличением энергии столкновения. В продуктах ядро-ядерных столкновений при кинетической энергии пучка нуклотрона в диапазоне от 1 до 4,5 ГэВ/нуклон доминируют барионы, в отличие от взаимодействий при более высоких энергиях на RHIC или SPS. При энергиях нуклотрона плотность нуклонов в зоне столкновения двух ядер золота превышает плотность насыщения в 3–4 раза. При таких плотностях

*М. N. Kapishin*

## Experiment for Studies of Baryonic Matter at the Nuclotron (BM@N)

Relativistic heavy-ion collisions provide the unique opportunity to study nuclear matter under extreme density and temperature. In the collision, nuclear matter is heated up and compressed for a very short period of time. At moderate temperatures, nucleons are excited to baryonic resonances which decay by the emission of mesons. At higher temperatures, also baryon-antibaryon pairs are created. The ratio of produced mesons to baryons in the fireball increases with the collision energy. A nucleus-nucleus collision at the Nuclotron beam kinetic energy in the range from 1 to 4.5 GeV/nucleon produces a baryon dominated fireball contrary to higher energies at RHIC or SPS. At the Nuclotron energies the nucleon densities in the collision zone of two gold nuclei exceed the saturation density by a factor of 3–4. At these densities nucleons start to overlap, and it is expected that under such extreme conditions the onset of chiral symmetry restoration might occur although quarks are still confined [1–5]. The focus of experimental studies will be on hadrons with strangeness, which are



нуклоны начинают перекрываться. В подобных экстремальных условиях могут проявиться признаки, характерные для восстановления киральной симметрии, хотя кварки по-прежнему связаны в адронах [1–5]. В центре внимания экспериментальных исследований будут адроны со странностью, которые рождаются в столкновении и не присутствуют в исходном состоянии двух сталкивающихся ядер, в отличие от нуклонов, состоящих из легких ( $u, d$ ) кварков.

Диапазон энергии пучков ионов нуклотрона хорошо подходит для изучения странных мезонов и мультистранных гиперонов, которые рождаются в ядроядерных столкновениях близко к кинематическому порогу. Столкновения тяжелых ионов являются богатым источником рождения странных адронов, а слияние  $\Lambda$ -гиперонов с нуклонами приводит к образованию различных легких гиперядер [4, 5]. Изучение процессов рождения гиперядер, как ожидается, обеспечит более глубокое понимание свойств гиперон-нуклонных и гиперон-гиперонных взаимодействий. В целом программа по исследованию столкновений тяжелых ионов на нуклотроне [6–8] включает следующие направления: исследование динамики реакций и изучение уравнения состояния ядерной материи (EoS), изучение модификации свойств адронов в ядерной ма-

тери, рождения (мульти)странных гиперонов около порога и поиск гиперядер. Для интерпретации экспериментальных данных в процессах столкновения тяжелых ионов и для обеспечения нормировки измеренных спектров, полученных во взаимодействии ядер, планируется также изучение элементарных реакций ( $p + p, p + n(d)$ ).

BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) является первым экспериментом на ускорительном комплексе нуклотрон–NICA. Физическая программа с тяжелыми ионами ускорительного комплекса NICA и эксперимента MPD, запланированного на коллайдере NICA, описана в работах [9–11]. Целью эксперимента BM@N является изучение взаимодействия релятивистских пучков тяжелых ионов с фиксированными мишенями [7, 8]. Нуклотрон обеспечит эксперимент пучками частиц от протонов до ионов золота с кинетической энергией в диапазоне от 1 до 6 ГэВ/нуклон. Максимальная кинетическая энергия для тяжелых ионов с отношением  $Z/A \sim 1/3$  составляет 4,5 ГэВ/нуклон. Планируемая интенсивность пучка ионов золота, ускоренных и накопленных в нуклотроне и бустере и выведенных на установку BM@N, составит до  $10^7 \text{ с}^{-1}$ . Выведенный пучок ионов золота ожидается в начале 2019 г. В период до 2018 г. планируется ускорить и вы-

early produced in the collision and are not present in the initial state of two colliding nuclei, unlike nucleons made up from light ( $u, d$ ) quarks.

The Nuclotron beam energy range is well suited for studies of strange mesons and (multi-)strange hyperons which are produced in nucleus–nucleus collisions close to the kinematic threshold. Heavy-ion collisions are a rich source of strangeness, and the coalescence of  $\Lambda$  hyperons with nucleons can produce a variety of light hypernuclei [4, 5]. The study of the hyper-nuclei production is expected to provide new insights into the properties of the hyperon–nucleon and hyperon–hyperon interactions. In sum, the research programme on heavy-ion collisions at the Nuclotron [6–8] includes the following topics: investigation of the reaction dynamics and nuclear Equation of State (EoS), study of the in-medium properties of hadrons, production of (multi-)strange hyperons at the threshold and search for hyper-nuclei. In order to interpret experimental data from heavy-ion collisions and to provide normalization for the measured  $A + A$  spectra, a study of elementary reactions ( $p + p, p + n(d)$ ) is planned.

BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) is the first experiment at the accelerator complex of Nuclotron–NICA.

The heavy-ion physics programme of the NICA accelerator complex and the MPD experiment planned at the NICA collider is described in [9–11]. The aim of the BM@N experiment is to study interactions of relativistic heavy-ion beams with fixed targets [7–8]. The Nuclotron will provide a variety of beams from protons to gold ions with the kinetic energy of ions ranging from 1 to 6 GeV/nucleon. The maximum kinetic energy for heavy ions with the ratio of  $Z/A \sim 1/3$  is 4.5 GeV/nucleon. The planned intensity of the gold ion beam accelerated and accumulated in the Nuclotron and the Booster and transported to the BM@N experimental zone is up to  $10^7 \text{ s}^{-1}$ . The gold ion beam is expected in early 2019. In the period before 2018 the following ions are foreseen to accelerate: the polarized deuteron beam in 2016, the carbon, argon and krypton beams in 2017. In this period of operation the planned intensity of the beam interacting with the target inside the BM@N setup is  $10^6 \text{ s}^{-1}$ . The proton–proton interactions will be studied after the Nuclotron upgrade in 2018, using the proton beam and the liquid hydrogen target. Figure 1 shows the diagram of the interaction rates accepted by data acquisition systems of heavy-ion experiments running at different energies of colliding nuclei. The beam energy range in the

вести в экспериментальную зону BM@N следующие пучки: поляризованный пучок дейтронов — в 2016 г., пучки ядер углерода, аргона и криптона — в 2017 г. В этот период планируемая интенсивность пучка на установке BM@N составит  $10^6 \text{ с}^{-1}$ . Протон-протонные взаимодействия будут изучаться после модернизации нуклотрона в 2018 г. с использованием протонного пучка и мишени из жидкого водорода. На рис. 1 приведены диаграммы частоты приема данных в экспериментах на пучках тяжелых ионов при различных энергиях сталкивающихся ядер в с. ц. м. Диапазон энергии пучка в эксперименте BM@N частично перекрывает диапазон энергий эксперимента HADES. Ожидается, что частота регистрации непериферических, т. е. цен-

Рис. 1. Частота приема данных и энергия нуклон-нуклонного столкновения в с. ц. м. в экспериментах на пучках тяжелых ионов

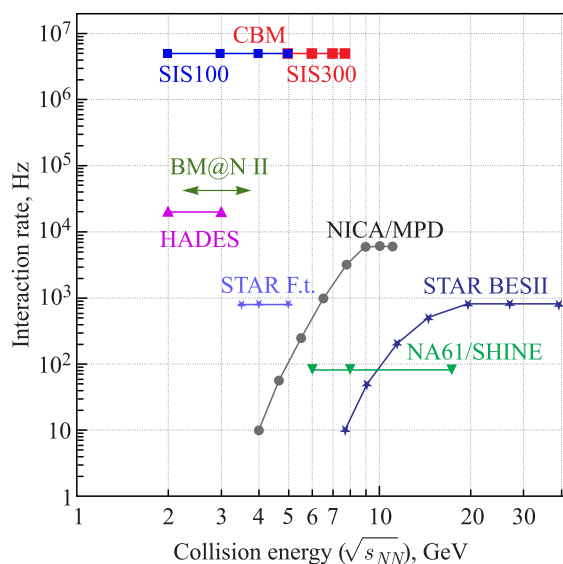


Fig. 1. Interaction rate and nucleon–nucleon collision energy in c. m. s. in heavy-ion experiments

BM@N experiment overlaps partially that in the HADES experiment. The interaction rate of triggered nonperipheral central and intermediate events at the second stage of the BM@N experiment is expected to be around 50 kHz.

A sketch of the proposed experimental setup is shown in Fig. 2. The experiment combines high-precision track measurements with time-of-flight information for particle identification and uses total energy measurements for the analysis of the collision centrality. The charged track momentum and multiplicity will be measured with the set of two-coordinate planes of GEM (Gaseous Electron Multipliers) detectors located downstream of the target in the analyzing magnet and the drift/straw chambers (DCH, Straw) situated outside the magnetic field. The GEM detectors sustain high rates of particles and are operational

тральных или промежуточных, взаимодействий на втором этапе эксперимента BM@N составит около 50 кГц.

Схема предлагаемой экспериментальной установки представлена на рис. 2. Она предназначена для измерения параметров треков с высокой точностью и получения времяпролетной информации для идентификации частиц, а также для измерения полной энергии для анализа центральности соударений. Импульс и множественность заряженных треков будут измеряться с помощью двухкоординатных детекторов GEM (Gaseous Electron Multipliers), расположенных за мишенью внутри анализирующего магнита, а также дрейфовых/строу-камер (DCH, Straw), расположенных за пределами магнитного поля. Детекторы GEM способны функционировать при высоких нагрузках ча-

Рис. 2. Схема установки BM@N

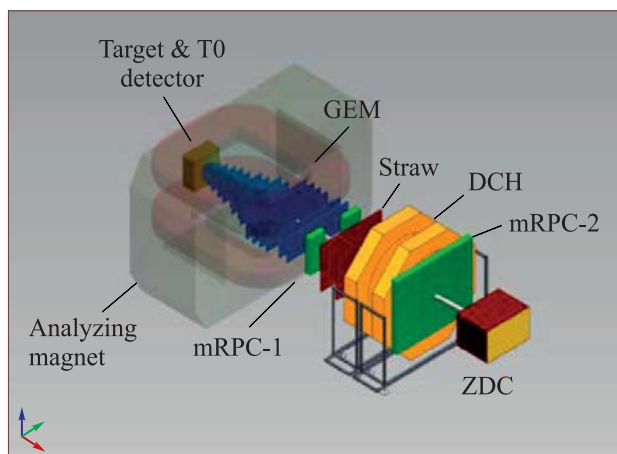


Fig. 2. Schematic view of the BM@N setup

in the strong magnetic field. The gap between the poles of the analyzing magnet is around 1 m. The magnetic field can be varied up to 1.2 T to get the optimal BM@N detector acceptance and momentum resolution for different processes and beam energies. The design parameters of the time-of-flight detectors based on multi-gap resistive plate chambers (mRPC-1,2) with a strip read-out allow us to discriminate between hadrons ( $\pi$ ,  $K$ ,  $p$ ), as well as light nuclei with the momentum up to few GeV/c produced in multi-particle events. The zero degree calorimeter (ZDC) is designed for the analysis of the collision centrality by measuring the energy of forward going particles. The T0 detector, partially covering the backward hemisphere around the target, is planned to trigger central heavy-ion collisions and provide a start time (T0) signal for the mRPC-1, 2 detectors. An electromagnetic calorimeter will be installed behind the outer drift/straw chambers and mRPC-2 wall to study processes with electromagnetic probes ( $\gamma$ ,  $e^\pm$ ) in the final state.

стиц, а также в сильном магнитном поле. Промежуток для детекторов между полюсами анализирующего магнита составляет около 1 м. Магнитное поле может изменяться до максимальной величины 1,2 Тл, что позволяет оптимизировать для детектора BM@N геометрическую эффективность (акцептанс) и импульсное разрешение для различных процессов и энергий пучка. Времяпролетные детекторы на основе технологии mRPC (multigap Resistive Plate Chambers) со стриповым считыванием позволяют разделять адроны ( $\pi$ ,  $K$ ,  $p$ ), а также легкие ядра с импульсом до нескольких ГэВ/с, образованные в многочастичных событиях. Калориметр ZDC (Zero Degree Calorimeter) предназначен для определения прицельного параметра столкновения (центральности) путем измерения энергии частиц — фрагментов пучка. Детектор T0, частично перекрывающий заднюю полусферу вокруг мишени, планируется использовать для измерения центральности столкновения тяжелых ионов, формирования триг-

Рис. 3. Установка BM@N в первом техническом сеансе в марте 2015 г.



Fig. 3. BM@N setup in the first technical run in March 2015

The first technical run of the BM@N detectors was performed with the deuteron and carbon beams in March 2015. The view of the BM@N setup in the run is presented in Fig. 3. The experimental data from the drift chambers, time-of-flight detectors, zero-degree calorimeter, start time and trigger detectors were read out using the integrated data acquisition system. Momentum of the deuteron beam measured from the angular distributions in the drift chambers is given in Fig. 4.

Meanwhile, the GEM detectors for the BM@N central tracker are being produced at the CERN workshop. The GEM detectors with the maximum size of  $200 \times 45$  cm are foreseen for the BM@N central tracker. The configuration of the central tracker in 2016 is based on at least six GEM planes of the half size. It will be extended up

to eight GEM stations of the full size by the end of 2018. At the second stage of the BM@N experiment in 2020, at least four planes of two-coordinate silicon strip detectors will be installed between the GEM tracker and the target to improve the track reconstruction in Au+Au collisions. Presently, the detectors of this type are being developed for the CBM experiment.

гера и стартового сигнала (T0) для детекторов mRPC-1,2. Электромагнитный калориметр будет установлен позади дрейфовых/строу-камер и детектора mRPC-2 для изучения процессов с образованием  $\gamma$ ,  $e^\pm$  в конечном состоянии.

Первый технический сеанс на установке BM@N был проведен на пучках дейтронов и ядер углерода в марте 2015 г. Вид установки BM@N в сеансе представлен на рис. 3. Экспериментальные данные с дрейфовых камер, времяпролетных детекторов, калориметра ZDC, T0 и триггерных детекторов считывались с использованием интегрированной системы сбора данных. Результаты измерения импульса пучка дейтронов по угловым распределениям в дрейфовых камерах приведены на рис. 4.

В то же время было начато производство детекторов GEM в ЦЕРН. Детекторы GEM с максимальным размером  $200 \times 45$  см предусмотрены для центральной трековой системы установки BM@N. Конфигурация центральной трековой системы в 2016 г. предусматривает использование по крайней мере шести GEM-плоскостей половинного размера по вертикали. Она

Рис. 4. Импульс пучка дейтронов, рассчитанный из угловых распределений в дрейфовых камерах при различных значениях интеграла магнитного поля. Красная линия с полосой ошибок дает номинальное значение импульса пучка с неопределенностью ускорителя

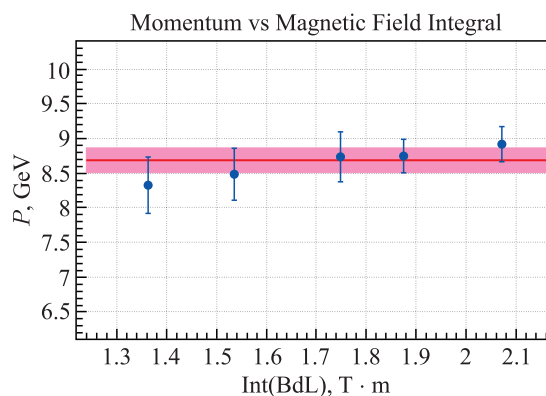


Fig. 4. Momentum of the deuteron beam calculated from the angular distributions measured in the drift chambers for different values of the magnetic field integral. The red line with the error bar gives the nominal value of the beam momentum with the accelerator uncertainty

to eight GEM stations of the full size by the end of 2018. At the second stage of the BM@N experiment in 2020, at least four planes of two-coordinate silicon strip detectors will be installed between the GEM tracker and the target to improve the track reconstruction in Au+Au collisions. Presently, the detectors of this type are being developed for the CBM experiment.



будет расширена до восьми GEM-станций полного размера по вертикали к концу 2018 г. На втором этапе эксперимента BM@N в 2020 г. планируется введение в действие четырех плоскостей двухкоординатных кремниевых детекторов, установленных между детекторами GEM и мишенью для улучшения реконструкции трека в столкновениях ядер Au+Au. В настоящее время детекторы такого типа разрабатываются для эксперимента CBM.

#### Список литературы / References

1. Rapp R., Wambach J. // Eur. Phys. J. A. 1999. V.6. P.415.
2. Brown G.E. // Prog. Theor. Phys. 1987. V.91. P.85.
3. Cassing W., Bratkovskaya E.L. // Phys. Rep. 1999. V.308. P.65.
4. Steinheimer J. et al. // Prog. Part. Nucl. Phys. 2009. V.62. P.313–317.
5. Steinheimer J., Gudima K., Botvina A., Mishustin I., Bleicher M., Stocker H. // Phys. Lett. B. 2012. V.714. P.85.
6. NICA White Paper. <http://nica.jinr.ru>, free access.
7. BM@N Conceptual Design Report. [http://nica.jinr.ru/files/BM@N/BMN\\_CDR.pdf](http://nica.jinr.ru/files/BM@N/BMN_CDR.pdf)
8. BM@N Project Status 2016. [http://bmnshift.jinr.ru/wiki/lib/exe/fetch.php?media=bmnproject\\_2016.pdf](http://bmnshift.jinr.ru/wiki/lib/exe/fetch.php?media=bmnproject_2016.pdf)
9. Trubnikov G., Kovalenko A., Kekelidze V., Meshkov I., Lednicky R., Sissakian A., Sorin A. // PoS (ICHEP 2010). P.523.
10. Trubnikov G., Agapov N., Kekelidze V., Kovalenko A., Matveev V., Meshkov I., Lednicky R., Sorin A. // PoS 36th Intern. Conf. on High Energy Physics (ICHEP 2012), July 4–11, Melbourne, Australia.
11. Kekelidze V., Kovalenko A., Lednicky R., Matveev V., Meshkov I., Sorin A., Trubnikov G. // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl. 2014. 37th Intern. Conf. on High Energy Physics (ICHEP 2014), July 2–9, Valencia, Spain.

*С. П. Мерц, Г. А. Ососков, О. В. Рогачевский*

## Новый алгоритм поиска треков-кандидатов для реконструкции событий в эксперименте BM@N

Реконструкция событий — одна из наиболее важных задач в экспериментах по физике высоких энергий. Она состоит из поиска треков и оценки их параметров в трековых детекторах эксперимента. Это требует огромного числа переборов всех хитов (хит — это реконструированный отклик детектора), чтобы найти те из них, которые принадлежат одному треку. Найденные наборы хитов с вычисленными параметрами называют треками-кандидатами.

BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) — это эксперимент на фиксированной мишени, планируемый к реализации на нуклотроне ОИЯИ. Основная цель эксперимента — изучение барионной материи в столкновениях тяжелых ионов при экстремальных условиях [1].

Процедура реконструкции событий в эксперименте BM@N состоит из поиска треков-кандидатов в GEM-станциях и их последующей экстраполяции с помощью фильтра Калмана [2] к

*S. P. Merts, G. A. Ososkov, O. V. Rogachevsky*

## New Algorithm of Seed Finding for Track Reconstruction in BM@N Experiment

Event reconstruction is one of the most important problems in high energy physics experiments. It consists of track finding and track fitting procedures in the experiment tracking detectors. This requires a tremendous search of detector responses belonging to each track aimed at obtaining the so-called “seeds”, i.e., the initial approximations of track parameters of charged particles.

BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) is a fixed target experiment at the Nuclotron to study  $A + A$  collisions by measuring a variety of observables [1].

The event reconstruction for the BM@N experiment consists in finding track seeds in the GEM detectors and then their extrapolation by Kalman filter [2] to other detectors. As one can see from the left image of Fig. 1, the seed finding problem is really a hard and time consuming one on any projection, due to overcrowded area of search with hits (hit is a reconstructed spatial point of crossing track and subdetector system). To find a seed from the set of hits registered by a tracking detector, one should classify somehow those hits by their closeness to particle trajectories. There are several methods which are used to

остальным детекторам. Как можно видеть на рис. 1, слева, задача поиска треков-кандидатов действительно сложная и требует много вычислительного времени из-за высокой плотности хитов. Чтобы найти трек-кандидат из набора реконструированных хитов, нужно каким-либо образом классифицировать хиты по близости к траектории частицы. Существуют различные методы для достижения данной цели: преобразование Хафа, эластичный трекинг, клеточные авто-

маты и пр. [3,4]. Авторами данной статьи предлагается новое координатное преобразование:

$$\{X, Y\} \rightarrow \left\{ \frac{X}{R}, \frac{Y}{R} \right\},$$

где  $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ .

Предложенное преобразование переводит экспериментальные данные в пространство нормированных координат, в котором хиты, соответствующие одному

Рис. 1. Слева: вид данных Monte-карло-моделирования для эксперимента BM@N в плоскости XY; справа: представление тех же данных в пространстве нормированных координат

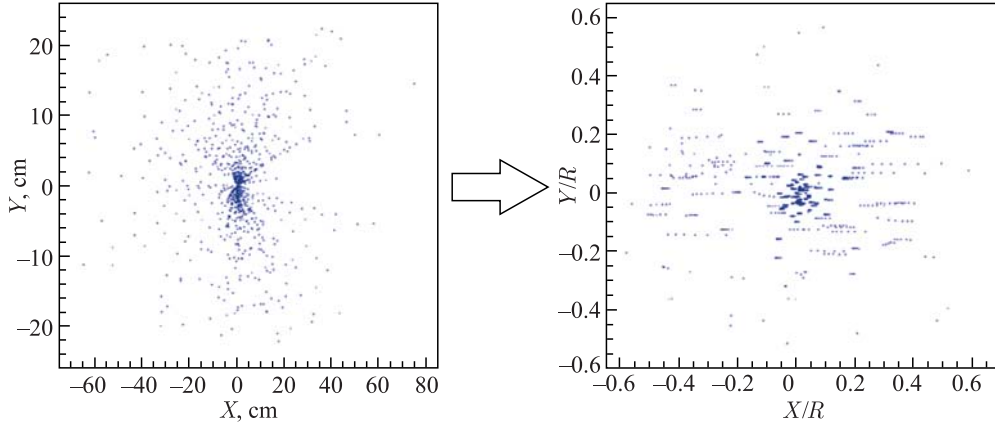


Fig. 1. Left: XY view of a simulated data for the BM@N facility; right: representation of the same tracks after using the proposed transformation

Рис. 2. Эффективность реконструкции и импульсное разрешение для столкновения ядер золота на установке BM@N

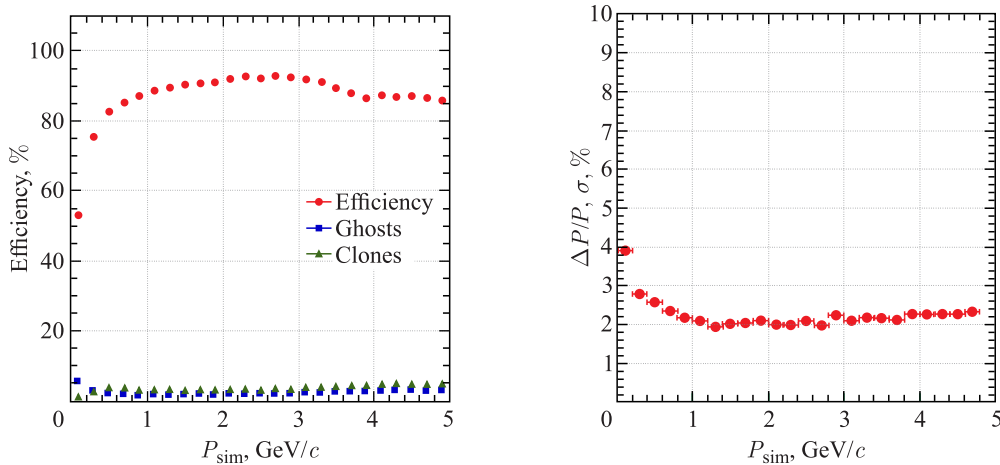


Fig. 2. BM@N track reconstruction efficiency and momentum resolution for Au+Au collision

achieve that, namely, Hough transform, elastic tracking, cellular automaton, etc., with their advantages and shortcomings [3,4]. We propose here a new transformation of the coordinate system:

$$\left\{ X, Y \right\} \rightarrow \left\{ \frac{X}{R}, \frac{Y}{R} \right\},$$

where  $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ .

This transformation converts experimental data into a space of normalized coordinates where the hits corre-

sponding to one track are grouped more compactly (the right image, Fig. 1) and almost horizontally.

An appropriate algorithm of the fast horizontal histogramming for track-candidate search has been proposed [4] in order to find track candidates as groups of closed hits satisfying special acceptance criteria. The obtained track candidates are approximated by Archimedean spirals to estimate the required track parameters (momentum, charge, vertex, etc.). The proposed algorithm of horizontal histogramming

треку, группируются в компактные горизонтальные отрезки (рис. 1, справа). Быстрый алгоритм поиска треков-кандидатов в пространстве нормированных координат был предложен в [4].

Для оценки параметров найденные треки-кандидаты аппроксимируются спиралями Архимеда. Ввиду компактности данных в пространстве нормированных координат предложенный алгоритм может быть эффективно распараллелен на современных компьютерах.

На рис. 2, слева представлено распределение эффективности и доля ложных треков и треков-клонов. Импульсное разрешение представлено на рис. 2, справа. Данные получены из генератора LaQGSN для столкновения ядер золота.

В случае высокой множественности в задаче трекинга остро встает проблема возникновения ложных хитов. В работе [5] мы предложили новый подход к решению этой проблемы, основанный на применении потенциалов Лоренца.

reveals an opportunity to be parallelized on modern computers.

A distribution of the efficiency and the percentage of the ghost tracks and clones are shown on the left pad of Fig. 2. A momentum distribution is presented on the right pad of Fig. 2.

In case of high multiplicity, the problem of the fake hits gets extremely important. We proposed a new approach with applying Lorenz potential to reject the fake hits [5].

#### Список литературы / References

1. *BM@N Collab.* BM@N Conceptual Design Report. [http://mica.jinr.ru/files/BM@N/BMN\\_CDR.pdf](http://mica.jinr.ru/files/BM@N/BMN_CDR.pdf)
2. *Fruhwith R.* // Nucl. Instr. Meth. A. 1987. V. 262. P. 444.
3. *Fruhwith R. et al.* Data Analysis Techniques for High-Energy Physics. 2nd ed. Cambridge Univ. Press, 2000.
4. *Merts S.P. et al.* // Mat. Model. 2015. V. 27, No. 7. P. 10–14.
5. *Baranov D. et al.* // EPJ Web of Conferences. 2016. V. 108. P. 02012.

*A. S. Batova, A. N. Bugay, A. Yu. Parhomenko*

## Подходы к математическому моделированию электрофизиологической активности нейронов гиппокампа

При пилотируемых полетах в дальний космос высокую опасность для экипажей кораблей могут представлять тяжелые заряженные частицы, входящие в состав галактических космических лучей (ГКЛ) [1]. При оценке риска радиационного воздействия тяжелых ядер ГКЛ в ходе межпланетной миссии необходимо иметь в виду возможное формирование нарушений со стороны центральной нервной системы космонавтов. В экспериментах по облучению лабораторных животных высокоэнергетичными ионами железа в дозах, соответствующих реальным потокам галактических ядер железа при полете к Марсу, выявляются различные нарушения со стороны центральной нервной системы (ЦНС). Они проявляются

*A. S. Batova, A. N. Bugay, A. Yu. Parkhomenko*

## Approaches to the Mathematical Modeling of the Electrophysiological Activity of Hippocampal Neurons

In the manned deep space flights, heavy charged particles of the galactic cosmic rays (GCR) can be very dangerous for the crew members [1]. When evaluating the risk associated with exposure to GCR heavy nuclei during an interplanetary flight, the possible development of the cosmonauts' central nervous system (CNS) disorders should be taken into account. In experiments on the irradiation of experimental animals with high-energy iron ion beams at doses matching the real fluxes of galactic iron nuclei during a Mars mission, different CNS disorders are observed. Their symptoms include expressed spatial orientation disorders and suppression of cognitive functions, which is linked with damage to the synaptic transmission mechanisms in different brain structures — first of all, in the hippocampus as the most radiation-sensitive CNS structure. Along with charged particle accelerator-based experimental research on the neuroradiobiological effects of high-energy accelerated heavy ions,



в выраженной потере пространственной ориентации, угнетении когнитивных функций, что связывается с повреждением механизмов синаптической передачи в различных структурах мозга и, прежде всего, в гиппокампе как наиболее уязвимой в этом случае структуре ЦНС. Наряду с постановкой экспериментальных исследований на ускорителях заряженных частиц по моделированию нейрорадиобиологических эффектов ускоренных тяжелых ионов высоких энергий весьма важными представляются разработки моделей электрофизиологической активности нейронов различных областей ЦНС.

Согласно современным данным [1–3] гиппокамп представляет собой одну из наиболее чувствительных областей ЦНС при действии ионизирующей радиации. По оценкам специалистов NASA, вне магнитосферы Земли один квадратный сантиметр площади пересекает в сутки около 160 тяжелых заряженных частиц с зарядом атомного ядра  $Z \geq 20$ . Согласно расчетам, в ходе пилотируемого трехлетнего межпланетного полета от 7 до 13% нейронов в ЦНС могут подвергнуться воздействию высокоэнергетичных ионов железа и до 46% нейронов — воздействию частиц с зарядом атомного ядра  $Z \geq 15$  [4]. Около 20 миллионов нервных клеток из примерно 46 миллионов, входящих в

структуры гиппокампа, будут пересекать одна и более частиц с  $Z \geq 15$ .

Почему особую опасность представляет действие таких частиц именно на гиппокамп? Подавляющее большинство нейронов взрослого мозга являются высокодифференцированными клетками, которые утратили способность к делению и потому достаточно устойчивы к действию радиации. Однако клетки гиппокампа, сохранившие способность к делению, исключительно уязвимы к воздействию излучений. В гиппокампе взрослого мозга нейрогенез осуществляется непрерывно, и этот процесс является нейробиологической основой формирования новой памяти. Как теперь установлено, именно гиппокамп, сохранивший способность к нейрогенезу, играет ключевую роль в формировании долговременной памяти, в интеграции получаемой мозгом информации и в ее распределении в высших отделах мозга. С учетом этого разработка математических моделей нейронных сетей и структур, входящих в эту область ЦНС [2,3], представляется крайне важной задачей при анализе нейрорадиобиологических эффектов ускоренных заряженных частиц.

На уровне сети важно учесть, каким образом внутриклеточные свойства системы объединяются со свойствами связей между нейронами, с тем чтобы

the development of models of the electrophysiological activity of neurons of different CNS parts seems to be very important.

Modern data suggest that the hippocampus is one of the most ionizing radiation-sensitive CNS parts [1–3]. NASA's estimations show that beyond the Earth's magnetosphere a square centimeter is crossed by about 160 heavy charged particles with the nuclear charge  $Z \geq 20$  during 24 hours. It has been calculated that during a three-year manned interplanetary flight, from 7 to 13% of the CNS neurons can be exposed to high-energy iron ions, and up to 46%, to particles with  $Z \geq 15$  [4]. About 20 million nerve cells out of approximately 46 million in the hippocampus structures will be crossed by one or more particles with  $Z \geq 15$ .

Why are such particles especially dangerous to the hippocampus? The vast majority of the mature brain neurons are highly differentiated cells that have lost their ability to divide and, therefore, are quite resistant to radiation exposure. But the hippocampus cells that retain their ability to divide are extremely radiation-sensitive. In the mature brain hippocampus, neurogenesis goes on continuously; this process is the neurobiological basis of new memory

formation. As has been established, it is exactly the hippocampus with its retained capability of neurogenesis that plays the key role in the formation of long-term memory as well as in the integration of information received by the brain and its distribution in the brain's higher segments. The development of mathematical models of neural networks and structures making up this part of the CNS [2,3] thus seems to be an extremely important task for research on the neuroradiobiological effects of accelerated charged particles.

At the network level, it is important to take into account how the internal cell properties merge with the properties of the neural links so that the modeled population's behavior would be the closest to real neural populations' behavior. The model should include the geometry of cells and intracellular structures, organization of their molecular and intracellular formations, biophysical processes, as well as biochemical reaction cascades in cells and intercellular interactions.

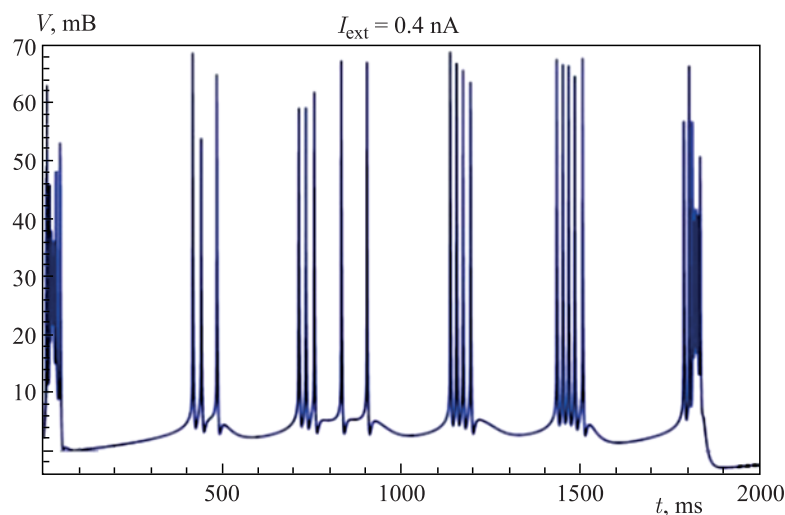
The present work aims at designing a mathematical model of the neural network in the CA3 region of the hippocampus that would include both membrane and biochemical processes developing in neurons.

поведение сети было максимально близким к поведению реальных нейронных популяций. Модель должна включать в себя геометрию клеток и внутриклеточных структур, организацию их молекулярных и внутриклеточных образований, биофизические процессы, а также биохимические каскады реакций, протекающих в клетках, межклеточные взаимодействия.

Целью настоящей работы явилась разработка математической модели сети нейронов области СА3 гиппокампа, учитывающей как мембранные, так и биохимические процессы, формирующиеся в нейронах. В рамках модели единичный пирамидный нейрон моделируется 19 компартаментами (восемь для базальных дендритов, один для сомы и десять для апикальных дендритов). Модель тормозного интернейрона также состоит из 19 компарментов. Кинетическое уравнение для мембранного потенциала для  $j$ -го компартамента на  $k$ -м нейроне имеет вид уравнений Ходжкина–Хаксли с дополнительными токами, обусловленными как мембранными ионными каналами (ток утечки  $I_{leak}$ , натриевый ток  $I_{Na}$ , кальциевый ток

$I_{Ca}$ , калиевый ток задержанного выпрямления  $I_K$ , быстрый калиевый ток А-типа  $I_{K(A)}$ , калиевый ток следовой гиперполяризации  $I_{K(AHP)}$ , кальцийзависимый калиевый ток  $I_{K(Ca)}$ ), так и синаптическими токами. Принимается, что пирамидные клетки образуют контакты с другими клетками через глутаматные AMPA- и NMDA-синапсы, содержащие возбуждающие NMDA- и AMPA-рецепторы, активация которых вызывает возбуждающий постсинаптический потенциал (ВПСП), интернейроны — через синапсы, использующие тормозной нейромедиатор гамма-аминомасляную кислоту (GABA). Их активация вызывает тормозной постсинаптический потенциал (ТПСП). Пространственное распределение синаптических контактов между нейронами считалось нормальным. Параметры модели были адаптированы на основании работ [5, 6].

В результате популяция нейронов моделировалась системой нелинейных дифференциальных уравнений следующего вида:



Динамика потенциала действия на мембране пирамидальных нейронов при стимуляции внешним током

Dynamics of the action potential on a pyramidal neuron membrane stimulated by an external current

In the proposed model, a unit pyramidal neuron is modeled by 19 compartments (eight for basal dendrites, one for the soma, and 10 for apical dendrites). An inhibitory interneuron model also consists of 19 compartments. A kinetic equation for the membrane potential for the  $j$ th compartment on the  $k$ th neuron has a form of Hodgkin–Huxley equations with additional currents caused by both membrane ion channels (leakage current  $I_{leak}$ , sodium current  $I_{Na}$ , calcium current  $I_{Ca}$ , potassium delayed rectification current  $I_K$ , A-type fast potassium current  $I_{K(A)}$ , potassium trace hyperpolarization current  $I_{K(AHP)}$ , and calcium-dependent potassium current  $I_{K(Ca)}$ ) and synaptic currents. It is supposed that the pyramidal cells form contacts with other cells through glutamate AMPA and NMDA synapses containing excitatory receptors, the ac-

tivation of which generates the excitatory postsynaptic potential; interneurons, through synapses that use the inhibitory neuromediator gamma-aminobutyric acid. Their activation generates the inhibitory postsynaptic potential. The spatial distribution of the synaptic contacts between neurons was considered normal. The model parameters were adapted based on papers [5, 6].

Consequently, a neuron population is modeled by a system of nonlinear differential equations of the following form:

$$C_e \frac{dV_{jk}}{dt} = \gamma_{j-1,j}(V_{ij-1} - V_{ij}) + \gamma_{j+1,j}(V_{ij+1} - V_{ij}) - I_{leak} - I_{Na} - I_{Ca} - I_K - I_{K(Ca)} - I_{K(A)} - I_{K(AHP)} - I_{NMDA}^{ee} - I_{AMPA}^{ee} - I_{GABA}^{ie} + I_{ext}, \quad (1)$$

$$C_e \frac{dV_{jk}}{dt} = \gamma_{j-1,j}(V_{ij-1} - V_{ij}) + \gamma_{j+1,j}(V_{ij+1} - V_{ij}) - I_{\text{leak}} - I_{\text{Na}} - I_{\text{Ca}} - I_{\text{K}} - I_{\text{K(Ca)}} - I_{\text{K(A)}} - I_{\text{K(AHP)}} - I_{\text{NMDA}}^{ee} - I_{\text{AMPA}}^{ee} - I_{\text{GABA}}^{ie} + I_{\text{ext}}, \quad (1)$$

$$C_i \frac{dU_{jk}}{dt} = \gamma_{j-1,j}(U_{ij-1} - U_{ij}) + \gamma_{j+1,j}(U_{ij+1} - U_{ij}) - I_{\text{leak}} - I_{\text{Na}} - I_{\text{K}} - I_{\text{NMDA}}^{ei} - I_{\text{AMPA}}^{ei} - I_{\text{GABA}}^{ii}, \quad (2)$$

где  $V$  и  $U$  — потенциалы действия на мембранах пирамидальных нейронов и интернейронов соответственно;  $C$  — емкость мембран;  $\gamma$  — проводимость между компартаментами.

Тестирование модели проводилось путем стимуляции импульсами внешнего тока. Как в изолированных нейронах, так и в их популяции потенциал действия генерируется в режиме бёрстов (см. рисунок), частота которых увеличивается с увеличением внешнего стимула.

Таким образом, разработана модель популяции нейронов области СА3 гиппокампа с учетом всех типов синаптических связей. Важной особенностью работы является учет пространственной структуры каждого отдельного нейрона, что открывает перспективы для последующего развития нейрорадиобиоло-

гических аспектов модели с использованием методов микродозиметрии для оценки энерговыделения в треках заряженных частиц различных энергий.

### Список литературы / References

1. Григорьев А.И., Красавин Е.А., Островский М.А. К оценке риска биологического действия галактических тяжелых ионов в условиях межпланетного полета // Российский физиологич. журн. им. И.М.Сеченова, 2013. Т.99, №3. С.273–280 / Grigoryev A.I., Krasavin E.A., Ostrovsky M.A. On the Evaluation of the Risk of the Biological Action of Galactic Heavy Ions during an Interplanetary Flight // Russ. J. Physiol. 2013. V.99, No. 3. P.273–280 (in Russian).
2. Machida M., Lonart G., Britten R.A. Low (60 cGy) Doses of  $^{56}\text{Fe}$  HZE-Particle Radiation Lead to a Persistent Reduction in the Glutamatergic Readily Releasable Pool in Rat Hippocampal Synaptosomes // Radiat. Res. 2010. V.174. P.618–623.
3. Sokolova I.V., Schneider C.G., Bezaire M., Soltesz I., Vlkolinsky R., Nelson G. Proton Radiation Alters Intrinsic and Synaptic Properties of CA1 Pyramidal Neurons of the Mouse Hippocampus // Radiat. Res. 2015. V.183. P.208–218.
4. Curtis S.V., Vazquez M.E., Wilson J.W. et al. Cosmic Ray Hits in the Central Nervous System at Solar Maximum // Adv. Space Res. 2000. V.25. P.2035–2040.
5. Traub R.D., Wong R.K.S., Miles R., Michelson H. A Model of a CA3 Hippocampal Pyramidal Neuron Incorporating Voltage-Clamp Data on Intrinsic Conductances // J. Neurophysiol. 1991. V.66. P.635–650.
6. Traub R.D., Miles R., Buszaki G. Computer Simulation of Carbachol-Driven Rhythmic Population Oscillations in the CA3 Region of the In Vitro Rat Hippocampus // J. Physiol. 1992. V.451. P.653–672.

$$C_i \frac{dU_{jk}}{dt} = \gamma_{j-1,j}(U_{ij-1} - U_{ij}) + \gamma_{j+1,j}(U_{ij+1} - U_{ij}) - I_{\text{leak}} - I_{\text{Na}} - I_{\text{K}} - I_{\text{NMDA}}^{ei} - I_{\text{AMPA}}^{ei} - I_{\text{GABA}}^{ii}, \quad (2)$$

where  $V$  and  $U$  are the action potentials on the membranes of pyramidal neurons and interneurons, respectively;  $C$  is membrane capacity; and  $\gamma$  is conductivity between compartments.

The model was tested by external current pulse stimulation. Both in isolated neurons and in their population the action potential is generated in a burst mode (see figure); the burst frequency increases with external stimulus amplification.

In summary, a model of the neural population of the CA3 region of the hippocampus has been developed taking into account all synaptic link types. An important feature of this study is that the spatial structure of each single neuron is taken into account, which opens prospects for the further development of neuroradiobiological aspects of the model using microdosimetry methods to evaluate energy deposition in the tracks of charged particles of different energy.



**45-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц состоялась 20–21 июня под председательством профессора И. Церруя.**

Вице-директор ОИЯИ Р.Ледниcki проинформировал ПКК о резолюции 119-й сессии Ученого совета Института (февраль 2016 г.) и решениях Комитета полномочных представителей ОИЯИ (апрель 2016 г.). ПКК поблагодарил Р.Ледницкого за подробный доклад о подготовке Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. и с удовлетворением отметил, что предложенные комитетом критерии по разработке новой семилетки в области физики частиц были приняты Ученым советом для общего руководства.

ПКК поздравил дирекцию ОИЯИ и руководство ЛФВЭ с подписанием Соглашения между Правительством Российской Федерации и ОИЯИ о целевом вкладе Российской Федерации в мегапроект NICA, гарантирующем его реализацию. ПКК приветствовал подписание Протокола между Министерством образования и науки РФ, Министерством образования и технологий КНР, Китайской академией наук и ОИЯИ о перспективах сотрудничества в рамках мегапроекта NICA (сверхпроводящие системы, электромагнитный

калориметр, времяпролетные системы и теоретические исследования). Комитет считает, что эти важные шаги усилят международный статус проекта NICA и обеспечат дополнительные гарантии его своевременного осуществления в 2019 г.

ПКК с большим удовлетворением отметил успешное завершение работ по форинжектору на базе новой системы RFQ линейного ускорителя LU-20 для нуклотрона и устойчивый прогресс в развитии инфраструктуры ОИЯИ. ПКК приветствовал успешный запуск криогенного комплекса NICA, самого крупного в России ожижителя гелия с производительностью до 1100 литров в час, а также отметил, что создание производственного участка для изготовления и тестирования сверхпроводящих магнитов ускорительного комплекса NICA близко к завершению.

ПКК одобрил продолжающиеся усилия по завершению создания технических проектов главных подсистем детектора MPD. Вместе с тем ПКК вновь подчеркнул необходимость привлечения молодых сотрудников и новых сторонних групп для реализации проекта NICA/MPD. ПКК считает важным предоставить BM@N заявленное пучковое время на нуклотроне для проведения тестовых испытаний, с тем чтобы эксперимент вовремя



Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, май. Участники работ по вводу в эксплуатацию нового линейного ускорителя дейтронов и легких ионов для строящегося коллайдера NICA

The Veksler and Baldin Laboratory of High Energy Physics, May. Participants of the process of launching the new linear accelerator of deuterons and light nuclei for the NICA collider



Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 20 апреля. Группа иностранных журналистов, посетивших ОИЯИ в рамках международного проекта CREMLIN, на установке NICA

The Veksler and Baldin Laboratory of High Energy Physics, 20 April. A group of foreign journalists, visiting JINR in the framework of the international project CREMLIN, at the NICA facility

**The 45th session of the Programme Advisory Committee for Particle Physics took place on 20–21 June. It was chaired by Professor I. Tserruya.**

JINR Vice-Director R. Lednický informed the PAC about the Resolution of the 119th session of the JINR Scientific Council (February 2016) and the decisions of the JINR Committee of Plenipotentiaries (April 2016). The PAC thanked R. Lednický for his comprehensive report about the status of JINR's new Seven-Year Plan for the Development of JINR (2017–2023) and noted with satisfaction that the procedures proposed by the PAC for Particle Physics for the elaboration of the new seven-year plan in the area of particle physics had been adopted as general guidelines.

The PAC congratulated the JINR Directorate and the VBLHEP management for signing the Agreement between the Russian government and JINR on a dedicated contribution from Russia to the NICA megaproject that guarantees its realization. The PAC welcomed the signing of the Protocol among the Russian Ministry of Education and Science, the Chinese Ministry of Science and Technology, the Chinese Academy of Sciences and JINR on the prospects of cooperation within the framework of the NICA megaproject (superconducting systems, ECAL and TOF systems, and theory). The PAC regards these as important steps that will enhance the international status of the

NICA project and provide additional guarantee for its timely completion in 2019.

The PAC was very pleased with the successful commissioning of the new fore-injector of the LU-20 linear accelerator based on the RFQ-system and with the steady progress in infrastructure developments at JINR. The Committee welcomed the successful launch of the NICA cryogenic complex — the largest helium liquefier in Russia with a capacity of 1100 liters per hour. It also noted that the set-up of the facility for producing and testing superconducting magnets for the NICA accelerator complex is nearing completion.

The PAC encouraged further efforts towards completion of the technical design reports for the main subsystems of the MPD detector. At the same time the PAC emphasized again the need to attract young professionals and additional external groups for the realization of the MPD project. The PAC considered it important to provide BM@N with the requested test beam time at the Nuclotron to ensure the timely start of the experiment. The PAC requested the BM@N team to establish clear milestones to allow appropriate monitoring of the project.

The PAC took note of the new project “Development of a precision magnetic spectrometer, SCAN-3, and research of non-nucleon degrees of freedom in nuclei, nucleon correlations and nuclear fragmentation at the internal target



стартовал, и обратился к участникам ВМ@N с просьбой определить ясные цели, позволяющие эффективно отслеживать этапы исполнения проекта.

ПКК принял к сведению новое предложение «Создание прецизионного магнитного спектрометра SKAN-3 и проведение исследований ненуклонных степеней свободы в ядрах, нуклонных корреляций и ядерной фрагментации на внутренней мишени нуклотрона». Отметив высокую научную значимость и уникальность предлагаемых исследований, а также большой интерес стран-участниц ОИЯИ к проекту, ПКК рекомендовал одобрить этот проект до конца 2019 г.

ПКК с интересом рассмотрел новый проект развития Многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК) ОИЯИ, который охватывает развитие всех компонентов комплекса — от инженерной и сетевой инфраструктур до вычислительных компонентов различной архитектуры и систем хранения данных — и учитывает перспективы развития современной вычислительной техники и информационных технологий. Накопленный в ЛИТ опыт будет использоваться для развития компьютерной инфраструктуры мегапроекта NICA. Комитет рекомендовал одобрить выполнение проекта до конца 2019 г.

На закрытом совещании с дирекцией ОИЯИ прошло обсуждение проекта новых руководящих положений о программно-консультативных комитетах ОИЯИ и

процедуры оценки проектов. Комитет был весьма удовлетворен значительными сдвигами, последовавшими за предыдущими обсуждениями данным ПКК с дирекцией и недавними предложениями, сделанными председателями ПКК по физике частиц и ПКК по физике конденсированных сред. Комитет поблагодарил дирекцию ОИЯИ за возможность высказать свои замечания по проектам прежде, чем документы будут одобрены.

ПКК заслушал научные доклады А.В. Сидорова «Внутренняя спиновая структура нуклона» и Н.В. Красникова «Эксперимент NA64 на SPS в ЦЕРН. Поиск темного сектора в событиях с недостающей энергией».

ПКК с интересом ознакомился со стендовыми сообщениями молодых ученых ЛЯП и ЛФВЭ. Отметив хорошее качество представленных результатов, комитет выбрал сообщение Л.Д. Колупаевой «Влияние среды на нейтринные осцилляции в эксперименте NO<sub>ν</sub>A» для доклада на сессии Ученого совета в сентябре 2016 г.

**44-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике состоялась 23–24 июня под председательством профессора Ф. Пикмаля.**

Председатель сессии ПКК представил сообщение о выполнении рекомендаций предыдущей сессии. Вице-директор ОИЯИ М.Г. Иткис проинформировал ПКК о резолюции 119-й сессии Ученого совета

of the Nuclotron”. The PAC recognized the scientific importance and uniqueness of the proposed research, and the high interest of JINR Member States. The Committee recommended approval of the project until the end of 2019.

The PAC reviewed with interest the project for the development of a Multifunctional Information and Computing Complex (MICC) of JINR. The PAC noted that the project covers all components of the Complex from the engineering and network infrastructure to the computing components with different architectures and data storage systems, and takes into account the prospects for the development of present-day IT and computing techniques. The experience gained by LIT will be used to develop the computing infrastructure of the NICA megaproject. The PAC recommended approval of the project until the end of 2019.

At a closed session with the JINR Directorate, the PAC discussed the drafts of updates proposed for the governing regulations of the PACs and the evaluation procedures of projects. The PAC was very pleased with significant developments that follow previous discussions of the PAC with the Directorate and recent proposals made by the chairpersons of the PAC for Particle Physics and the PAC for Condensed Matter Physics. The PAC thanked the JINR Directorate for the opportunity to comment on the drafts before they are finalized.

The PAC heard the scientific reports “Internal spin structure of the nucleon” by A. Sidorov and “NA64 experiment at CERN SPS. Search for dark sector in missing energy events” by N. Krasnikov.

The PAC reviewed poster presentations in particle physics by young scientists from DLNP and VBLHEP. Recognizing the overall good quality of the results presented, the PAC selected the poster “Matter effect in neutrino oscillations for the NO<sub>ν</sub>A experiment” by L. Kolupaeva to be reported at the session of the Scientific Council in September 2016.

**The 44th meeting of the Programme Advisory Committee for Nuclear Physics was held on 23–24 June. It was chaired by Professor F. Piquemal.**

The Chairperson of the meeting presented an overview of the implementation of the recommendations taken at the previous meeting. JINR Vice-Director M. Itkis informed the PAC about the Resolution of the 119th session of the JINR Scientific Council and the decisions of the JINR Committee of Plenipotentiaries.

The PAC heard a report on the theme “Investigations in the Field of Nuclear Physics with Neutrons” and a proposal for opening a new theme presented by V. Shvetsov. The PAC appreciated the results obtained under this theme.

Института и решениях Комитета полномочных представителей ОИЯИ.

Заслушав отчет по теме «Исследования в области нейтронной ядерной физики» и предложение по открытию новой темы, ПКК высоко оценил полученные результаты, в частности, отметил важность работ по развитию ускорительной установки ИРЕН и выполненным экспериментам, достижения в исследовании фундаментальной симметрии с холодными нейтронами и в исследовании свойств нейтрона с использованием ультрахолодных поляризованных нейтронов, проведение измерений, связанных с ядерными данными.

ПКК рекомендовал одобрить открытие новой темы «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и

свойств нейтрона» до конца 2019 г. и предложил дирекции ЛНФ сконцентрировать усилия на доведении установки ИРЕН до проектных параметров пучков для реализации предлагаемой в новой теме исследовательской программы лаборатории.

ПКК заслушал отчет по теме «Физика легких мезонов», которая включает 3 проекта (COMET, GDH&SPASCHARM, SPRING) и 4 экспериментальные программы (MEG-PEN, ТРИТОН, МЮОН, PAINUC).

Ввиду прекращения работы COSY в области адронной физики предлагается изменить статус проекта SPRING на активность в рамках темы.

На фазотроне ЛЯП ОИЯИ успешно проведен сеанс измерений (эксперимент ТРИТОН), где впервые наблю-

Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка, 23 июня.  
Участники сессии ПКК по ядерной физике на экскурсии в лаборатории



The Frank Laboratory of Neutron Physics, 23 June. Participants of the meeting of the PAC for Nuclear Physics.  
An excursion around the Laboratory

It noted, in particular, the importance of the development of the IREN accelerator facility and of the experiments accomplished; the achievements in the investigations of fundamental symmetries and properties of the neutron using ultracold neutrons and in the measurements of related nuclear data.

The PAC recommended approval of the new theme “Investigations of Neutron-Nuclear Interactions and Properties of the Neutron” until the end of 2019. The FLNP Directorate should concentrate on achieving the designed beam parameters of the IREN project in order to pursue the research programmes of the Laboratory proposed for the new theme.

The PAC heard a report on the theme “Physics of Light Mesons”, which includes 3 projects (COMET, GDH&SPASCHARM, SPRING) and 4 activities (MEG-PEN, TRITON, MUON, PAINUC).

Due to the termination of the COSY work for hadron physics, it was suggested that the status of SPRING be changed from “project” to “activity” within the above theme.

A successful run was performed at the DLNP Phasotron (experiment TRITON), observing for the first time two additional output channels ( $e^+e^-$  and very likely  $2\gamma$ ) which had escaped observation in previous experiments. To conclude this experiment, a final run of about 200 h at the Phasotron should be allocated.



дались два дополнительных выходных канала ( $e^+e^-$  и, весьма вероятно,  $2\gamma$ ), которые оставались не замеченными в прежних экспериментах. ПКК рекомендовал предусмотреть на фазотроне последний сеанс продолжительностью около 200 часов для завершения этого эксперимента.

ПКК предложил участникам экспериментов PEN и PAINUC представить окончательные доклады о полученных результатах, а также рекомендовал продолжить сотрудничество ОИЯИ в эксперименте MEG-II.

Целью проекта GDH&SPASCHARM является изучение спиновой структуры нуклона на микротроне MAMI в Майнце (GDH) и на синхротроне У-70 ИФВЭ в Протвино (SPASCHARM). В обеих экспериментальных программах используются поляризованные мишени с замороженной поляризацией. ПКК дал положительную оценку подготовке к проведению экспериментов в рамках проекта GDH&SPASCHARM и рекомендовал его продление до конца 2019 г.

ПКК в целом одобрил отчет по теме «Физика легких мезонов», однако отложил продление темы до ее детальной оценки на следующей сессии.

Заслушав отчет о научных результатах, полученных в исследованиях по теме «Синтез и свойства ядер на границах стабильности», и предложение по открытию новой темы «Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границах нуклонной

стабильности», ПКК рекомендовал одобрить открытие новой темы сроком на 5 лет, до конца 2021 г.

ПКК заслушал отчет по теме «Ускорительный комплекс пучков ионов стабильных и радиоактивных нуклидов (DRIBs-III)» и предложение по открытию новой темы «Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)». ПКК рекомендовал одобрить открытие новой темы сроком на 5 лет, до конца 2021 г., поддержал предлагаемое усовершенствование циклотронов У-400М и У-400 и предложил дирекции ОИЯИ уделить особое внимание своевременному завершению создания фабрики СТЭ, монтажу и вводу в эксплуатацию ускорителя ДЦ-280 и физических установок для проведения первых экспериментов на фабрике СТЭ. Заслушав отчет по теме «Информационно-вычислительная инфраструктура ОИЯИ», а также предложение о ее продлении и открытии в ее рамках проекта по созданию Многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК), ПКК рекомендовал продлить тему «Информационно-вычислительная инфраструктура ОИЯИ» до конца 2019 г. и открыть в рамках этой темы проект развития МИВК в ОИЯИ. ПКК подчеркнул необходимость информирования о работах, выполненных с использованием информационно-вычислительной инфраструктуры ЛИТ и с участием ее специалистов, и хотел бы видеть более четкие доказательства

The PAC invited the participants of the PEN and PAINUC experiments to present final reports on the results produced; it also recommended that JINR's collaboration in the MEG-II experiment be continued.

The goal of the GDH&SPASCHARM project is an investigation of the nucleon spin structure with the MAMI microtron in Mainz (GDH) and with the U70 synchrotron in Protvino (SPASCHARM). In both experimental programmes, polarized targets are used. The PAC appreciated the quality of preparations for the experiments as part of the GDH&SPASCHARM project and recommended its continuation until the end of 2019.

On the whole, the PAC recommended approval of the report on the theme "Physics of Light Mesons". However, the extension of this theme was postponed until its detailed evaluation at the next PAC meeting.

The PAC heard a report on the scientific results of the concluding theme "Synthesis and Properties of Nuclei at the Stability Limits" and a proposal for opening a new theme "Synthesis and Properties of Superheavy Elements, Structure of Nuclei at the Limits of Nucleon Stability". The PAC recommended approval for opening the new theme until the end of 2021.

The PAC heard a report on the theme "Accelerator Complex of Ion Beams of Stable and Radioactive Nuclides

(DRIBs-III)" and a proposal for opening a new theme "Development of the FLNR Accelerator Complex and Experimental Set-ups (DRIBs-III)" for a term of five years, up to the end of 2021. The PAC supported the proposed upgrade of the U400M cyclotron and preparation for the upgrade of the U400 cyclotron, and recommended that the JINR Directorate draw particular attention to the timely completion of the construction of the SHE Factory, the installation and commissioning of the DC280 accelerator and physics set-ups with a view to conducting first experiments at the SHE Factory.

The PAC heard a report on the theme "Information and Computing Infrastructure of JINR" and a proposal for its extension and opening, within this theme, of a project for the development of a Multifunctional Information and Computing Complex (MICC). The PAC recommended extension of the theme "Information and Computing Infrastructure of JINR" until the end of 2019 and opening of the project for the development of MICC at JINR under the theme. The PAC emphasized the necessity to provide information about the articles prepared under support of the LIT team and its infrastructure. It would also like to see more visible evidence of support for JINR laboratories and JINR Member States by LIT.

поддержки других лабораторий Института и стран-участниц ОИЯИ со стороны ЛИТ.

ПКК поддержал предлагаемые основные направления проекта Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. в области ядерной физики и рекомендовал дирекции ОИЯИ представить этот проект для окончательного рассмотрения Ученым советом на следующей сессии в сентябре 2016 г.

ПКК был проинформирован о поступивших предложениях по методам оценки тем и проектов программно-консультативными комитетами и о подготовке обновленного Положения о ПКК ОИЯИ. ПКК заслушал научные доклады А. Ю. Музычки «Источник УХН на выведенном пучке тепловых нейтронов» и В. В. Саргсяна «Заселение вращательных состояний тяжелых ядер, образующихся в реакциях полного слияния».

ПКК ознакомился с презентациями новых научных результатов и проектов, представленных молодыми учеными, и выделил три лучших постера: «Антропогенное влияние на прибрежный фитопланктон, исследуемое с помощью нейтронного активационного анализа» (П. С. Нехорошков), «О возможности определения влажности кокса с помощью сцинтилляционного детектора ВГО и нейтронного источника  $^{239}\text{Pu}-\text{Be}$ » (Д. Н. Грозданов) и «Экспериментальная установка “Колхида”» (Д. В. Бериков). Доклад П. С. Нехорошкова был рекомендован для представления на сессии Ученого совета в сентябре 2016 г.

Члены ПКК поблагодарили дирекцию ЛНФ за организацию посещения этой лаборатории и за информацию об основных базовых установках и проводимых экспериментах.

**44-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред состоялась 30 июня – 1 июля под председательством профессора В. Канцера.**

Председатель ПКК сделал обзор доклада, представленного на сессии Ученого совета ОИЯИ в феврале 2016 г., о выполнении рекомендаций предыдущей сессии ПКК. Вице-директор ОИЯИ М. Г. Иткис проинформировал ПКК о резолюции 119-й сессии Ученого совета Института и решениях Комитета полномочных представителей ОИЯИ. ПКК принял к сведению отчет о завершающейся теме «Развитие исследовательской ядерной установки ИБР-2 с комплексом криогенных замедлителей нейтронов» и проекте «Создание комплекса криогенных замедлителей ИЯУ ИБР-2» и рекомендовал продлить тему и проект до конца 2019 г. ПКК подчеркнул, что создание комплекса криогенных замедлителей повысит поток медленных нейтронов до 20 раз на 8 из 14 спектрометров ЛНФ, позволяя выполнять программы актуальных исследований на уровне действующих ныне лидирующих нейтронных источников (ISIS, SNS, JSNS).

The PAC supported the proposed directions of the Seven-Year Plan for the Development of JINR in the field of nuclear physics and recommended that the JINR Directorate present this Plan for final consideration by the Scientific Council at its next session in September 2016.

The PAC was informed about the proposals on methods for the evaluation of JINR projects and themes by the Programme Advisory Committees and about the current preparation of an update of the Regulation for the JINR PACs.

The PAC heard the scientific reports “UCN source at external beam of thermal neutrons” by A. Muzychka and “Population of ground-state rotational bands of heavy nuclei produced in complete fusion reactions” by V. Sargsyan.

The PAC was pleased with the presentations of new results and proposals by young scientists and selected three best posters: “Anthropogenic effects on the coastal phytoplankton studied by neutron activation analysis” (by P. Nekhoroshkov), “On the possibility of determining the moisture content in coke (fuel) with a BGO scintillation gamma detector and a  $^{239}\text{Pu}-\text{Be}$  neutron source” (by D. Grozdanov), and “The experimental set-up Kolkhida” (by D. Berikov). The PAC recommended that the report by P. Nekhoroshkov be presented at the session of the Scientific Council in September 2016.

The members of the PAC thanked the Directorate of FLNP for the organization of the visit to this Laboratory and for the explanations about its main basic facilities and experiments.

**The 44th meeting of the Programme Advisory Committee for Condensed Matter Physics was held on 30 June – 1 July. It was chaired by Professor V. Kantser.**

The Chairperson of the PAC presented an overview of his report delivered at the session of the JINR Scientific Council in February 2016 concerning the implementation of the recommendations of the previous PAC meeting. JINR Vice-Director M. Itkis informed the PAC about the Resolution of the 119th session of the JINR Scientific Council and the decisions of the JINR Committee of Plenipotentiaries.

The PAC took note of the report on the concluding theme “Development of the IBR-2 Facility with a Complex of Cryogenic Neutron Moderators” and project “Construction of a complex of cryogenic moderators at the IBR-2 facility” and recommended their extension until the end of 2019. It was emphasized that construction of the cryogenic moderator complex would increase the flux of slow neutrons up to 20 times for 8 out of 14 FLNP spectrometers enabling the implementation of an advanced physics research pro-

ПКК отметил, что к середине 2016 г. существующий подвижный отражатель ИЯУ ИБР-2 выработал 40% установленного ресурса, и для обеспечения гарантированной непрерывной работы реактора до завершения срока его эксплуатации рекомендовал до 2019 г. изготовить резервный подвижный отражатель той же конструкции.

ПКК поддержал работы по обеспечению безопасной эксплуатации реактора, мониторингу, диагностике и прогнозированию его состояния; высоко оценил намерение ЛНФ подготовить концепцию использования ИЯУ ИБР-2 после 2032 г., одоблив возможность разработки в течение следующих трех лет соответствующей исследовательской программы, предполагающей использование существующей установки или создание в ОИЯИ нового источника нейтронов. Кроме того, ПКК предложил проанализировать аналогичные установки, уже имеющиеся или планируемые к созданию на территории России, а также в мире в целом.

Заслушав доклад о состоянии установок для неупругого рассеяния нейтронов на ИБР-2, ПКК с удовлетворением отметил постоянный интерес к использованию спектрометра НЕРА, получение и публикацию значимых научных результатов. Комитет поддержал развитие спектрометра и рекомендовал подготовить план дальнейшей модернизации в рамках нового проекта. В отношении спектрометра ДИН-2ПИ ПКК рекомендовал

приложить более существенные усилия для привлечения пользователей на эту установку.

Рассмотрев отчет по завершающейся теме и проекту «Исследование космического вещества на Земле и в ближайшем космосе; исследование биологических и геохимических особенностей ранней Земли» и предложение об их продлении, ПКК признал научную значимость проекта, сконцентрированного на проблемах астробиологии. Для определения элементного состава и структуры образцов космического вещества авторы предлагают использовать ряд аналитических методов, активно применяемых в ЛНФ на высоком научном и техническом уровне. Отмечая, что проект представляет собой широкую междисциплинарную коллаборацию ОИЯИ (ЛНФ и ЛРБ), РАН и ряда институтов, комитет рекомендовал продлить тему и проект до конца 2019 г.

ПКК заслушал доклад по завершающейся теме «Проведение медико-биологических исследований на адронных пучках ОИЯИ» и предложение об открытии двух новых проектов: «Совершенствование методов, технологий, режимов планирования и проведения лучевой терапии» и «Проект "Радиоген": экспериментальное обоснование оценки генетического риска ионизирующей радиации по частоте наследуемых изменений ДНК структурных генов животных и человека». ПКК подчеркнул важность результатов, достигнутых в ходе клинических исследований по применению протонной терапии и в области радиобиологии. Медико-технический

programme at the level of the leading neutron sources (ISIS, SNS, JSNS).

The PAC noted that by mid-2016 the available movable reflector of the IBR-2 facility had used 40% of its design service life. To ensure a guaranteed operation of the reactor until the end of its service life, the PAC recommended manufacturing a reserve movable reflector of the same design until 2019.

The PAC supported the activity towards ensuring the safe operation of the reactor as well as monitoring, diagnostics, and prognosis of its state. The PAC appreciated FLNP's intent to prepare the grounds for using the IBR-2 facility beyond the year 2032, endorsing the possibility, within the next three years, to develop a concept of the corresponding research programme implying the use of the existing facility or the design of a new neutron source at JINR. The PAC also suggested performing an analysis of similar set-ups available or planned to be developed in Russia and in the world.

The PAC heard a report on the current state of the inelastic neutron scattering facilities operating at IBR-2 and acknowledged the steady interest in the use of the NERA spectrometer that provides significant results and publications. It supported further development of the spectrometer and recommended preparing an upgrade plan within the

framework of a new project. With regard to the DIN-2PI spectrometer, the PAC recommended that greater efforts be made to attract users to this facility.

The PAC considered a report on the concluding theme and project "Research on Cosmic Matter on the Earth and in Nearby Space; Research on the Biological and Geochemical Specifics of the Early Earth" and a proposal for their extension. It recognized the scientific merit of the project which is focused on astrobiology, addressing its fundamental and applied topics by a multidisciplinary approach. To determine the elemental and structural composition of cosmic matter samples, the authors suggested using a number of analytical methods actively applied at FLNP at a high scientific and technical level. Noting that this project is a large and multidisciplinary collaboration of JINR (FLNP and LRB), the Russian Academy of Sciences and various institutions, the PAC recommended extension of the theme and project until the end of 2019.

The PAC heard a report on the concluding theme "Medical and Biological Research with JINR Hadron Beams" and a proposal for opening two new projects "Further development of methods, technologies, schedule modes and delivery of radiotherapy" and "Project RADIOGENE: Experimental justification of radiation genetic risk estimation according to the frequency of heritable



комплекс ОИЯИ является единственным действующим центром протонной терапии в России, где накоплен необходимый опыт в этой области. ПКК рекомендовал открыть предложенные проекты в рамках новой темы «Проведение медико-биологических и радиационно-генетических исследований с использованием различных типов ионизирующих излучений» до конца 2019 г.

ПКК высоко оценил широкий спектр исследований и разработок, выполненных в рамках завершающейся темы «Радиационные эффекты и физические основы нанотехнологий, радиоаналитические и радиоизотопные исследования на ускорителях ЛЯР», и заслушал предложение об открытии новой темы «Радиационно-физические, радиохимические и нанотехнологические исследования на пучках тяжелых ионов» до конца

2021 г. Ожидается, что деятельность в рамках темы будет объединена с научной программой нанотехнологического центра ЛЯР, представляющего большой интерес для других лабораторий ОИЯИ и исследователей из сотрудничающих центров. ПКК рекомендовал закрыть завершающуюся тему с учетом ее успешного выполнения и открыть новую на предлагаемый период.

ПКК одобрил последние дополнения, внесенные в проект Семилетнего плана развития ОИЯИ после сентября 2015 г. В главе «Физика конденсированных сред» комитет рекомендовал принять предложенные поправки по разделам, относящимся к радиобиологическим и астробиологическим исследованиям, изучению наносистем методом позитронной аннигиляционной спектроскопии, отметив также наличие дисбаланса между



Дубна, 30 июня – 1 июля.

Сессия ПКК по физике конденсированных сред.

На фото: председатель ПКК В. Канцер знакомится со стендовыми работами молодых ученых

Dubna, 30 June – 1 July.

The meeting of the PAC for Condensed Matter Physics. The PAC Chairman V. Kantser acquaints himself with poster reports by young scientists

DNA changes in human and animal structural genes”. The PAC emphasized the importance of the results achieved both in the field of clinical research on proton radiotherapy and in radiobiology. The JINR Medical and Technical Complex is currently the only centre for proton therapy in Russia, which is in operation and at the same time has acquired considerable expertise in this field. Noting the significance of the proposed scientific programme, the PAC recommended opening the proposed projects within a new theme “Biomedical and Radiation-Genetic Studies Using Different Types of Ionizing Radiation” until the end of 2019.

The PAC appreciated the broad spectrum of R&D studies accomplished within the concluding theme “Radiation Effects and Physical Basis of Nanotechnology, Radioanalytical and Radioisotope Investigations at the

FLNR Accelerators” and heard a proposal for opening a new theme “Radiation Physics, Radiochemistry, and Nanotechnology Investigations Using Beams of Accelerated Heavy Ions” until the end of 2021. The activities under the proposed theme are expected to be integrated with the scientific programme of the FLNR Nanotechnology Centre, which will be of great interest for other JINR laboratories and researchers from cooperating centres. Given the successful completion of the concluding theme, the PAC recommended its closure and opening the newly proposed theme for the requested period.

The PAC adopted the recent add-ons to the Draft Seven-Year Plan for the Development of JINR with respect to the version of September 2015. It recommended acceptance of the proposed revisions to the chapter “Condensed



исследованиями с использованием нейтронного рассеяния и оптических методов. ПКК выразил мнение, что план должен обладать некоторой гибкостью, позволяющей включать в него новые проекты.

ПКК заслушал научные доклады: «Нейтронные текстурные исследования металлических и биологических материалов» (Д. И. Николаев), «Энергодисперсионный EXAFS-спектрометр в РНЦ "Курчатовский институт": состояние дел, экспериментальные результаты исследований» (С. И. Тютюнников), «Новые свойства джозефсоновских наноструктур во внешнем электромагнитном поле. Результаты сотрудничества с Германией, Словакией, Южной Африкой, Египтом, Японией, Индией и Таджикистаном» (Ю. М. Шукринов).

Лучшим стендовым сообщением на данной сессии ПКК избрал работу «Анализ данных малоуглового синхротронного рентгеновского рассеяния на везикулярных системах с использованием метода асинхронной дифференциальной эволюции» Е. И. Жабицкой, а также отметил высокий уровень двух других работ: «Параллельные реализации алгоритмов реконструкции изображений для рентгеновской микротомографии» М. И. Зуева и «Применение облачных технологий в ОИЯИ» Н. А. Кутовского.

Заслушав рекомендации о методах оценки проектов и тем программно-консультативными комитетами, ПКК отметил прогресс в развитии методологии, представленной ранее ПКК по физике конденсированных

сред дирекции ОИЯИ. Комитет назвал заключение в виде письменных рецензий членов ПКК, основанных на предлагаемых критериях, перспективным методом оценки качества проекта. Для повышения эффективности оценки ПКК рекомендовал назначать одного-двух членов комитета для отслеживания прогресса по каждому проекту и теме, а также осуществлять контроль над персоналом, включенным одновременно в несколько проектов. ПКК представил ряд рекомендаций по дополнительным разделам формы подготовки предложений, которые будут учтены в следующей версии методологии. ПКК посчитал разработку новых методов оценки полезной ввиду подготовки обновленного Положения о программно-консультативных комитетах ОИЯИ для его последующего принятия Ученым советом.

Matter Physics" concerning sections addressing radiobiological and astrophysical research as well as study of nanosystems by the positron annihilation spectroscopy method. At the same time, the PAC found this chapter to be slightly imbalanced between neutron scattering research and optical methods. The PAC expressed an opinion that the Plan should pose signs of flexibility to have a possibility to include new projects.

The PAC heard the following scientific reports: "Neutron texture investigations of metallic and biological materials" by D. Nikolaev, "Energy dispersive EXAFS spectrometer in the RRC "Kurchatov Institute": Status and experimental results" by S. Tyutyunnikov, and "Novel features of Josephson nanostructures under external electromagnetic radiation. Results of collaboration with Germany, Slovakia, South Africa, Egypt, Japan, India, and Tajikistan" by Yu. Shukrinov.

The PAC selected the poster "Analysis of small-angle synchrotron X-ray scattering experimental data from vesicular systems by means of the parallel asynchronous differential evolution method" by E. Zhabitskaya as the best poster at the session. It also noted two other high-quality posters: "Parallel implementations of image reconstruction algorithms for X-ray microtomography" by M. Zuev and "Application of cloud technologies at JINR" by N. Kutovsky.

The PAC delivered a number of recommendations on methods for the evaluation of projects and themes by the PACs and appreciated the progress in developments of the methodology previously submitted by PAC for Condensed Matter Physics to the JINR Directorate. Regarding the principle of the proposal expertise, the Committee noted that evaluation in the form of written reports delivered by PAC members and based on the suggested criteria is a promising method to provide estimation of the project's quality. In order to raise the effectiveness of evaluation, the PAC recommended appointing one or two of its members to provide monitoring of the progress within each project and theme and suggested providing a crosscheck for personnel included in several different projects. The PAC made a number of recommendations concerning the additional sections to the proposal form to be considered for the next draft of the proposals on evaluation methods. It found the elaboration of new evaluation methods to be useful in view of the current preparation of an update of the Regulation for the JINR PACs to be approved by the Scientific Council.

### Коллайдер в Дубне способен выдать результат, достойный Нобелевской премии

«Строящийся в Дубне коллайдер может дать результаты уровня Нобелевской премии», — цитирует ТАСС слова главы Минобрнауки Д. В. Ливанова на совещании Президента РФ В. В. Путина с членами правительства, состоявшемся 18 июля.

Президент поинтересовался ходом работ по запущенному в июне текущего года проекту по введению коллайдера.

«В 2020 г. он вроде бы должен быть запущен? И 26 стран, по-моему, принимают участие в этой работе?» — осведомился глава государства.

В ответ Д. В. Ливанов уточнил, что речь идет о коллайдере для столкновения тяжелых ионов, который позволит изучать вещество с очень высокой плотностью — подобной той, что была после Большого взрыва. Набор параметров установки не имеет аналогов, на этой площадке будут работать ученые со всего мира. Уже сейчас в проекте принимают участие более 1 тысячи ученых из 36 стран.

По словам Д. В. Ливанова, к 2018 г. завершится первый этап строительства. Общий объем финансирования проекта — 18 миллиардов рублей, примерно половина покрывается за счет взносов стран-участниц проекта. Вторая половина поступит из фе-

дерального бюджета. Глава Минобрнауки отметил, что строительные работы до 2018 г. уже полностью обеспечены финансовыми ресурсами.

Выслушав доклад, В. В. Путин пожелал успехов участникам проекта и попросил Д. В. Ливанова административно сопровождать эту работу.

STRF.ru

**13 апреля** в Москве было подписано Соглашение о сотрудничестве между ОИЯИ и МАГАТЭ в рамках международного форума «Интегрированные решения в области управления знаниями для сообществ ученых, инженеров, операторов», организованного Росатомом. Подписи под документом поставили директор ОИЯИ академик В. А. Матвеев и заместитель генерального директора МАГАТЭ М. В. Чудаков. Как отметил В. А. Матвеев, подписание соглашения можно рассматривать как новый этап развития отношений ОИЯИ с Росатомом и МАГАТЭ.

Данное рамочное соглашение создает основу для организации взаимовыгодного и систематического обмена информацией о научно-исследовательских возможностях ОИЯИ и партнерских научных организаций МАГАТЭ. Один из существенных элементов этого соглашения — назначение координаторов, которыми стали директор отдела физико-химических наук МАГАТЭ М. Венкатеш (Индия)

### The collider in Dubna can bring results that deserve the Nobel Prize

The collider which is under construction in Dubna can bring about results that deserve the Nobel Prize, as the Russian News Agency TASS is citing the words of the Minister of Education and Science of RF D. Livanov at the meeting of the RF President V. Putin with members of the government, held on 18 June.

The President inquired the Minister about the status of the project to develop the collider that started in June this year.

“By 2020 it should be launched, shouldn't it? And, as far as I know, 26 states are taking part in this work?” — asked the President.

In his answer, D. Livanov pointed out that it would be a collider for heavy ions. It will allow studies of matter with very high density, similar to that which occurred after the Big Bang. The set of parameters of the facility does not have analogues; scientists from all over the world will work at it. Even today over 1000 scientists from 36 countries are taking part in the project.

According to D. Livanov, the first part of the facility construction will finish by 2018. The total amount

of the financing of the project is 18 bln roubles; about a half of it is paid at the expense of the contributions by member states of the project. The other half will be supplied from the federal budget. The Minister stressed that the construction activities up to 2018 are fully provided with financial resources.

Having heard the report, V. Putin wished every success to the participants of the project and asked D. Livanov to attend administratively to these activities.

STRF.ru

**On 13 April** an Agreement was signed in Moscow on cooperation between JINR and IAEA in the framework of the international forum “Integrated Solutions in Knowledge Management for Communities of Scientists, Engineers, Operators” organized by the State Nuclear Energy Corporation ROSATOM. The document was signed from the JINR side by JINR Director Academician V. Matveev and from the IAEA side by IAEA Deputy Director General M. Chudakov. As V. Matveev stressed, the signing of this Agreement can be regarded as a new stage of development of JINR relations with ROSATOM and IAEA.



Москва, 13 апреля. Подписание  
Соглашения о сотрудничестве  
между ОИЯИ и МАГАТЭ

Moscow, 13 April.  
Signing of the agreement on  
JINR–IAEA cooperation

This framework agreement provides the basis for organization of mutually beneficial and systematic exchange of information about scientific research opportunities at JINR and partner scientific organizations of IAEA. One of the important elements of this agreement is the appointment of coordinators — Director of IAEA Department of Physics and Chemistry Sciences M. Venkatesh (India) and Deputy Director of the JINR Laboratory of Neutron Physics O. Culicov.

The Agreement envisages training of staff and development of the infrastructure in the field of safe operation and disposal of nuclear research reactors, accelerators and in applied spheres, i.e., application of radiation and isotopes in medicine, neutron activation analysis, neutron spectroscopy, studies in materials science. The cooperation will be continued in the international system of nuclear information INIS Collection that includes now over 3.4 million documents in 63 languages.

A regular meeting of the JINR STC was held on **22 April** at the International Conference Hall. It was presided over by R. Jolos. The participants of the meeting were informed about the current activities of the JINR Directorate. They also discussed elaboration issues of the Regulations on work payment for JINR scientists and the resolution of the previous meeting on the work of JINR PACs.

Chairman of the Belarussian physics society Yu. Kurochkin took part in the meeting and presented a congratulatory address to JINR Director V. Matveev on the occasion of the 60th anniversary of JINR, marking the contribution of JINR to the development of physics science in Belarus. He also presented honorary certificates of the State Committee on Science

and Technology of Belarus to JINR Vice-Director R. Lednický, JINR Chief Engineer G. Shirkov, DLNP Director V. Bednyakov, and Head of DLNP sector Yu. Kulchitsky.

JINR Chief Scientific Secretary N. Russakovich informed the participants of the meetings about the results of the meetings of the Scientific Council, the Finance Committee and the CP session.

JINR Vice-Director G. Trubnikov spoke about the status of implementation of the Agreement, signed on 25 March, on cooperation between the Government of the Moscow region and JINR, which provides, in particular, participation of a federation subject in solution of JINR operation issues in the territory of the Moscow region, including those connected with allocation of ground areas and energy supplies for JINR, development of the JINR social infrastructure, etc. The speaker suggested that a list of questions be compiled addressing the working coordinating group for consultations with the Government of the Moscow region. V. Matveev, I. Savin, S. Kulikov, N. Ivanov, I. Meshkov, Yu. Oganessian, and O. Koval took part in the discussion.

Talking about the organization of a working group to work out the strategy for JINR development up to 2030, V. Matveev noted that participants of the 119th session of the Scientific Council expressed their suggestions to work out a long-term strategy for JINR development. Following the resolution of the Scientific Council, a corresponding order was prepared and signed. V. Matveev was appointed Chairman of the working group; B. Sharkov and N. Russakovich were appointed Deputy Chairmen.



и заместитель директора Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ О. Куликов.

Соглашение предусматривает подготовку кадров и развитие инфраструктуры в области безопасной эксплуатации и утилизации ядерных исследовательских реакторов, ускорителей, а также в таких прикладных направлениях, как применение радиации и изотопов в медицине, нейтронно-активационный анализ, нейтронная спектроскопия, исследования по материаловедению. Будет продолжено сотрудничество по международной системе ядерных знаний INIS Collection, в которой сейчас содержится более 3,4 млн документов, опубликованных на 63 языках.

**22 апреля** в Доме международных совещаний проходило заседание НТС ОИЯИ под председательством Р. В. Джолоса. Участники заседания были проинформированы о текущей деятельности дирекции Института, обсудили проблемы разработки Положения об оплате труда научных сотрудников ОИЯИ, рассмотрели решение предыдущего заседания о работе программно-консультативных комитетов ОИЯИ. В заседании участвовал председатель Белорусского физического общества профессор Ю. А. Курочкин, который вручил директору Института В. А. Матвееву поздравительный адрес в связи с 60-летием Института, отметив вклад ОИЯИ в развитие физических наук в Белоруссии. Он также вручил почетные грамоты Государственного комитета по науке и технологиям РБ вице-директору ОИЯИ Р. Ледницкому, главному инженеру Г. Д. Ширкову,

директору ЛЯП В. А. Беднякову, начальнику сектора ЛЯП Ю. А. Кульчицкому.

Об итогах заседаний Ученого совета, Финансового комитета и сессии Комитета полномочных представителей ОИЯИ доложил главный ученый секретарь Института Н. А. Русакович.

Вице-директор ОИЯИ Г. В. Трубников осветил ход выполнения подписанного 25 марта Соглашения о сотрудничестве между правительством Московской области и ОИЯИ, которым, в частности, предусмотрено участие субъекта федерации в решении ряда проблем функционирования ОИЯИ на территории Московской области, в том числе связанных с отведением земельных участков и энергообеспечением Института, развитием социальной инфраструктуры ОИЯИ и др. Докладчик предложил сформулировать список вопросов в адрес рабочей координационной группы для обсуждения с правительством Московской области. В дискуссии участвовали В. А. Матвеев, И. А. Савин, С. А. Куликов, Н. А. Иванов, И. Н. Мешков, Ю. Ц. Оганесян, О. А. Коваль.

По вопросу о создании рабочей группы по разработке стратегии развития ОИЯИ до 2030 г. В. А. Матвеев отметил, что в выступлениях участников 119-й сессии Ученого совета высказывалась необходимость разработки долгосрочной стратегии развития ОИЯИ. Исходя из решения Ученого совета, подготовлен и подписан соответствующий приказ. Председателем рабочей группы назначен В. А. Матвеев, заместителями председателя — Б. Ю. Шарков, Н. А. Русакович.



Дубна, 22 апреля. Дружеский визит делегации города-побратима Курчатова (Казахстан) в ОИЯИ

Dubna, 22 April. A visit of friendship to JINR of the delegation from the twin-city Kurchatov (Kazakhstan)



О ходе разработки нового положения об оплате труда научных сотрудников ОИЯИ доложили вице-директор М.Г.Иткис, руководитель Управления персоналом и инновационного развития ОИЯИ А.В.Рузаев и заместитель директора ЛФВЭ Ю.К.Потребеников. Отмечалась большая работа, проделанная в этом году дирекциями лабораторий по корректировке зарплаты сотрудникам. С учетом различных замечаний и предложений, в том числе внесенных инициативной рабочей группой, куда вошли представители дирекции Института и всех лабораторий, работа по совершенствованию системы оплаты труда должна быть завершена к концу 2016 г. Результаты, опубликованные инициативной рабочей группой, размещены на сайте ОИЯИ (3-е заседание НТС, 2016). В обсуждении приняли участие А.В.Тамонов, А.И.Франк, Т.А.Стриж, О.А.Коваль, В.И.Фурман, В.Д.Кекелидзе, С.Н.Неделько, Г.В.Трубников, Ю.Э.Пенионжкевич, М.Г.Иткис, И.Н.Мешков, Д.В.Пешехонов, А.Д.Коваленко, И.А.Савин, Р.Ценов.

**12 мая** состоялось очередное совещание дирекции ОИЯИ, на котором был рассмотрен ряд важных вопросов: распоряжение Правительства РФ о подписании соглашения о создании и эксплуатации комплекса NICA; главные итоги и план реализации рекомендаций и решений Финансового комитета и

КПП; о рабочей группе по разработке долгосрочной стратегии развития ОИЯИ до 2030 г.; о формировании кадрового резерва в подразделениях ОИЯИ и готовности к июньским заседаниям ПМК.

По первому в повестке дня вопросу выступил директор ОИЯИ академик В.А.Матвеев. Он проинформировал участников совещания о том, что согласно распоряжению Совета министров РФ от 27 апреля был одобрен проект Соглашения между Правительством Российской Федерации и ОИЯИ о создании и эксплуатации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA. Минобрнауки России поручено провести переговоры с руководством ОИЯИ и подписать соглашение от имени Правительства РФ. В распоряжении также указано, что вклад Российской Федерации в создание комплекса NICA будет произведен за счет средств федерального бюджета. Директор ЛФВЭ В.Д.Кекелидзе в дополнение к сказанному отметил, в частности, что подписание соглашения между ОИЯИ и Минобрнауки будет служить отправной точкой для начала планового создания коллайдера.

О важнейших итогах Финансового комитета и КПП (апрель 2016 г.) и плане реализации принятых рекомендаций и решений доложили главный ученый секретарь Института Н.А.Русакович и вице-дирек-

JINR Vice-Director M.Itkis, Head of the Department of Personnel Management and JINR Innovation Development A.Ruzaev, and VBLHEP Deputy Director Yu.Potrebienikov discussed the process of preparation of the Regulations on work payment for JINR scientists. They noted much work that had been done this year in the directorates of laboratories to upgrade the salaries of staff. Taking into account various remarks and proposals, including those introduced by the initiative working group that included representatives of the JINR and all laboratories' directorates, the work should be completed by the end of 2016. The results of the activities of the initiative working group are shown on the JINR internet site (3rd STC meeting, 2016). The following persons took part in the discussion: A.Tamonov, A.Frank, T.Strizh, O.Koval, V.Furman, V.Kekelidze, S.Nedelko, G.Trubnikov, Yu.Penionzhkevich, M.Itkis, I.Meshkov, D.Peshekhonorov, A.Kovalenko, I.Savin, and R.Tsenov.

**On 12 May**, a regular meeting of the JINR Directorate was held. It considered the following issues: the RF Government Executive Order on signing the Agreement to develop and operate the com-

plex NICA; main results and an implementation plan to accomplish recommendations and decisions of the JINR Finance Committee and the Committee of Plenipotentiaries; on the working group to work out a long-standing strategy for JINR development up to 2030; on enrolling a personnel reserve in JINR departments, and readiness for June PACs meetings.

JINR Director Academician V.Matveev took the floor on the first point in the agenda. He informed the participants that, according to the Executive Order of the RF Council of Ministers of 27 April, the draft of the Agreement on the development and operation of the complex of superconducting rings at heavy-ion colliding beams NICA between the RF Government and JINR was approved. The RF Ministry of Education and Science is assigned to hold negotiations with the leaders of JINR and sign the Agreement on behalf of the RF Government. It is mentioned in the Executive Order that the contribution of the Russian Federation to the development of the NICA complex will be executed at the expenses of the federal budget means. VBLHEP Director V.Kekelidze added to the above-said that signing of the Agreement between JINR and RF Ministry of Education and Science would serve the

тора М.Г.Иткис и Р.Ледницки. В числе основных мероприятий данного плана — подготовка итогового отчета о выполнении Семилетней программы развития ОИЯИ на 2010–2016 гг., разработка окончательной редакции новой семилетки, программы совершенствования системы оплаты труда персонала и концепции развития социальной инфраструктуры, а также выработка предложений по внедрению в ОИЯИ международных стандартов финансовой отчетности. В ходе обсуждения были освещены наиболее острые социальные, кадровые вопросы и т.д.

Говоря о разработке долгосрочной стратегии развития ОИЯИ, В.А.Матвеев подчеркнул, что такая работа ведется во всех крупных научных центрах мира. Директор отметил, что самостоятельную ценность имеет стратегия развития реализуемых в ОИЯИ первоприоритетных проектов, призванных сохранить заинтересованность стран-участниц, привлечь молодежь, что является залогом будущего Института. В обсуждении по данному вопросу участвовали Р.Ледницки, Р.В.Джолос, Н.А.Русакovich.

А.В.Рузаев сообщил о процессе формирования кадрового резерва в подразделениях ОИЯИ. Он напомнил, что соответствующие списки должны быть составлены до 1 июня. По мнению докладчика, необходимо обратить внимание руководителей на перечень исполнителей и до 15 июня утвердить по-

ложение о кадровом резерве. Важное дополнение сделали В.А.Матвеев, М.Г.Иткис и С.Н.Дмитриев, подчеркнув необходимость внесения в данные списки специалистов из стран-участниц Института.

Участники совещания были проинформированы о том, что программы предстоящих сессий программно-консультативных комитетов подготовлены. Докладчики отметили, что со стороны членов ПКК было высказано предложение сделать обсуждение предлагаемых проектов более расширенным, а также обновить положение о ПКК. В прениях по данному вопросу участвовали ученые секретари ПКК, а также И.Н.Мешков, Н.А.Русакovich, Д.В.Наумов, Р.Ледницки.

Завершая совещание, В.А.Матвеев сообщил о предстоящих в июне выборах в члены РАН и призвал к выдвижению претендентов от ОИЯИ на вакантные академические места.

**24 мая** в ОИЯИ с ознакомительным визитом побывали члены программного и организационного комитетов 26-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо-2016) — ученые и специалисты в области СВЧ-технологий из промышленных и академических организаций Москвы, Фрязино, Севастополя, Екатеринбурга, Харькова, Киева,

starting point for the scheduled construction of the collider.

JINR Chief Scientific Secretary N.Russakovich and Vice-Directors M.Itkis and R.Lednický made reports about most important results of the Finance Committee and CP meetings (April 2016) and plans to implement the adopted resolutions and decisions. The main measures of this plan are: preparation of the final report on implementation of the seven-year programme of JINR development for 2010–2016, elaboration of the final version of the new seven-year plan, the programme of upgrade of the work payment of personnel and the concept of development of the social infrastructure, the work-out of proposals to introduce international standards of financial accounts in JINR. During the debates, most vital social and personnel issues were discussed.

Talking about the work-out of a long-term strategy of JINR development, V.Matveev noted that this work is conducted in all large scientific centres of the world. He stressed the separate value of the strategy of development of the first-priority projects implemented at JINR that should keep the appeal to Member States, attract young scientists and be the

guarantee of the future of the Institute. R.Lednický, R.Jolos, and N.Russakovich took part in the debates.

A.Ruzaev spoke about the process of compiling the personnel reserve in JINR departments. He reminded the participants that the corresponding lists should be made by 1 June. He expressed his view that heads of departments should pay attention to the group of executives and adopt the regulation on personnel reserve by 15 June. V.Matveev, M.Itkis, and S.Dmitriev spoke about the urgency to include specialists from JINR Member States in these lists.

It was announced that the projects of the coming PACs meetings were ready. The speakers noted that PACs members suggested that the discussion of the proposed projects should be wider and the regulations on PAC should be renovated. In debates, the following persons took part: PACs scientific secretaries, I.Meshkov, N.Russakovich, D.Naumov, and R.Lednický.

V.Matveev concluded the meeting with information on coming elections to RAS Membership in June and addressed the participants with an appeal to nominate candidates from JINR for vacant academic positions.

Саратова, Санкт-Петербурга. Гости посетили ЛФВЭ и ЛЯР.

**25 мая** в Дубне состоялось заседание Инвестиционного совета при главе города, основной темой повестки дня которого стал ключевой проект для развития наукограда — мегасайенс-проект NICA. Проект представил директор ОИЯИ академик РАН В.А.Матвеев, который отметил, в частности, что строительство этого комплекса будет способствовать повышению привлекательности инвестиционного климата города.

Дубна, 15–16 июня. Визит в ОИЯИ делегации Республики Ботсвана. Посещение нового лабораторного корпуса ЛЯР, где расположен нанотехнологический центр, оснащенный уникальным оборудованием



Dubna, 15–16 June. A delegation from Botswana on a visit to JINR. At the new laboratory building of FLNR where the Nanotechnology Centre equipped with unique instruments is situated

**On 24 May**, members of the Programme and Organizing Committees of the 26th international Crimea conference “Microwave Technology and Telecommunication Techniques” (KryMiKo-2016) visited JINR. These are scientists and specialists in microwave technology from industrial and academic organizations of Moscow, Fryazino, Sevastopol, Yekaterinburg, Kharkov, Kiev, Saratov, and St.Petersburg. The guests visited VBLHEP and FLNR.

A meeting of the Investment Committee under the city Head was held on 25 May in Dubna. The main topic of the agenda was the megascience project NICA, the key project for the development of the science city. JINR Director RAS Academician V.Matveev made a presentation on the project and said in particular

Вице-директор ОИЯИ Г.В.Трубников озвучил планы по созданию социальной инфраструктуры вокруг проекта NICA для сотрудников ОИЯИ: строительство жилья, создание новых объектов образования, внедрение ряда образовательных программ в школы города и др.

Глава города В.Б.Мухин отметил, что администрация поддерживает все начинания ОИЯИ по созданию современной социальной инфраструктуры в городе и намерена тесно работать с руководством Института: подбирать земельные участки под ре-

that the construction of this complex would promote the growing attraction of investments in the city.

JINR Vice-Director G.Trubnikov spoke about the plans to establish social infrastructure around the NICA project for JINR staff members: construction of residential area, new educational units, introduction of educational programmes into the city school curriculum, etc.

The Dubna Head V.Mukhin noted that the administration supports the activities of JINR in the establishment of modern social infrastructure in the city and intends to work closely with the administration of the Institute: to select territories for housing, educational units, to work with documents, etc.

лизацию жилищных, образовательных объектов, работать над разрешительной документацией и т. д.

**27 мая** на 7-м заседании Общественного совета ОИЯИ были рассмотрены два основных вопроса: соглашение о сотрудничестве между правительством Московской области и ОИЯИ (формирование вопросов для рабочих групп); проект благоустройства набережной Волги и парка в районе Институтской части города.

По первому вопросу выступил директор ОИЯИ В. А. Матвеев. Ранее данный вопрос был рассмотрен на заседании НТС ОИЯИ. Для подготовки вопросов, которые необходимо обсудить с правительством Московской области в рамках подписанного соглашения, Общественный совет предложил дирекции Института сформировать рабочую группу, в которую войдут представители дирекции ОИЯИ, администрации города (по согласованию), НТС ОИЯИ и Общественного совета при дирекции ОИЯИ. В обсуждении этого вопроса приняли участие С. А. Куликов, Р. В. Джолос, О. А. Коваль, А. А. Усов.

Информацию по второму вопросу представил заместитель руководителя администрации города Н. Ю. Мадфес. Речь шла о региональной программе «Парки Подмосковья», в которой Дубна участвует с

2015 г. В частности, докладчик озвучил планы по благоустройству городской набережной, подчеркнув, что перемены в ходе модернизации и реконструкции набережной будут обязательно обсуждаться с общественностью города. В дискуссии участвовали А. А. Усов, А. В. Тамонов, М. В. Ширченко, Э. А. Тагиров, В. Худоба, Б. М. Старченко, С. А. Куликов.

С предложением о создании символической таблицы Менделеева на волжской набережной выступил М. В. Ширченко.

**15–16 июня** ОИЯИ посетила делегация из Республики Ботсвана во главе с министром образования и профессионального развития Ю. Доу и чрезвычайным и полномочным послом Республики Ботсвана в России Л. Нтекела.

На встрече с участием вице-директора ОИЯИ Г. В. Трубникова, директора УНЦ С. З. Пакуляка, заместителя директора ЛЯР А. Г. Попеко и заместителя начальника центра прикладной физики по научной работе П. Ю. Апеля обсуждались практические шаги по развитию научного и образовательного сотрудничества, прежде всего для молодых ученых, а также были затронуты вопросы сотрудничества по нанотехнологическим приложениям, разрабатываемым в ЛЯР, в частности по трековым мембранам. Делегация посетила ЛФВЭ и ЛЯР.

**On 27 May**, the 7th meeting of the JINR Public Council discussed two main questions: an agreement on cooperation between the Government of the Moscow region and JINR (issues for work groups); a project to upgrade public amenities on the Volga embankment and the park in the Institute part of the city.

JINR Director V. Matveev spoke on the first question. Earlier, this topic was discussed at the regular meeting of JINR STC. The Public Council suggested that the Institute Directorate organize a working group that would include representatives of the JINR Directorate, the city administration (as agreed), JINR STC and the Public Council under the JINR Directorate, to prepare discussion issues that should be regarded with the Government of the Moscow region. S. Kulikov, R. Jolos, O. Koval, and A. Usov took part in the debates.

The second question on the agenda was discussed by Deputy Head of the city administration N. Madfes. He spoke about the regional programme “Moscow Region Parks” in which Dubna has been involved since 2015. In particular, N. Madfes showed plans of the embankment upgrading, stressing the fact that all changes in the course of the upgrading process and the

embankment reconstruction would be discussed by the city public. A. Usov, A. Tamonov, M. Shirchenko, Eh. Tagirov, W. Chudoba, B. Starchenko, and S. Kulikov took part in the debates.

M. Shirchenko took the floor with a proposal to construct a miniature Mendeleev Table on the Volga embankment.

**On 15–16 June**, a delegation from the Republic of Botswana headed by Minister of Education and Skills Development Unity Dow and Ambassador Extraordinary and Plenipotentiary of the Republic of Botswana to Russia Lameck Nthekela visited the Joint Institute for Nuclear Research.

During the visit, a meeting with JINR Vice-Director G. Trubnikov, Director of the JINR University Centre S. Pakuliak, FLNR Deputy Director A. Popeko, and Deputy Director of the Centre of Applied Physics of FLNR P. Apel was held; actual steps to enhance scientific and educational cooperation, especially between young researchers, were discussed at the meeting. Issues of cooperation with FLNR on nanotechnological applications, in particular on track membranes, were also discussed. The delegation visited VBLHEP and FLNR.



7–9 апреля в Болгарии проходили Дни ОИЯИ, посвященные 60-летию Института. Открытие дней состоялось 7 апреля в Музее человека и природы и началось с приветственного слова полномочного представителя правительства Республики Болгарии в ОИЯИ Л. Костова. Для гостей была развернута полномасштабная постерная выставка, посвященная истории и развитию сотрудничества ОИЯИ и Болгарии с момента основания Института, совместным достижениям и исследовательским проектам. Выставка призвана способствовать привлечению молодых болгарских ученых и специалистов к участию в дубненских проектах. К событию был приурочен показ фильма болгарской журналистки М. Черневой, снятый

по заказу Первого национального телеканала Болгарии.

8 апреля праздничные мероприятия проходили в софийском Центральном военном клубе. В числе присутствовавших — послы Египта, Казахстана, Польши, Словакии, представители посольств Азербайджана, Белоруссии, Вьетнама и Франции. Директор ОИЯИ академик В. А. Матвеев рассказал гостям о новых научных достижениях Института и планах на будущее. Профессор Ч. Стоянов выступил с докладом об исследованиях в области ядерной науки в Болгарии.

За большой вклад в развитие сотрудничества Болгарии и ОИЯИ почетными знаками награждены болгарские ученые Л. Костов, Н. Ангелов,



София (Болгария), 7–9 апреля.  
Дни ОИЯИ, посвященные 60-летию Института

Sofia (Bulgaria), 7–9 April.  
JINR Days dedicated to the 60th anniversary of JINR

On 7–9 April JINR Days were held in Bulgaria on the occasion of the 60th anniversary of the JINR foundation. The opening ceremony was held on 7 April in the Museum of Man and Nature, with greeting words of Plenipotentiary of the Government of the Republic of Bulgaria to JINR L. Kostov. A full-scale poster exhibition was displayed for guests on the history and development of JINR–Bulgaria cooperation since JINR establishment, joint achievements and research projects. The exhibition was meant to attract young Bulgarian scientists and specialists into JINR projects. A film produced by the Bulgarian

journalist M. Cherneva on the order of the first national television channel of Bulgaria was shown to the audience.

On 8 April the festive events were held in the Sofia Central Military Club. Among those present were Ambassadors of Egypt, Kazakhstan, Poland, Slovakia, representatives of the Embassies of Azerbaijan, Belarus, Vietnam, and France. JINR Director Academician V. Matveev spoke to the guests about new scientific achievements of the Institute and plans for the future. Professor Ch. Stoyanov made a report on the research in nuclear physics in Bulgaria.

И. Бранков, П. Физиев. Болгарским учителям Т. Теодосиеву, Т. Ивановой, М. Джиджовой, Р. Костадиновой, К. Перфановой вручены почетные дипломы за достижения в обучении физике.

На научной сессии с докладами выступили М. Г. Иткис — «Свойства сверхтяжелых ядер на границе стабильности», Д. Тонев — «Настоящие и будущие проекты сотрудничества ИЯИЯЭ БАН и ОИЯИ», С. М. Биленький — «Нейтрино в Дубне», В. В. Воронов — «Сотрудничество Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова с болгарскими институтами» и Л. Литов — «ОИЯИ и физика высоких энергий в Болгарии». Директора лабораторий ОИЯИ В. Д. Кекелидзе, В. В. Кореньков и В. Н. Швецов рассказали о приоритетных направлениях работы Института. Представитель Института электрохимии и энергосистем БАН Д. Владикова выступила с докладом по инновационной тематике.

В тот же день состоялась встреча руководителей Института в сопровождении полномочного представителя Болгарии в ОИЯИ Л. Костова с директором агентства «Наука» при Министерстве образования и науки Болгарии З. Каровой и начальником отдела Г. Жичевой. Обсуждались вопросы сотрудничества и планы на будущее, а так-

же создание специального болгарского фонда для проекта NICA.

9 апреля делегацию ОИЯИ принял президент БАН академик С. Воденичаров. Со стороны Болгарии на встрече присутствовали профессор Д. Тонев, директор ИЯИЯЭ БАН Ч. Стоянов. С. Воденичаров вручил почетную награду им. Марина Дринова М. Г. Иткису за его вклад в изучение механизмов синтеза сверхтяжелых элементов и развитие сотрудничества между БАН и ОИЯИ. Профессор В. В. Воронов был награжден почетным знаком «За заслуги перед Болгарской академией наук» за вклад в развитие сотрудничества между БАН и ОИЯИ.

19 мая ОИЯИ с рабочим визитом посетил директор отдела науки и технологий представительства Тайбэйско-Московской координационной комиссии по экономическому и культурному сотрудничеству при Министерстве науки и технологий Тайваня доктор Чжао-Мин Фу.

В беседе с вице-директором М. Г. Иткисом он отметил особенный интерес к исследованиям в области материаловедения и к образовательным проектам ОИЯИ. Стороны договорились о более активных контактах и, в частности, о следующем

Bulgarian scientists L. Kostov, N. Angelov, I. Brankov, and P. Fiziev were awarded badges of honour for their big contribution to the development of Bulgaria–JINR cooperation. Bulgarian teachers T. Teodosiev, T. Ivanova, M. Jijova, R. Kostadinova, and K. Perfanova were awarded honorary diplomas for achievements in teaching physics.

The scientific session included the following reports: “Properties of superheavy nuclei on the stability border” by M. Itkis, “Present and future projects of the INRNE BAS–JINR cooperation” by D. Tonev, “Neutrino at Dubna” by S. Bilenky, “Cooperation of the Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics with institutes of Bulgaria” by V. Voronov, and “JINR and high energy physics in Bulgaria” by L. Litov. Directors of JINR Laboratories V. Kekelidze, V. Korenkov, and V. Shvetsov spoke about priority directions of JINR activities. The representative of the Institute of Electrochemistry and Energy Systems of BAS D. Vladikova made a report on innovation subject.

On the same date, a meeting of the leaders of the Joint Institute with the Director of the Agency “Nauka” at the Ministry of Education and

Science of Bulgaria Z. Karova and head of department G. Zhicheva was held. The JINR representatives were accompanied by Plenipotentiary of Bulgaria to JINR L. Kostov. They discussed issues of cooperation and further plans, and the establishment of a special Bulgarian trust for the NICA project.

On 9 April, President of BAS Academician S. Vodenicharov received the JINR delegation. From the Bulgarian side Professor D. Tonev and Director of INRNE BAS Ch. Stoyanov were present. S. Vodenicharov handed the Marin Drinov Award to M. Itkis for his contribution to the studies of the mechanism of the superheavy elements synthesis and development of cooperation between the Academy of Sciences of Bulgaria and JINR. Professor V. Voronov was awarded the Badge of Honour “For the Services for the Bulgarian Academy of Sciences” and his contribution to the development of cooperation between BAS and JINR.

On 19 May, a working visit to JINR was paid by Dr. Chao-Ming Fu, Director of the Department of Science and Technology of the representative office of the Taipei–Moscow Coordination Commission

визите (который состоялся 1 июля) — для более детального знакомства с деятельностью ОИЯИ и конкретизации предложений по развитию дальнейшего сотрудничества. Гость посетил циклотронный комплекс и нанотехнологический центр Лаборатории ядерных реакций.

26 мая в рамках Дней ОИЯИ в Украине на физическом факультете Киевского национального университета им. Т. Г. Шевченко состоялось открытие выставки, посвященной 60-летию Объединенного института.

Выставку открыли председатель КПП ОИЯИ А. Костов, полномочный представитель правитель-

ства Украины в ОИЯИ Б. В. Гринев, декан физического факультета Н. В. Макарецы, заведующий кафедрой молекулярной физики Л. А. Булавин и директор УНЦ ОИЯИ С. З. Пакуляк. На церемонии открытия выставки присутствовали студенты и преподаватели физического факультета КНУ.

2 июня делегация ОИЯИ во главе с вице-директором Р. Ледницким приняла участие в научной конференции «Дни Объединенного института ядерных исследований в Молдове», которая проходила в Кишиневе в Президиуме Академии наук Молдовы (АНМ) в рамках празднования 60-летия ОИЯИ и 55-летия основания АНМ.

Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 1 июля. Рабочий визит директора отдела науки и технологий представительства Тайбэйско-Московской координационной комиссии по экономическому и культурному сотрудничеству при Министерстве науки и технологий Тайваня доктора Чжао-Мин Фу



The Veksler and Baldin Laboratory of High Energy Physics, 1 July. A working visit of Dr. Chao-Ming Fu, Director of the Department of Science and Technology of the representative office of the Taipei–Moscow Coordination Commission on Economic and Cultural Cooperation under the Ministry of Science and Technology of Taiwan

on Economic and Cultural Cooperation under the Ministry of Science and Technology of Taiwan.

During a discussion with JINR Vice-Director M. Itkis, Dr. Chao-Ming Fu noted his special interest in issues of materials science and educational projects of JINR. The parties agreed to promote contacts more actively and, in particular, to organize the next visit (on 1 July) for more detailed acquaintance with the activities of JINR and elaboration of proposals on development of cooperation. The guest visited the

cyclotron complex and the Nanotechnology Centre of the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions.

On 26 May an exhibition devoted to the 60th anniversary of JINR was opened in the Physics Department of Kiev National University after T. Shevchenko (KNU), in the framework of the JINR Days in Ukraine.

The JINR CP Chairman L. Kostov, Plenipotentiary of the Ukrainian Government to JINR B. Grinev, the Dean of the Physics Department N. Makaretsy, the



На открытии конференции под председательством вице-президента АНМ, полномочного представителя правительства Молдовы в ОИЯИ академика И.Тигиняну присутствовали представители дипломатического корпуса из посольств Белоруссии, Грузии, Казахстана, России. С приветственным словом выступил председатель парламентской Комиссии по культуре, образованию, науке, молодежи, спорту и средствам массовой информации член-корреспондент АНМ В.Хотиняну. Вице-директор ОИЯИ Р.Ледницки вручил почетные грамоты молдавским ученым и коллективам организаций, сотрудничающим с Институтом. Особо были отмечены заслуги академика АНМ В.Москаленко в развитии успешного сотрудничества молдавских ученых с ОИЯИ. На конференции прозвучали научные доклады, посвященные совместным теоретическим и экспериментальным работам, научным исследованиям в Молдове и основным проектам ОИЯИ. В одном из залов Президиума АНМ была развернута постерная выставка, дающая наглядное представление о сегодняшней жизни ОИЯИ и участии Молдовы в работе Института.

Во время пребывания делегации ОИЯИ в Кишиневе состоялась встреча представителей Института

в правительстве Молдовы с вице-премьером правительства Г.Брегом, который был проинформирован о современном состоянии Института, возможностях сотрудничества с ОИЯИ для молдавских ученых и инженеров, об образовательных проектах.

3 июня делегацию ОИЯИ приняли ректор Технического университета Молдовы (ТУМ) профессор В.Бостан и декан факультета вычислительной техники, информатики и микроэлектроники ТУМ И.Бальмуш. В ходе беседы особое внимание было уделено перспективам для студентов, обучающихся по инженерным специальностям, и летней студенческой программе. Делегация ОИЯИ посетила учебно-научные лаборатории университета. Заместитель директора ЛИТ профессор Г.Адам и директор УНЦ профессор С.З.Пакуляк выступили перед студентами факультета с лекциями.

В начале июня представительная делегация ОИЯИ во главе с директором академиком В.А.Матвеевым находилась в Улан-Баторе (Монголия), где приняла участие в торжественных мероприятиях, посвященных 60-летию ОИЯИ. В рамках Дней ОИЯИ в Монголии состоялся ряд официальных встреч и 6-я Международная конференция по современной физике ИССР-VI, которая проходила

Head of the Chair of Molecular Physics L.Bulavin, and JINR UC Director S.Pakuliak opened the event. Students and teachers of the Physics Department of KNU attended the ceremony.

On 2 June, a JINR delegation headed by Vice-Director R.Lednický took part in the scientific conference "Days of the Joint Institute for Nuclear Research in Moldova" in Chisinau, at the Presidium of the Academy of Sciences of Moldova (ASM), as part of the celebration of the 60th anniversary of JINR and 55th jubilee of ASM.

The conference was opened and chaired by ASM First Vice-President, Plenipotentiary of the Government of Moldova to JINR Academician I.Tighineanu. The opening was attended by diplomatic representatives from the Embassies of Belarus, Georgia, Kazakhstan, and Russia. Chairman of the Parliamentary Committee of Culture, Education, Research, Youth, Sports and Media V.Hotineanu made a welcoming speech. JINR Vice-Director R.Lednický presented honorary diplomas to Moldovan scientists and staff of organizations cooperating with JINR. Special attention was paid to the personal contri-

bution of ASM Academician V.Moskalenko to the successful development of cooperation of Moldovan scientists with JINR.

The scientific programme of the conference included an overview of theoretical and experimental collaborative work, achievements of scientific research in Moldova and the major JINR projects. In the framework of the celebration a poster exhibition demonstrating the present-day JINR and participation of Moldova in JINR activities was opened in one of the halls of the ASM administrative building.

During the visit of the delegation to Chisinau, JINR representatives were welcomed in the Government of Moldova by Vice-Premier Mr.Gh.Brega. The participants of the meeting informed the Vice-Premier about the present status of the Institute, opportunities for Moldovan scientists and engineers, and educational projects.

On 3 June, the JINR delegation met with Rector of the Technical University of Moldova (TUM) Professor V.Bostan and Dean of the Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics of TUM I.Balmuş. During the meeting, the guests paid special attention to prospects for engineering students

в Национальном университете Монголии (НУМ) с 7 по 10 июня с участием научных сотрудников из большинства лабораторий Института.

С монгольской стороны делегацию ОИЯИ принимали полномочный представитель правительства Монголии в ОИЯИ профессор С. Даваа, секретарь и глава исполнительного офиса Комиссии по ядерной энергии правительства Монголии Г. Манлайжав и руководитель отдела зарубежных связей исполнительного офиса Комиссии по ядерной энергии Б. Туяцэцэг.

6 июня в Национальном университете Монголии состоялось торжественное открытие Дней ОИЯИ, в котором приняли участие представители посольств Белоруссии, Лаоса, Франции. В выставочном зале университета была размещена постерная выставка, посвященная сегодняшней жизни ОИЯИ и участию Монголии в работе Института. Директор ОИЯИ В. А. Матвеев вручил почетные грамоты и медали ОИЯИ 33 заслуженным монгольским ученым, работавшим в ОИЯИ и внесшим вклад в развитие научного сотрудничества.

7 июня делегация ОИЯИ была принята старшим вице-президентом Академии наук Монголии академиком Д. Рэдгэлом и генеральным секретарем АН профессором Т. Галбаатаром. Стороны обсудили перспективы сотрудничества, участие

Монголии в новых научных проектах Института и современных образовательных программах.

В преддверии открытия Международной конференции по современной физике состоялась встреча с президентом НУМ доктором Р. Бат-Эрдэнэ и торжественная церемония присвоения директору ОИЯИ В. А. Матвееву звания почетного доктора Национального университета Монголии.

8 июня в правительстве Монголии представителей ОИЯИ принял министр образования, культуры и науки А. Гантумур.

В ходе пребывания делегации ОИЯИ в Монголии был учрежден двусторонний комитет по развитию сотрудничества, деятельность которого направлена, в частности, на повышение информированности монгольского научного сообщества о сегодняшнем дне ОИЯИ и поддержку вовлечения молодых ученых в работу Института. В частности, запланирован визит в Дубну делегации НУМ во главе с его президентом и проведение в 2017 г. в Монголии школы молодых ученых по избранным направлениям исследований ОИЯИ.

С 14 по 18 июня в Астане (Казахстан) проходили праздничные мероприятия, посвященные 60-летию ОИЯИ и 10-летию запуска ускорителя тяжелых ионов ДЦ-60, созданного при участии сотрудников Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.



Улан-Батор (Монголия), 6–9 июня. Участники Дней ОИЯИ в Монголии

Ulaanbaatar (Mongolia), 6–9 June. JINR Days in Mongolia



Астана (Казахстан), 14–18 июня. Участники праздничных мероприятий, посвященных 60-летию ОИЯИ

Astana (Kazakhstan), 14–18 June. Festive events on the 60th anniversary of JINR

and the summer student programme. The delegation visited scientific and educational laboratories of the University. LIT Deputy Director Professor Gh. Adam and UC Director Professor S. Pakuliak gave lectures to students of the Faculty.

In early June, a representative delegation of JINR, headed by Director Academician V. Matveev, visited Ulaanbaatar (Mongolia). JINR visitors took part in festive events on the 60th anniversary of JINR. As part of the JINR Days in Mongolia, official meetings were held and the 6th International Conference on Modern Physics ICCP-VI was organized in the National University of Mongolia (NUM) from 7 to 10 June. Scientists from the majority of JINR laboratories took part in it.

The JINR delegation was received by Plenipotentiary of the Government of Mongolia to JINR Professor S. Davaa, Secretary and Head of the Executive Office of the Nuclear Energy Board B. Tuyatsehtsehg.

On 6 June, the ceremonial opening of the JINR Days was held at the National University of Mongolia. It was attended by representatives of the Embassies of Belarus, Laos, and France.

A poster exhibition about JINR today and involvement of Mongolia in JINR research was displayed in the University exhibition hall. JINR Director V. Matveev handed Honorary Diplomas and Medals to 33 distinguished Mongolian scientists who worked at JINR and contributed to the development of scientific cooperation.

On 7 June, the JINR delegation was received by Senior Vice-President of the Academy of Sciences of Mongolia Academician D. Rehdgehl and AS General Secretary Professor T. Galbaatar. The sides discussed prospects of cooperation, participation of Mongolia in new scientific projects of JINR and current educational programmes.

Before the start of the International Conference on Modern Physics the JINR delegation had a meeting with NUM President Doctor R. Bat-Ehrdehneh, and JINR Director V. Matveev was ceremonially conferred the title of Honorary Doctor of the National University of Mongolia.

On 8 June, JINR representatives were received by Mongolian Minister of Education, Culture and Science L. Gantumur in the Government of Mongolia.

During the stay of the JINR delegation in Mongolia, a bilateral committee was established on the development of cooperation to improve, in particular, information awareness of the Mongolian scientific community about today's JINR activities, and promote the attraction of young scientists to work at JINR. For instance, a visit of the NUM delegation headed by NUM President to JINR was planned, along with organization of a school for young scientists in 2017 in Mongolia in selected fields of JINR research.

On 14–18 June, festive events were held in Astana (Kazakhstan) on the 60th anniversary of JINR and the 10th anniversary of the start-up of the DC60 heavy-ion accelerator developed with staff members of the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions of JINR.



15 июня в конференц-зале отеля «Астана Мариотт» было торжественно открыто международное совещание «Дни ОИЯИ в Казахстане». Делегацию ОИЯИ приветствовал вице-министр энергетики Республики Казахстан Б. М. Джаксаалиев. В числе почетных гостей мероприятия были представители посольств Армении, Грузии, Польши, России, Румынии, Словакии, Чехии, Украины, дирекция ТОО «Росатом Центральная Азия».

Почетными знаками «Заслуженный работник атомной отрасли Республики Казахстан» различной степени были награждены В. А. Матвеев, М. Г. Иткис, С. Н. Дмитриев и Д. В. Каманин за активное участие в развитии сотрудничества в области ядерной физики. В свою очередь, почетных памятных медалей ОИЯИ «За заслуги перед наукой и ОИЯИ» были удостоены казахстанские коллеги К. К. Кадыржанов, Н. Т. Буртебаев, Ф. М. Пеньков и Т. М. Жантикин. Состоялось награждение казахстанских школьников — победителей республиканских и международных конкурсов. Почетные грамоты им вручили генеральный директор РГП ИЯФ С. К. Сахиев и директор ОИЯИ В. А. Матвеев.

В первый день работы совещания в ходе встречи делегации ОИЯИ с руководством Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева

ряд участников совещания был награжден памятными медалями «20 лет ЕНУ им. Л. Н. Гумилева». Представители ОИЯИ посетили филиал Института ядерной физики — междисциплинарный научно-исследовательский комплекс в Астане и совершили экскурсию на ускоритель тяжелых ионов ДЦ-60.

Во второй день совещания в Университете им. Н. А. Назарбаева был подписан меморандум о сотрудничестве с ОИЯИ. Делегация ОИЯИ посетила больницу медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан и филиал корпоративного фонда «University Medical Center» Республиканского диагностического центра. Основная часть сотрудников, которые работают на установках, обеспечивающих отделения ядерной медицины необходимыми радионуклидными фармацевтическими препаратами, проходила профессиональную подготовку в ОИЯИ.

В завершение Дней ОИЯИ в Казахстане участники совещания посетили Республиканский учебно-оздоровительный центр «Балдаурен» на берегу озера Боровое, где были вручены грамоты призерам школьных олимпиад, а вниманию школьников был представлен доклад об образовательных программах ОИЯИ.

On 15 June, the international meeting “JINR Days in Kazakhstan” was ceremonially opened in the conference hall of the hotel “Astana Marriott”. Vice-Minister of Energy of the Republic of Kazakhstan B. Jaksaliev greeted the delegation from JINR. Representatives of the Embassies of Armenia, Georgia, Poland, Russia, Romania, Slovakia, the Czech Republic, Ukraine, and the Directorate of the “Rosatom Central Asia” company were among guests of honour.

V. Matveev, M. Itkis, S. Dmitriev, and D. Kamanin were awarded Badges of Honour “Honoured Worker of Atomic Industry of the Republic of Kazakhstan” of various degrees, for active participation in the development of cooperation in nuclear physics. In their turn, Kazakh colleagues K. Kadyrzhanov, N. Burtebaev, F. Penkov, and T. Zhantikin were awarded Honorary Service Medals “For the Service for Science and JINR”. Kazakh school students — winners of the Republican and international competitions — also received Prizes. They were awarded Honorary Diplomas by the General Director of RSE INP S. Sakhiev and JINR Director V. Matveev.

On the first day of the meeting a number of participants were awarded commemorative med-

als “20th Anniversary of L. Gumilev ENU” during the talks of the JINR delegation with leaders of the Eurasian National University after L. Gumilev. JINR representatives visited the branch of the Institute of Nuclear Physics — the interdisciplinary scientific research complex in Astana and had an excursion to the heavy-ion accelerator DC60.

On the second day of the meeting, the Memorandum on cooperation with JINR was signed in the Nazarbaev University. The JINR delegation also visited the hospital of the medical centre of the Department of Presidential Affairs of the President of the Republic of Kazakhstan and the department of the corporate foundation “University Medical Centre” of the Republican diagnostic centre. The majority of the staff who operate facilities that produce radionuclide pharmaceuticals were trained at JINR.

To conclude JINR Days in Kazakhstan, the participants of the meeting visited the Republican training-health improving centre “Baldauren” on the side of Lake Borovoe. There, Diplomas were handed to winners of school competitions, and school students listened to a report about JINR educational programmes.

С 9 по 24 апреля в Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова проходило 20-е рабочее совещание «Теория нуклеации и ее применения». Оно было посвящено экспериментальным и теоретическим исследованиям кинетики фазовых переходов первого порядка и ее применениям. В работе совещания участвовали 50 ученых из России (30), Германии (5), Украины (7), Бразилии (1), Нидерландов (1), США (1) и ОИЯИ (5).

Участники совещания обсудили исследования, выполненные после окончания предыдущего совещания, а также результаты, полученные по совместным проектам. За период 2015–2016 гг. было опубликовано 5 статей, посвященных связи кинетики стеклования

и кристаллизации стеклообразующих расплавов. Эти исследования были продолжены в Дубне в апреле 2016 г. После доработки несколько статей будет представлено к публикации. Кроме того, до конца года в издательский отдел ОИЯИ будут сданы 3 специальных выпуска трудов совещания.

Совещание снова продемонстрировало эффективность такой формы научного сотрудничества. Оно успешно продолжается, доказательством чему являются исследования, выполненные за 20 лет в Дубне и в других центрах. Обзор тематики совместных работ приведен в пяти томах трудов совещания, а также в четырех специальных выпусках, последние из которых будут опубликованы в ближайшее время.

Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, 9–24 апреля.  
Участники 20-го рабочего совещания «Теория нуклеации и ее применения»



The Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, 9–24 April. Participants of the 20th workshop “Nucleation Theory and Applications”

The 20th research workshop “*Nucleation Theory and Applications*” was carried out successfully in Dubna in the period from 9 to 24 April at the Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics in line with the general programme devoted to experimental and theoretical research on the kinetics of first-order phase transitions and its applications. The workshop was attended by 30 colleagues from Russia, 5 from Germany, 7 from Ukraine, 1 from the Netherlands, 1 from the USA, 1 from Brazil, and 5 from JINR, i.e., in total 50 participants.

In the course of the research workshop in Dubna in April 2015 and the accompanying work performed in the

period from 2015–2016, five papers were published devoted to the interplay of the kinetics of glass formation and crystallization of glass-forming melts. This work was continued in April 2016 in Dubna. Several papers will be submitted after final polishing in next months. In addition, 3 volumes of the special issues of the workshop proceedings will be submitted before the end of the year to the Publishing Department of JINR for publication.

The research workshop proved, again, to be a very fruitful form of scientific cooperation. It continued successfully and at the same time completed these activities which have been performed for 20 years in Dubna and be-

Соответствующие pdf-файлы доступны для скачивания на домашней странице ЛТФ по адресу: <http://theor.jinr.ru/meetings/2016/nta/>. В трудах можно также найти обзор монографий, подготовленных участниками совещаний.

Совещание проводилось при финансовой поддержке немецких фондов DAAD, DFG и программы «Гейзенберг–Ландау». В дальнейшем планируется проводить такие совещания раз в два года в разных институтах, в которых работают постоянные участники дубненских совещаний.

24–25 мая в Лаборатории информационных технологий проходило традиционное двухдневное *рабочее совещание по компьютерной алгебре*. В нем приняли участие более 40 ученых из университетов и научных центров Бухареста (Румыния), Сент-Джорджеса (Гренада), Тбилиси (Грузия), Турку (Финляндия), Москвы, Петрозаводска, Санкт-Петербурга, Саратова, Тамбова и Дубны. Было представлено 24 доклада.

Это рабочее совещание — 19-е по счету из серии совместных совещаний, проводимых с 1997 г. ОИЯИ, факультетом ВМК МГУ и НИИЯФ им. Д. В. Скобельцына МГУ (а в настоящее время — ОИЯИ, ВЦ ФИЦ ИУ РАН и ВМК МГУ). Основная цель совещаний — обе-

спечить форум для обсуждения современных методов, алгоритмов и систем компьютерной алгебры как специалистами в области информатики, так и математиками и физиками, успешно применяющими компьютерно-алгебраические методы в своих исследованиях. На совещании этого года был представлен ряд новых многообещающих результатов по развитию алгоритмов исследования и решения систем алгебраических, дифференциальных и разностных уравнений; по символьно-численному моделированию квантово-механических систем; по вычислению многопетлевых фейнмановских интегралов методами компьютерной алгебры, а также по различным приложениям компьютерной алгебры в физике и математике.

Наибольший интерес вызвали доклады С. А. Абрамова (ВЦ ФИЦ ИУ РАН и МГУ, Москва) — о дифференциальной и алгебраической сложности преобразований операторных матриц; Ю. А. Блинкова (СГУ, Саратов), В. П. Гердта (ЛИТ ОИЯИ) и К. Б. Маринова (университет «Дубна») — о дискретизации квазилинейных эволюционных уравнений с использованием компьютерной алгебры; И. Р. Ломидзе и Н. Д. Чачавы (ГТУ, Тбилиси) — о классификации орбит эрмитовых матриц; В. В. Корняка (ЛИТ ОИЯИ) — о доминантных структурах в квантовой модели, основанной на сим-

yond. An overview on the topics of common work is given in the workshop proceedings, both in the regular volumes 1–5 and in the special four volumes the latest of which are expected to be published shortly. The respective pdf files, as far as they are available till now, can be downloaded via the homepage of the Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics (<http://theor.jinr.ru/meetings/2016/nta/>). In the proceedings, one can also find an overview of the monographs prepared by the participants of our workshops.

The workshop was supported by the Heisenberg–Landau programme, DFG, and DAAD. At the workshop it was also discussed whether these activities will have a continuation in a different form. It is planned to continue them in two-year cycles in different institutes of the permanent participants of the workshops in Dubna.

A traditional two-day *Workshop on Computer Algebra* was held at the Laboratory of Information Technologies on 24–25 May. More than 40 scientists from universities and scientific institutes of Bucharest (Romania), St. George’s (Grenada), Tbilisi (Georgia), Turku (Finland), Moscow, Petrozavodsk, St. Petersburg,

Saratov, Tambov, and Dubna took part in this workshop. Twenty-four reports were presented.

This workshop was the 19th in a series of joint workshops initiated in 1997 by the Joint Institute for Nuclear Research, the Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics and the Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University (nowadays — JINR, Institution of the Russian Academy of Sciences Dorodnicyn Computing Centre of RAS and CMC MSU). The main goal of these workshops is to provide a forum for researchers on computer algebra methods, algorithms and software and for those who use this tool in theoretical, mathematical and experimental physics. This year a number of new promising results on the development of algorithms for investigating and solving systems of algebraic, differential and difference equations, on symbolic-numeric simulation of quantum-mechanical systems as well as on computation of multiloop Feynman integrals by computer algebra methods and on various computer algebra applications to physics and mathematics were presented.

Of key interest were the talks presented by S. A. Abramov (CC RAS, Moscow) on the differential and full al-



метрических группах; О. В. Тарасова (ЛИТ ОИЯИ) — о размерной инвариантности и функциональных уравнениях для фейнмановских интегралов; А. Хведелидзе (ГТУ, ТГУ, Тбилиси; ЛИТ ОИЯИ) и А. Торосян (ЛИТ ОИЯИ) — о спектре и сепарабельности 2-кубитных смешанных X-состояний; Д. Стефанеску (Бухарестский университет, Румыния) — об оптимизации границ корней многочленов; О. Чулуунбаатара, А. А. Гусева, Л. Л. Хая (ЛИТ ОИЯИ), С. И. Виницкого (ЛТФ ОИЯИ) и В. П. Гердта (ЛИТ ОИЯИ) — об алгоритмах и программах решения краевых задач для системы ОДУ с кусочно-непрерывными коэффициентами.

1–2 июня в Дубне проходила международная конференция «*Современные направления в радиобиологии и физиологии*», приуроченная к 60-летию ОИЯИ. Организаторы конференции — Научный совет по радиобиологии РАН и Лаборатория радиационной биологии ОИЯИ.

В работе конференции приняли участие около 60 ученых из институтов и научных организаций Армении, Белоруссии, Чехии и России. В ее программу входило обсуждение актуальных проблем космической радиобиологии и физиологии, радиационной генетики, молекулярной и клеточной радиобиологии.

Были заслушаны 11 докладов ведущих ученых, приглашенных оргкомитетом, и 18 докладов на молодежной секции конференции. Научную программу открыл доклад директора ЛРБ ОИЯИ члена-корреспондента РАН Е. А. Красавина «60 лет ОИЯИ. Радиобиологические исследования». Он рассказал об истории радиобиологических исследований в ОИЯИ — от первых медико-биологических экспериментов до современных исследований по радиобиологии и астробиологии. Докладчик подчеркнул, что на конференции один день специально отдан молодым ученым: «Именно молодые должны представлять срез современных исследований. Это их будущее!»

Академик РАН М. А. Островский в своем выступлении четко определил роль Лаборатории радиационной биологии: «Центр радиобиологических исследований в России перемещается в Дубну. Общим признанием этого факта является избрание Е. А. Красавина председателем Научного совета РАН по радиобиологии». В выступлениях других докладчиков не раз звучало, что решение задач, поставленных перед пилотируемой космонавтикой, невозможно без прямого участия ученых Дубны и потенциала ОИЯИ. Моделирование влияния различных видов излучения на сложные биологические системы невозможно без его ускорителей.

gebraic complexities of operator matrices transformations, Yu. A. Blinkov (SSTU, Saratov), V. P. Gerdt (LIT JINR) and K. B. Marinov (University “Dubna”) on the computer algebra aided discretization of quasilinear evolution equations; I. Lomidze, N. Chachava (GTU, Georgia) on classification of Hermitian matrices’ orbits; V. V. Korniyak (LIT JINR) on the dominant structures in quantum model based on symmetric groups; O. V. Tarasov (LIT JINR) on dimensional invariance and functional equations for Feynman integrals; A. Khvedelidze (RMI, Tbilisi; LIT JINR) and A. Torosyan (LIT JINR) on the spectrum and separability of 2-qubit mixed X-states; D. Stefanescu (University of Bucharest, Romania) on the optimization of bounds for polynomial roots; O. Chuluunbaatar, A. A. Gusev, L. L. Hai (LIT JINR), S. I. Vinitzky (BLTP JINR) and V. P. Gerdt (LIT JINR) on algorithms and programs for solving of boundary value problems for a system of ODEs with piecewise-continuous coefficients.

On 1–2 June, an international conference entitled “*Modern Trends in Radiobiology and Physiology*” took place in Dubna. It was organized by the Scientific Council on Radiobiology of the Russian Academy of Sciences and

JINR’s Laboratory of Radiation Biology. The conference was timed to JINR’s 60th anniversary.

The conference was attended by about 60 scientists from institutes and research centres of Armenia, Belarus, the Czech Republic, and Russia. Discussed were urgent problems of space radiobiology and physiology, radiation genetics, and molecular and cell radiobiology. Eleven talks were given by leading scientists invited by the Organizing Committee; 18, at the conference’s Youth Section. The scientific programme was opened with the talk by the LRB Director E. A. Krasavin, RAS Corresponding Member, “60 Years of Radiobiological Research at JINR”. He reviewed the development of JINR-based radiobiological research from the first biomedical experiments to modern studies in radiobiology and astrobiology. He emphasized that a whole day of the conference was assigned for young scientists: “It is youth who should represent the profile of modern research. It is their future!”

The leading idea of the conference was stated by RAS Academician M. A. Ostrovsky. In his talk, he clearly determined the LRB’s role: “In Russia, the centre of radiobiological research has moved to Dubna. The general acceptance of this fact is reflected in E. A. Krasavin’s be-



Дубна, 1–2 июня. Участники международной конференции «Современные направления в радиобиологии и физиологии»

Dubna, 1–2 June. Participants of the international conference “Modern Trends in Radiobiology and Physiology”

ing elected Chairman of the RAS Scientific Council on Radiobiology”. Other speakers also noted that solving the problems faced by manned cosmonautics is impossible without the direct involvement of JINR’s scientists and potential. Modeling the action of different types of radiation on complex biological systems is unfeasible without its charged particle accelerators.

In his talk “Radiobiology of Vision: Approaches to the Evaluation of Heavy Charged Particle Action on the Visual Systems”, M.A. Ostrovsky examined conditions for the successful completion of long-term manned interplanetary missions. As regards such flights, damage of central nervous system and brain structures should be considered the main risk. In this case, the visual system seems to be a convenient model for studying the brain reactions. It is expected that with the use of complicated cognitive tests based on saccade analysis, disorders of short-term and operating memory will be observed. Moreover, using experimental models like primates will allow ascertainment of the possible effect of radiation exposure on some components of behavior and brain functions, including eye and arm movements, differentiation of stimuli, the choice of a motor reaction in a complicated visual-and-motor instrumental reflex, and the cognitive function of the evaluation of spatial relations between objects in a behavioral experiment.

Dr. Sc. (Med.) Prof. A.A. Ivanov gave a talk “Radiobiological Effects of the Secondary Radiation of the JINR Phasotron”, in which he pointed out the necessity of studying secondary radiation generated inside the spacecraft by galactic cosmic radiation. As is known, depending on the spacecraft protection level, neutrons account for 6–60% of the integral radiation dose. The thicker is spacecraft protection, the greater is the neutron component. It is suitable to study its action on living objects using JINR Phasotron secondary radiation. The first experiments were conducted on small laboratory animals (mice), which yielded data on the effect of neutron exposure on animals’ cognitive functions.

The Head of the Laboratory of Mathematical Biophysics at the RAS Institute of Biochemical Physics S. G. Andreev focused in his talk on the problem of the dependence of the primary damage to chromosomes on their structure and ordering in the cell interphase nucleus. As early as 1980s–90s, a team under his leadership showed, based on calculations involving polymer physics, that chromosomes in a cell should have globular conformations. It can predetermine the appearance of nonrandom chromosomal rearrangements induced by ionizing radiation. It was proposed to use the “distribution by contact” as an efficient marker of chromosome structure and aberrations.

В своем докладе «Радиобиология зрения: подходы к оценке действия тяжелых заряженных частиц на зрительные системы» М. А. Островский рассмотрел аспекты успешного выполнения длительных межпланетных пилотируемых полетов. В качестве основного риска при таких полетах необходимо учитывать повреждение структур центральной нервной системы и головного мозга. При этом зрительная система представляется удобной моделью для исследования мозговых реакций. Ожидается, что при использовании сложных когнитивных тестов, основанных на анализе зрительных саккад, после действия тяжелых заряженных частиц будут выявлены нарушения краткосрочной и оперативной памяти. Более того, использование таких экспериментальных моделей, как приматы, позволит выявить возможное влияние облучения на некоторые компоненты поведения и функции мозга: выполнение движений глаз и рук, дифференцировку стимулов, выбор моторной реакции в сложном зрительно-моторном инструментальном рефлексе; когнитивную функцию оценки пространственных отношений объектов в поведенческом опыте.

Доктор медицинских наук, профессор А. А. Иванов в своем докладе «Радиобиологические эффекты вторичного излучения фазотрона ОИЯИ» обратил внима-

ние на важность исследования влияния вторичных излучений, возникающих внутри космического корабля в результате воздействия галактического космического излучения. Как известно, в зависимости от степени защиты космического корабля на долю нейтронов приходится от 6 до 60% от общего излучения. Чем «толще» защита корабля, тем выше нейтронная компонента. Ее воздействие на живые объекты целесообразно исследовать, используя вторичное излучение фазотрона ОИЯИ. Первые эксперименты проведены на мелких лабораторных животных (мышях), и получены данные о воздействии нейтронов на когнитивные функции животных.

В докладе заведующего Лабораторией математической биофизики ИБХФ РАН С. Г. Андреева акцентировано внимание на проблеме зависимости первичных повреждений хромосом от их структурной организации в интерфазном ядре клеток. Еще в 1980–90-х гг. коллектив под руководством автора показал на основе расчетов с использованием физики полимеров, что хромосомы в клетке должны иметь глобулярные конформации. Это может определять возникновение «неслучайных» хромосомных перестроек, вызванных ионизирующей радиацией. Было предложено использовать «распределения по контактам» как эффек-

tions. In 2009, an experimental technique called High Sea was designed based on this physical principle. By now, it has become the most powerful tool for studying chromosome and genome topology. Data from modern High Sea experiments were presented, showing that the concepts developed earlier have been fully confirmed.

R. M. Arutyunyan, Professor at Yerevan State University, a Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Armenia, presented the first results of research on the molecular genetic effects in mammalian and human cells after relativistic electron beam exposure. The experiments were carried out at the new linear accelerator AREAL (Centre for the Advancement of Natural Discoveries Using Light Emission, Armenia), which was designed for the generation and acceleration of ultra-short electron beams with low emittance and was commissioned in 2014. DNA damage was analyzed in cultures of normal and tumor cells after accelerated electron beam exposure at different beam frequency and power values.

As part of the conference, readings were conducted commemorating A. M. Kuzin (1906–1999), one of the founders of modern radiobiology, a Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences, an organizer

and the first Director of the Institute of Biophysics of the USSR Academy of Sciences, an expert with the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, and an initiator of the Pugwash Conferences on Science and World Affairs. Talks were given sharing memories of this outstanding scientist.

At the concluding discussion, S. V. Avdeev, space pilot and Hero of the Russian Federation, emphasized the importance of taking into account the biological aspect when designing interplanetary spacecraft: “This audience has to provide the main response to our dreams: first, it is the human being and his capabilities that should be studied, and it is only afterwards that new equipment should be designed which would allow obtaining new knowledge and would not be a crew killer. [...] Many see Roscosmos as an organization in charge of only designing new equipment. But manned cosmonautics is more than just equipment working without failures and errors. The involvement of the human being raises the importance of finer, more expensive, and longer research in medicine and biology — and, ultimately, the importance of the human’s role”. S. V. Avdeev’s speech was supported by the conference participants. Once more, the leading role of JINR’s



тивный маркер структуры хромосом и хромосомных aberrаций. В 2009 г. на основе этого же физического принципа был разработан экспериментальный метод High Sea. В настоящее время он превратился в наиболее мощный инструмент исследования топологии хромосом и генома. Были приведены современные данные High Sea экспериментов, где разработанные ранее представления нашли полное подтверждение.

Член-корреспондент НАН Армении, профессор Ереванского госуниверситета Р.М. Арутюнян представил первые результаты работы по изучению молекулярно-генетических эффектов в клетках млекопитающих и человека после воздействия релятивистских пучков электронов. Исследования проводились на новом линейном ускорителе AREAL (Армения), который введен в эксплуатацию в 2014 г. и предназначен для генерирования и ускорения сверхкоротких электронных пучков с малым эмиттансом. Проведен анализ повреждений ДНК в нормальных и опухолевых культурах клеток после воздействия ускоренных электронов при различных значениях частоты и мощности пучка.

В рамках конференции были проведены Кузинские чтения. А. М. Кузин (1906–1999) — один из основателей современной радиобиологии, член-корреспондент АН СССР, организатор и первый директор Института

биофизики АН СССР, эксперт Комитета по действию ионизирующих излучений при ООН, один из инициаторов Пагуошского движения ученых против ядерной войны. На конференции прозвучали доклады с воспоминаниями об этом выдающемся ученом.

В ходе итоговой дискуссии летчик-космонавт, Герой Российской Федерации С.В. Авдеев обратил внимание на важность учета именно биологической составляющей при конструировании новых летательных аппаратов, способных обеспечить полеты к другим планетам: «Самый главный ответ на наши фантазии должен быть дан в этой аудитории: в первую очередь нужно изучить человека, его возможности и только потом выдумывать технику, которая позволит человеку получать новые знания, а не гробить себя...» «Роскосмос» многими воспринимается как организация, которая отвечает именно за разработку техники. А пилотируемая космонавтика — это не только техника, работающая без сбоев и отклонений. Включением сюда человека приподнимается роль более тонких, дорогих и длительных исследований, связанных с медициной, биологией, и, в конце концов, роль человека». Его выступление было поддержано участниками конференции. Участники дискуссии еще раз отметили приоритетную роль Лаборатории радиационной био-

LRB was confirmed in that in recent years it has been actively conducting research on the action of high-energy heavy charged particles on the central nervous system and higher nervous activity. It allows modeling possible disorders of cosmonauts' operator activity during long-term space flights.

*III International Conference on Small-Angle Neutron Scattering (YuMO2016)* took place at the Frank Laboratory of Neutron Physics on 6–9 June. The meeting was dedicated to the 80th anniversary of Yuri Mechislavovich Ostanevich (1936–1992), who has made a determinative and crucial contribution to the construction of spectrometers at the pulsed reactor IBR. He was one of the originators of the development of the time-of-flight SANS technique and the selection of advanced scientific areas for its application. His leadership and outstanding scientific achievements in SANS studies of polyelectrolytes, small molecules, fractals, metallic glasses, macromolecules, polymers, etc., were recognized by a number of awards including the State Prize of the Russian Federation in 2000. The small-angle neutron scattering (SANS) in-

strument successfully operating at the IBR-2 reactor is called YuMO in his honour.

YuMO is a successor of the first-ever SANS instrument built on a “white” neutron pulsed beam (named CsOK after Cser, Ostanevich, and Kozlov), which together with its two-detector system allows now performing rapid measurements in a wide q-range. Nowadays the SANS technique is applied to a wide range of scientific problems in condensed matter, soft matter, biology and nanotechnology. Despite the fact that there are currently over 30 SANS instruments in operation worldwide (both at reactors and at spallation sources), the demand for beam-time is considerably higher than the time available.

The YuMO2016 conference focused on providing opportunities to discuss various possibilities of exploiting the SANS technique in many aspects of condensed matter research. It also provided a ground for the scientific and technical development requests from the YuMO spectrometer users, as organized in the previous user meetings, the first of which was held in 2006. At that meeting, research groups from different neutron centres, universities and research institutes across Europe presented over 35 oral and poster contributions describing scientific and

логии ОИЯИ, где в последние годы активно ведутся исследования действия тяжелых заряженных частиц высоких энергий на центральную нервную систему и высшую нервную деятельность. Это позволяет моделировать возможные нарушения операторской деятельности космонавтов в условиях длительных космических полетов.

С 6 по 9 июня в Лаборатории нейтронной физики проходила *3-я Международная конференция по малоугловому рассеянию нейтронов (YuMO-2016)*. Она была посвящена 80-летию со дня рождения Юрия Мечиславовича Останевича (1936–1992) — ученого, который внес определяющий вклад в развитие приборной базы на импульсном реакторе ИБР. Ю.М.Останевич стоял у истоков развития техники малоугловой дифракции по времени пролета и выбора научных направлений для ее применений. Его выдающиеся научные достижения в области исследований с применением малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН) полиэлектролитов, малых молекул, фракталов, металлических стекол, макромолекул, полимеров и т. д. были отмечены целым рядом наград, в том числе Государственной премией Российской Федерации в 2000 г. Успешно действующий в настоящее время малоугловой дифрактометр ЮМО на реакторе ИБР-2 назван в его честь.

ЮМО — преемник первой в мире установки МУРН с «белым» спектром, реализованной на импульсном источнике и известной как ЧОК (аббревиатура

из первых букв фамилий ее создателей: Л. Черя, Ю.М.Останевича, Ж.А.Козлова). Главная особенность современной установки ЮМО — ее двухдетекторная система, которая, наряду с времяпролетным режимом, позволяет получать кривые малоуглового рассеяния в рекордном диапазоне переданных импульсов за короткие времена. В настоящее время метод МУРН применяется при решении широкого круга научных задач в области конденсированных сред, «мягкой» материи, биологии и нанотехнологий. Несмотря на то, что сегодня в мире на нейтронных источниках (реакторах и испарительных источниках) эксплуатируется более 30 малоугловых дифрактометров, запросы на пучковое время на данных установках со стороны пользователей метода МУРН значительно превышают доступные возможности.

В ходе конференции YuMO-2016 активно обсуждались возможности использования техники МУРН в различных направлениях исследований конденсированных сред. Также анализировались научные и технические запросы пользователей в рамках развития спектрометра. Такого рода обсуждения проводились и в предыдущие годы — в ходе совещаний пользователей ЮМО, первое из которых было организовано в 2006 г. Тогда научно-исследовательские группы из европейских нейтронных центров, университетов и исследовательских институтов представили более 35 устных и стендовых докладов, посвященных научным и методическим результатам. Большинство из них были получены с использованием ЮМО до остановки на модер-



Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка, 6–9 июня. Участники 3-й Международной конференции по малоугловому рассеянию нейтронов (YuMO-2016)

The Frank Laboratory of Neutron Physics, 6–9 June. Participants of III International Conference on Small-Angle Neutron Scattering (YuMO2016)

низацию в 2006 г. высокопоточного импульсного реактора ИБР-2. Второе совещание проводилось в июне 2011 г. после реконструкции и модернизации ИБР-2 и его запуска на научный эксперимент. Оно собрало ведущих ученых, работавших с МУРН в области конденсированных и «мягких» сред, из 12 стран: Чехии, Египета, Франции, Германии, Венгрии, Молдовы, Монголии, Польши, Румынии, Российской Федерации, Словакии, Украины. Было представлено 27 устных и 32 стендовых доклада. Проходившее в этом году третье совещание было расширено до формата полноценной конференции из-за все возрастающего интереса к спектрометру ЮМО. ЛНФ имела возможность приветствовать более 110 участников из 14 различных стран и трех континентов — Европы, Северной Америки и Австралии. Научная программа содержала 43 устных доклада и более 60 докладов, представленных на двух стендовых сессиях.

Вводная сессия конференции открылась докладом директора ЛНФ В. Н. Швецова, после которого профессор Л. Чер, близкий соратник Ю. М. Останевича и один из создателей спектрометра ЮМО, поделился воспоминаниями о своем друге. Научному статусу ОИЯИ в целом было посвящено выступление вице-директора Института Р. Ледницкого. Более подроб-

ная информация об ЛНФ, ее программе пользователей и текущем состоянии дел на спектрометре ЮМО были представлены в докладах научных сотрудников ОИЯИ. Научное заседание, посвященное методикам и установкам МУРН, открыл профессор Г. Штурман, который рассказал о возможностях поляризованных нейтронов при локализации свободных радикалов в структурной биологии. Первый день работы конференции завершила стендовая сессия, включавшая более 30 докладов.

Второй день был посвящен использованию МУРН в биологических исследованиях и открылся докладом доктора Н. Заккаи из Кембриджского университета, в ходе которого докладчик представил результаты, полученные из анализа нейтронного рассеяния, относительно биогенеза мембранных белков. Дальнейшая программа включала большое количество докладов о возможностях использования нейтронов и, в частности, МУРН в исследованиях систем доставки лекарственных средств, нейродегенеративных заболеваний, исследований биомембран. На следующий день в центре внимания были близкие к предыдущей теме исследования комплексных систем, в том числе так называемых «мягких» материалов, с помощью МУРН. Так, член-корреспондент РАН А. Н. Озерин в своем докладе

methodological results. Most of them were obtained using the SANS-YuMO instrument before the high-flux pulsed reactor IBR-2 shutdown in 2006. The second event was organized in June 2011 after the IBR-2 refurbishment and accomplishment of modernization works and the start-up of scientific experiments. It brought together leading scientists in SANS and soft condensed matter research from 12 countries (including the Czech Republic, Egypt, France, Germany, Hungary, Moldova, Mongolia, Poland, Romania, Russian Federation, Slovak Republic, and Ukraine), who gave 27 oral talks and presented 32 posters. The third meeting of this successful series has been expanded to a full conference format due to the ever increasing interest to the YuMO instrument. This time FLNP had an opportunity to welcome more than 110 participants from 14 different countries and 3 continents (Europe, North America and Australia). The scientific programme included 43 oral presentations extending over 930 minutes, while more than 60 posters were presented during the poster sessions and breaks.

The conference introductory session was opened by the FLNP Director V. Shvetsov, and was followed by Ostanovich's former close collaborator and co-founder of

the YuMO instrument Dr. L. Cser who shared his memories of his friend. The overall picture of the JINR activities was delivered by the Institute's Vice-Director R. Lednický, while more details on FLNP, its user programme, and current status of the YuMO spectrometer were provided by the Laboratory personnel. Prof. H. Stuhmann started the first topical session dedicated to the SANS methods and instrumentation by describing the role of polarized neutrons in the localization of free radicals in the structural biology. The poster session comprising more than 30 posters concluded the first day of the conference.

The topic of the second day focused on bio-related SANS studies. It was opened by Dr. N. Zaccai from Cambridge University who presented his results concerning the membrane protein biogenesis obtained from neutron analysis. The programme continued with more talks regarding the utilization possibilities for neutrons and SANS in particular in the studies of drug delivery systems, neurodegenerative diseases, and other aspects of biomembranes. The closely related topic of complex system investigations by means of SANS including soft matter research continued to be the focus the next day. Dr. A. Ozerin discussed the questions of the current status and future out-



описал текущее состояние и перспективы в изучении и использовании полимерных композиционных материалов с наночастицами. Тема наночастиц, в том числе с магнитными включениями, а также наночастиц для биологических приложений не раз поднималась в следующих докладах данной сессии.

Профессор А. Михельс открыл вторую часть сессии, посвященную сложным системам. Его доклад касался аспектов изучения магнитных сред и соответствующей методологии. Сессия охватила также различные дополняющие методы, такие как атомно-силовая микроскопия, ЯМР, спектроскопия комбинационного рассеяния света и моделирование молекулярной динамики. Вторая стендовая сессия включала более 30 докладов.

Темой последнего дня конференции стала особая роль МУРН в исследованиях конденсированных сред. Доктор Х. Тейксеира рассмотрел данный аспект в случае физических исследований жидкой воды, а академик Э. Бурзо представил подробный доклад об обменных взаимодействиях в тяжелых редкоземельных соединениях. В ходе работы сессии были представлены также многочисленные доклады по исследованиям конденсированных сред с использованием МУРН и дополняющих методов в отношении структуры на-

ночастиц и нанокompозитов для перспективных промышленных применений.

Заключительное заседание проводилось в режиме видеоконференции через интернет: участников приветствовал представитель Окриджской национальной лаборатории доктор Д. Катсарас, который рассказал о подходах, развиваемых в его группе, к поиску наноскопических липидных доменов в реальных биологических мембранах. Несмотря на удаленный доступ, после доклада последовала оживленная дискуссия.

В заключение организаторы конференции А. И. Куклин, М. Балашою и Н. Кучерка выразили благодарность оргкомитету, участникам и закрыли конференцию, отметив, возможно, самое главное: с неугасающим интересом участники прослушали множество докладов и сообщений о роли нейтронов и/или методов малоуглового рассеяния в представленных исследованиях по различным областям науки.

look for polymer-nanoparticles composites. The theme of nanoparticles some of which can be loaded with magnetic material and those that have some relation to biological applications resonated throughout this session and also further during the day.

Prof. A. Michels opened another part of the complex system session, the one that focused more on the magnetic aspect of matter and methodology. The session later changed topic presenting atomic force microscopy, NMR, Raman spectroscopy, and molecular dynamics simulations as complementary methods for condensed matter research, which was followed by another poster session displaying again more than 30 posters at the end of the day. The specific role of SANS in condensed matter research became the topic of the last day of the meeting. Dr. J. Teixeira presented this aspect in the case of physical studies of liquid water, while Academician E. Burzo surveyed exchange interactions in heavy rare-earth compounds. Much more condensed matter studies, whether utilizing SANS or other complementary techniques, were presented during this session that included but was not limited to the talks concerning the structures of nanoparticles and nanocomposites for advanced and industrial applications.

The final presentation of the conference took the participants overseas to the Oak Ridge National Laboratory, out of which Dr. J. Katsaras presented the approaches of his group in the search of nanoscopic lipid domains in real biological membranes. The presentation was delivered via video recording followed by the live discussion over internet.

The conference chairs Dr. A. Kuklin, Dr. M. Balasoju, and Dr. N. Kucerka concluded the conference by expressing their gratitude to the Organizing Committee and participants. Finally, and perhaps most importantly, it was more than intriguing to listen to the role of neutrons and/or small-angle scattering methods utilized in the presented studies and across various scientific fields.

С 24 по 27 мая в ДМС ОИЯИ проходил **24-й Международный семинар по взаимодействию нейтронов с ядрами (ISINN-24)**, ежегодно организуемый Лабораторией нейтронной физики им. И. М. Франка. В этом году он был посвящен 60-летию ОИЯИ.

В семинаре приняли участие 70 сотрудников из лабораторий ОИЯИ, 30 ученых из России и СНГ, а также 30 представителей широкого круга стран: Болгарии, Бельгии, Вьетнама, Германии, Египта, Италии, Китая, Польши, Румынии, Франции, США и ЮАР. Всего за 4 рабочих дня участники представили 50 устных и 50 стендовых сообщений по теме семинара. В программу вошли традиционные для ISINN сессии: фундаментальные взаимодействия и физика УХН, физика деления ядра, ядерные аналитические методы в биологии и экологии, ядерные реакции с быстрыми нейтронами, вопросы ядерной структуры, методические аспекты экспериментов с нейтронами, подкритические системы, управляемые ускорителями. Отличительной особенностью этого года стала секция, посвященная обзору существующих, строящихся и проектируемых нейтронных источников и научным программам для этих источников.

Научную программу конференции открыл Л. Тяньжао (Китай) докладом о состоянии дел на китай-

ском испарительном источнике CSNS, планируемом к запуску в 2018 г. Главная цель проектирования нового источника CSNS — создание большой установки для научных исследований в области материаловедения, наук о жизни, нейтронной радиографии — всего, что связано с методами нейтронного рассеяния. Доклад В. Л. Аксенова был посвящен обзору европейских источников и перспективам завершения строительства высокопоточного реактора ПИК в Гатчине. Д. Таглиенте (Италия) рассказал об экспериментальной программе, реализуемой на импульсном источнике быстрых нейтронов nTOF в ЦЕРН, и о новых экспериментальных возможностях установки, связанных с вводом в эксплуатацию новой короткой пролетной базы. О программе исследований, проводимых на импульсном источнике нейтронов ГНЕЙС, который давно и успешно работает в ПИЯФ, подробно рассказал О. А. Щербаков (Россия). Современному статусу источника резонансных нейтронов ИРЕН ЛНФ ОИЯИ и планам его развития был посвящен доклад директора лаборатории В. Н. Швецова. О программе исследований с быстрыми нейтронами, получаемыми на парке ускорителей ФЭИ в Обнинске, рассказал В. А. Хрячков (Россия).

***The 24th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei: Fundamental Interactions & Neutrons, Nuclear Structure, Ultracold Neutrons, Related Topics (ISINN-24)*** took place in Dubna in the JINR International Conference Hall from 24 to 27 May. The seminar is organized every year at the end of May by the Frank Laboratory of Neutron Physics. This year it was dedicated to the 60th anniversary of JINR.

The seminar was attended by 70 researchers from different JINR laboratories, 30 scientists from Russia and CIS, as well as 30 representatives from a wide variety of countries, including Bulgaria, Belgium, Vietnam, Germany, Egypt, Italy, China, Poland, Romania, France, the USA, and South Africa. During the four working days the participants presented a total of 50 oral and 50 poster reports on the themes of the seminar. The scientific programme included sessions traditional for ISINN: fundamental interactions and UCN physics, physics of nuclear fission, nuclear analytical techniques in biology and ecology, nuclear reactions with fast neutrons, nuclear structure, methodological aspects of experiments with neutrons, accelerator-driven subcritical systems. The section devoted to the review of the available neutron sources, sources cur-

rently under construction and those that are planned, as well as to the research programmes for them, became a distinctive feature of this seminar.

The scientific programme of the conference was opened by a report of L. Tianjiao (China) on the current status of the Chinese Spallation Neutron Source (CSNS). The main objective of designing the new source, CSNS, is the creation of a large installation for conducting investigations in the field of materials science, life sciences, neutron radiography, i.e., all research areas that are associated with the neutron scattering techniques. The installation is being built in Guangdong province, an hour's journey from the Hong Kong Airport. Its startup is scheduled for 2018. The report presented by V. L. Aksenov was devoted to the review of European neutron sources and prospects for completion of the construction of the high-flux reactor PIK in Gatchina. G. Tagliente (Italy) told about the experimental programme being implemented at the pulsed fast neutron source nTOF at CERN and new experimental possibilities of the facility due to the commissioning of a new short flight path. O. A. Shcherbakov (Russia) spoke in detail about the programme of research carried out at the pulsed neutron source GNEIS, which

Секцию, посвященную физике ультрахолодных нейтронов, открыл П. Гелтенборт (ILL, Франция) обзором последних достижений в этой области, полученных в различных научных центрах, в первую очередь в Институте Лауэ–Ланжевена. Прецизионное измерение времени жизни нейтрона — одна из наиболее актуальных задач для физики УХН. Безводородные масла остаются хорошими кандидатами для создания ловушек УХН с низкими потерями. Результатам изучения свойств этих масел было посвящено два доклада сотрудников ЛНФ (Ю. Н. Покотиловский, Е. В. Лычагин).

Молодой сотрудник ЛНФ М. А. Захаров представил методические достижения группы физиков из ЛНФ, занимающихся проверкой слабого принципа эквивалентности для нейтрона. Реализованный ими метод фурье-спектрометрии УХН должен позволить в 10 раз улучшить точность измерений. В. К. Игнатович в своем докладе предложил оригинальную схему эксперимента для проверки концепции волновых пакетов, которую, по его мнению, можно реализовать на практике для проверки фундаментальных основ квантовой механики.

Дубна, 24–27 мая. 24-й Международный семинар по взаимодействию нейтронов с ядрами (ISINN-24)



Dubna, 24–27 May. The 24th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei (ISINN-24)

has been successfully operating for many years at PNPI. The report of FLNP Director V. N. Shvetsov was focused on the current status of the source of resonance neutrons IREN of JINR FLNP and plans for the development of the facility. V. Khryachkov (Russia) presented a report on investigations with fast neutrons produced by the accelerator complex at IPPE in Obninsk.

The section dedicated to the physics of ultracold neutrons was opened by P. Geltenbort (ILL, France) with a review of the recent achievements in this area, made in different research centres and, first of all, in the Institut Laue-Langevin that he represented. Precision measurement of the neutron lifetime is one of the most topical problems for the UCN physics. Hydrogen-free oils remain to be good candidates for creating UCN traps with low losses. The results of the studies of the properties of these oils were covered in two reports presented by FLNP re-

searchers (Yu. N. Pokotilovski, E. V. Lychagin). A young FLNP researcher M. Zakharov reported on the methodological developments of the group of physicists from FLNP who are concerned with the verification of the weak equivalence principle for the neutron. The Fourier UCN spectrometry method realized by the group will make it possible to improve the accuracy of measurements by a factor of 10. In his report, V. Ignatovich proposed an original experimental layout to test the concept of wave packets, which, in his opinion, can and should be implemented in practice to verify the fundamental principles of quantum mechanics.

The second day of the seminar started with two plenary reports. Then the participants worked in two parallel sessions: one of them was focused on the use of nuclear-physical analytical methods, mainly neutron activation analysis (NAA) to solve applied problems of ecology,



Второй день семинара открыли два пленарных доклада. А затем работа шла в двух параллельных секциях: одна была посвящена использованию ядерно-физических аналитических методов, главным образом нейтронно-активационного анализа (НАА), для решения прикладных задач экологии, биологии и материаловедения, а другая — проблемам электроядерных систем и ядерной структуры.

Первый пленарный доклад был сделан бывшим сотрудником NASA Р.Гувером (США), который сейчас трудится в Университете Атенса (Алабама, США) и Университете Букингема (Великобритания). Многие годы он занимается вопросами астробиологии, пытаясь ответить на главный вопрос: ограничивается ли жизнь рамками нашей планеты или существует в других уголках космоса. Объектами исследований являются планеты Солнечной системы, посещающие ее кометы, а также метеориты, упавшие в разное время на Землю. Демонстрируя снимки с электронного микроскопа с изображениями микроскопических ископаемых, обнаруженных в метеоритах, и рассматривая последние данные о распространенности воды, кислорода и других химических соединений на планетах, профессор Гувер приходит к выводу, что жизнь, возможно, распространена в Солнечной системе гораздо

шире, чем мы предполагаем, и возможно, что жизнь на Землю была принесена из космоса.

М. В. Фронтасьева сделала подробный доклад о современном состоянии дел в секторе НАА ЛНФ. Она рассказала об истории сектора, о создании комплекса РЕГАТА, его развитии и современных возможностях, о последнем достижении — автоматизации процесса измерения спектров облученных образцов. Был продемонстрирован неуклонный рост интереса стран-участниц ОИЯИ к работам сектора и широчайшей научной программе, реализуемой на установке РЕГАТА.

Актуальность исследований на комплексе РЕГАТА подтвердили доклады участников секции «Нейтронный активационный анализ и науки о жизни». Эта секция привлекает большое количество молодых ученых. Р. Гувер (США) рассказал, как, изучая метеориты, ученые обратились к методу НАА, используемому в ЛНФ, чтобы определить степень отличия метеоритов от земных пород. О результатах таких исследований материалов внеземного происхождения доложила М. В. Фронтасьева. О. Дулиу (Румыния) представил результаты использования различных аналитических методов, в том числе НАА, при сравнительном изучении девяти православных икон. Гость из Египта В. Бадави и его коллега М. Ибрахим сообщили

biology and materials science, and the other on the problems of electronuclear systems and nuclear structure.

The first plenary report was delivered by a guest from the United States, former NASA employee R. Hoover (USA), who is now working at Athens State University (Alabama, USA) and the University of Buckingham (UK). For many years he has been involved in astrobiology research, trying to answer the main question of whether the life is restricted to the planet Earth or more widely distributed across the Cosmos. The objects of research are the planets of the Solar System, comets visiting it and meteorites that fell on Earth at different times. By demonstrating electron microscope images of microscopic fossils found in meteorites and considering the recent data on the distribution of water, oxygen and other chemical compounds on the planets, Prof. R. Hoover comes to the conclusion that life might be distributed throughout the Solar System much more widely than we believe and it is quite possible that life on Earth was seeded from space.

M. V. Frontasyeva made a detailed report on the current state of affairs in the FLNP NAA sector. She told about the history of the development of the sector, the construction of the neutron-activation complex REGATA, its

development and current possibilities, as well as on the recent achievement — automation of the process of obtaining spectra of irradiated samples. It was demonstrated that there has been a steady growth of interest from the JINR Member States in the studies conducted in the sector. The speaker also outlined an extensive scientific programme implemented at the REGATA facility. It includes investigations in various fields of a wide range of sciences: ecology, biology, materials science, astronomy, geology and anthropology, pharmacy, etc.

The relevance of investigations at the REGATA facility was confirmed in the reports of the participants of the section “Neutron Activation Analysis and Life Sciences”. This section attracts a large number of young scientists. R. Hoover (USA) told that while studying meteorites scientists started to apply the NAA method used in FLNP to determine the degree of the difference of meteorites from terrestrial rocks. The results of investigations of materials of extraterrestrial origin were reported by M. V. Frontasyeva. O. Dului (Romania) presented the results of the use of various analytical techniques, including NAA in a comparative study of nine orthodox icons. A guest from Egypt M. Ibrahim and his colleague

о результатах изучения источников загрязнений дельты реки Нил, играющей важную роль в жизни страны. А.Эне (Румыния) рассказала об исследовании распространения загрязнений металлами в Румынии и на Дунае. П.С.Нехорошков (ЛНФ) доложил о том, как он использует НАА при изучении фитопланктона акватории Черного моря. Доклад Д.Ву (Вьетнам) был посвящен исследованию атмосферного распространения загрязнений во Вьетнаме при помощи мхов-биомониторов. И.И.Зиньковская от имени широкой коллаборации ученых из Дубны, Египта и Румынии рассказала об исследовании кораллов Красного моря. В.Е.Зайчик (Обнинск) представил новые результаты изучения изменения состава микроэлементов в костях в результате их воспаления.

Сессию, посвященную свойствам проектируемых электроядерных систем (ЭЯС), открыл приглашенный доклад А.Станковского (Моль, Бельгия) о статусе принятого к реализации в 2010 г. проекта ЭЯС MYRRHA. Этот большой международный проект с оценочной стоимостью около 1 млрд евро был профинансирован на 30% правительством Бельгии в расчете на его дальнейшую поддержку заинтересованными странами и институтами. Однако трудности с лицензированием уже разработанных технических решений по проекту

заставили пересмотреть первоначальный план-график. Скорректированный план-график проекта предусматривает создание и отработку различных режимов работы протонного линейного ускорителя с одновременной работой по уточнению и лицензированию установки в целом. Естественно, что сроки ввода в действие ЭЯС MYRRHA сдвигаются за 2020 г. Доклад вызвал оживленную дискуссию, поскольку ведущиеся в ОИЯИ исследования с моделью ЭЯС КВИНТА, а также планируемые эксперименты с большой урановой мишенью могли бы быть полезными при преодолении трудностей лицензирования ЭЯС MYRRHA.

В докладах И.Адама и Ж.Х.Хушвактова (ЛЯП), а также М.Билевича (ЛФВЭ) обсуждались результаты, полученные в экспериментах с моделью ЭЯС КВИНТА на нуклотроне и фазотроне ОИЯИ. Были представлены новые, более точные данные о спектрах вторичных нейтронов, генерируемых внутри и на поверхности урановой мишенной сборки КВИНТА под действием бомбардирующих дейтронов и протонов. В этом жестком нейтронном поле исследовались реакции на образце металлического тория при энергии падающих дейтронов 6 ГэВ. В докладе П.Живкова (ИЯИЯЭ БАН, София) были обсуждены неопределенности в расчетах свойств ЭЯС с квазибесконечной (обладающей ма-

W.Badawy reported on the results of the study of sources of pollution in the delta of the Nile, which plays an important role in the country. A.Ene (Romania) spoke about the studies on the extent of pollution with metals in Romania and in the Danube region. P.Nekhoroshkov (FLNP) reported on how he uses the NAA to study phytoplankton of the Black Sea. The report of D. Vu (Vietnam) was devoted to the study of air pollution in Vietnam using the moss biomonitoring technique. I. Zinicovscaia, on behalf of a broad collaboration of scientists from Dubna, Egypt and Romania, told about the investigation of Red Sea corals. V.Zaichick (Obninsk) presented new results of the study of changes in the composition of trace elements in inflamed bones.

The session devoted to the properties of electronuclear systems (ENS) being designed was opened by an invited talk given by A. Stankovskiy (Mol, Belgium) on the status of the ENS project MYRRHA (approved for implementation in 2010). This large international project with an estimated cost of about one billion euros was funded up to 30% by the Belgian Government with the expectation of further support being provided by interested countries and institutions. However, difficulties with the licensing

of already developed technical solutions for the project forced them to reconsider the original plan-schedule. The corrected plan-schedule of the project provides for the construction and testing of various operating modes of the proton linear accelerator with the simultaneous work on the improvement and licensing of the whole installation. Naturally, the commissioning date for ENS MYRRHA is shifted well beyond 2020. The report triggered a lively discussion since the investigations carried out at JINR with a model of ENS QUINTA, as well as planned experiments with a large uranium target, might be useful in overcoming the difficulties with the licensing of ENS MYRRHA.

The reports made by J.Adam and J.Khushvaktov (DLNP JINR) as well as by M.Bielewicz (VBLHEP JINR) were devoted to the discussion of the results obtained in the experiments with the model of ENS QUINTA at JINR Nuclotron and Phasotron accelerators. The speakers presented new and more accurate data on the spectra of secondary neutrons generated inside and on the surface of the uranium target assembly QUINTA under the action of bombarding deuterons and protons. In this hard neutron field the reactions on the sample of metallic thorium were studied at the energy of incident deuterons of 6 GeV. The

лой утечкой вторичных нейтронов) активной зоной, которые вызываются использованием различных баз ядерных данных. Дискуссия по докладу показала, что нужно осмотрительно подходить к использованию стандартных транспортных кодов в расчетах ЭЯС.

На заключительной сессии второго дня семинара рассматривались проблемы гамма-распада возбужденных состояний тяжелых ядер, образующихся после захвата тепловых нейтронов (А. М. Суховой, ЛНФ), нестатистические закономерности в свойствах нейтронных резонансов и их возможная связь со спектром масс элементарных частиц (С. И. Сухоручкин, РИЦ КИ ПИЯФ). Обсуждение результатов показало полезность методов нейтронной физики для исследования фундаментальных вопросов структуры ядра и Стандартной модели.

Третий день семинара был целиком посвящен методическим вопросам. М. Цу из Северо-Западного института ядерных технологий (Китай) представил разработку камеры деления с использованием сцинтилляции гелия для регистрации нейтронов деления. Доклад его коллеги Х. Вон был посвящен развитию методики получения изображения  $z$ -пинча при помощи метода полутеней от нейтронного излучения плазмы и конструированию специальной диафрагмы для этого ме-

тода. Л. Заворка (ЛЯП ОИЯИ и РТВ, Германия) рассказал об успешном применении методики цифровой обработки сигналов различных детекторов при регистрации интенсивных потоков нейтронов. Эта методика получает все более и более широкое распространение и представляет большой интерес для экспериментаторов. Г. Ахмадов (ЛНФ) представил результаты тестирования позиционно-чувствительного детектора альфа-частиц, основанного на LYSO сцинтилляторе и пиксельных лавинных светодиодах. Представленные тесты выглядят многообещающе, и работа над улучшением разрешения детектора будет продолжена. А. М. Гагарский (РИЦ КИ ПИЯФ) представил результаты успешного использования многопроволочной камеры деления с низким давлением газа, сконструированной в ПИЯФ. Данная камера позволила получить интересные физические и методические результаты при изучении углового распределения осколков деления и мониторингования нейтронных пучков. Ю. Н. Рогов («Диамант», Сколково) рассказал об успешном применении метода меченых нейтронов для поиска алмазов в кимберлитовой породе. Д. В. Хлюстин (ИЯИ РАН) представил методические результаты, полученные на времяпролетном спектрометре RADEX линейного протонного ускорителя мезонной фабрики. О состо-

report of P. Zhivkov (INRNE BAS, Sofia) dealt with the discussion of uncertainties in the calculations of properties of ENS with a quasi-infinite (having low leakage of secondary neutrons) core, which are the result of using different nuclear databases. The discussion that followed the report has shown that a careful approach should be taken when using standard transport codes in the calculations of ENS.

The final session of the second day of the seminar was focused on the problems of gamma decay of excited states of heavy nuclei produced in a thermal neutron capture process (A. Sukhovej, FLNP JINR), non-statistical regularities in the properties of neutron resonances and their possible relation to the mass spectrum of elementary particles (S. Sukhoruchkin, RRC KI PNPI). The discussion of these results demonstrated the usefulness of neutron physics methods for the investigation of fundamental problems of nuclear structure and the Standard Model.

The third day was entirely devoted to methodological issues. M. Qiu from the Northwest Institute of Nuclear Technology (China) presented the design of a fission chamber based on helium scintillation for detection of fission neutrons. The report of his colleague

X. Weng was focused on the development of  $z$ -pinch imaging technique using the penumbral method from plasma neutron radiation as well as on the design of a special diaphragm for this method. L. Zavorka (DLNP JINR and PTB, Germany) reported on the successful use of the technique of digital signal processing for different detectors of intense neutron fluxes. This technique is gaining increasingly wide acceptance and is of considerable interest for experimenters. G. Ahmadov (FLNP) presented the results of tests of an alpha-particle position-sensitive detector based on LYSO scintillator and micropixel avalanche photodiodes. The presented results look promising, and the work to improve the resolution of the detector will be continued. A. Gagarski (RRC KI PNPI) presented the results of the successful use of a low-pressure gaseous multiwire fission chamber designed at PNPI. The chamber made it possible to obtain interesting physical and methodological results for studies of angular distributions of fission fragments as well as for monitoring neutron beams. Yu. Rogov (Diamant LLC, Skolkovo) spoke about the successful application of the tagged neutron method for detecting diamonds in kimberlite ore. D. Hliustin (INR RAS) presented methodological results



янии дел на установке «Колхида», которая претерпела глубокую модернизацию и готова для реализации программы измерений взаимодействия поляризованных нейтронов с поляризованными ядрами, доложил Д. Бериков (ЛНФ).

Как и на предыдущих семинарах, довольно насыщенной оказалась делительная секция, которая состоялась в последний день. Ф. Гённенвайн из Университета Тюбингена (Германия) представил обзорный доклад, посвященный проявлению в делении эффектов, обусловленных не только известными оболочками и магическими числами, но и так называемыми антиоболочками. В частности, он обратил особое внимание на эксперименты, проведенные в 1990-е гг. группой ФЭИ под руководством А. А. Говердовского, и указал на то, что внятного теоретического объяснения этим результатам так и не было предложено. Два доклада были посвящены T-нечетным эффектам в делении. С. Г. Кадменский (Россия) предложил новый вариант теоретического описания этих эффектов, а Г. В. Данилян (Россия) представил обзор экспериментальных результатов, полученных в международной коллаборации на реакторе FRM-2 в Гархинге. А. С. Воробьев из Гатчины доложил результаты работ, проведенных на установке ГНЕЙС, по определению угловой анизотропии вылета оскол-

ков деления тяжелых ядер нейтронами с энергиями до 200 МэВ. Теоретический подход к описанию такого рода анизотропии был предложен А. Л. Барабановым из Курчатовского института. И. С. Гусева (Россия) представила доклад по изучению нейтрон-нейтронных корреляций в нейтронно-индуцированном делении. Доклад Ш. С. Зейналова (ЛНФ) был посвящен описанию методики измерения мгновенных нейтронов деления с использованием цифровой техники. В заключительном докладе семинара П. Эгельхоф из Дармштадта (Германия) рассказал об уникальной установке, используемой в настоящее время на реакторе ILL в Гренобле для прецизионного измерения осколков деления. Принцип действия установки основан на точном измерении температурного нагрева сапфирового кристалла при попадании в него осколков деления. Это позволяет исключить многие систематические погрешности, присущие большинству других методов.

Как и прежде, ISINN остается площадкой, где участники могут представить еще не опубликованные и иногда предварительные результаты, где в неформальной обстановке в перерывах между сессиями и во время традиционного пикника можно обсудить свои работы с коллегами, получить советы, завязать новое сотрудничество. С презентациями ISINN-24 и матери-

obtained with the time-of-flight spectrometer RADEX of the linear proton accelerator of the Moscow meson factory. D. Berikov (DLNP) reported on the current status of the Kolkhida facility, which had undergone a thorough modernization and was ready for the implementation of the scientific programme aimed at studying interactions of polarized neutrons with polarized nuclei.

As was the case in the previous seminars, the fission section, which was held on the final day, turned out to be quite eventful. F. Goennenwein from the University of Tübingen (Germany) gave a review on the problem of appearance of effects in fission caused by not only the known shells and magic numbers, but also the so-called anti-shells. In particular, he drew attention to the experiments conducted in the 1990s by the group from IPPE under the supervision of A. Goverdovskii and pointed out that there had been no intelligible theoretical explanation of those results yet. Two reports were devoted to T-odd effects in fission. S. G. Kadmsky (Russia) proposed a new version of the theoretical description of the effects, and G. V. Danilyan (Russia) presented an overview of the experimental results obtained in the framework of the international collaboration on the FRM-2 reactor in Garching.

A. S. Vorobyev from Gatchina reported on the results of the studies performed at the GNEIS facility to determine the angular anisotropy of fission fragments of heavy nuclei from neutron-induced fission in the neutron energy range of up to 200 MeV. A theoretical approach to the description of the anisotropy of this kind has been suggested by A. L. Barabanov from the Kurchatov Institute. I. S. Guseva (Russia) presented a report on the study of neutron-neutron correlations in the neutron-induced fission. The report of Sh. S. Zeynalov (FLNP) was devoted to the description of the technique of measuring prompt fission neutrons using digital technology. Lastly, in the final report of the seminar, P. Egelhof from Darmstadt (Germany) told about a unique setup currently used at the reactor of the ILL in Grenoble for precise measurements of fission fragments. The principle of operation of the setup is based on the accurate measurement of the temperature of heating of a sapphire crystal hit by fission fragments. This makes it possible to avoid a lot of systematic errors inherent in the majority of other methods.

As before, ISINN remains a platform where participants can present their as-yet-unpublished and sometimes preliminary results, where in an informal and enjoyable

алами предыдущих семинаров можно ознакомиться в интернете: <http://isinn.jinr.ru>

25 мая в конференц-зале Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова состоялся *семинар, посвященный 60-летию лаборатории*. Семинар открыл директор ЛТФ В. В. Воронов. Директор ОИЯИ В. А. Матвеев поздравил коллектив лаборатории и сердечно поблагодарил ветеранов ЛТФ за их огромный вклад в науку, в становление и развитие одного из ведущих в мире центров теоретической физики, а также призвал молодых сотрудников продолжать традиции, заложенные отцами-основателями.

В программу семинара вошли научные доклады ведущих ученых лаборатории: «Многочисленные вычисления в ЛТФ: 40 лет прогресса» Д. И. Казакова, «Теория конденсированных сред в ЛТФ: нам 50!» В. А. Осипова, «Калибровочные поля, нелинейные реализации, суперсимметрия» Е. А. Иванова; Н. В. Антоненко рассказал о развитии теории атомного ядра в ЛТФ, А. П. Исаев посвятил свое выступление квантовым симметриям, интегрируемым моделям и гравитации.

Юбиляров тепло поздравили и вручили памятные подарки представители дирекций лабораторий ОИЯИ. Большая группа сотрудников ЛТФ была награждена почетными грамотами и благодарственными письмами Минобрнауки РФ, губернатора Московской области, главы города Дубны, почетными памятными медалями и дипломами, почетными грамотами, благодарственными письмами ОИЯИ. Ряд ученых удостоен звания «Почетный сотрудник ОИЯИ».

С 29 мая по 4 июня в Санкт-Петербурге проходил *19-й Международный семинар по физике высоких энергий «Кварки-2016»* — одно из самых крупных и престижных мероприятий в области физики, проходящих в России. В числе организаторов международного семинара: ИЯИ РАН, ОИЯИ, ПИЯФ им. Б. П. Константинова (НИЦ «Курчатовский институт»), СПбГУ и др. Участники семинара — ведущие ученые из России, США, Великобритании, Японии и других стран.

На семинаре российские и зарубежные эксперты представили доклады о новейших исследованиях в области ускорительной физики и физики фундаментальных взаимодействий элементарных частиц и ядер.



Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, 25 мая. Участники юбилейного семинара, посвященного 60-летию лаборатории

The Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, 25 May. Participants of the jubilee seminar on the 60th anniversary of the Laboratory

В числе докладчиков — академики РАН А. А. Славнов, В. А. Рубаков, В. А. Матвеев, А. А. Старобинский, ведущие ученые-физики Санкт-Петербургского государственного университета: академик РАН Л. Н. Липатов, профессор С. С. Афонин, А. А. Андрианов и др.

Научная программа семинара включала пленарные заседания, заседания тематических секций и дискуссии по актуальным проблемам квантовой теории поля и физики элементарных частиц. Эксперты обсудили физику за пределами СМ; космологию, астрофизику и физику элементарных частиц; современные теории поля и динамику сильно связанных теорий; аспекты математической физики и физики нейтрино; квантовую хромодинамику, а также ультравысокие энергии космических лучей и другие вопросы.

С 15 по 28 июня в местечке Скайкампен (Норвегия) прошла *Европейская школа по физике высоких энергий*, которую традиционно из года в год организуют совместно ЦЕРН, ОИЯИ и поочередно одна из их стран-участниц. Оргкомитет школы в Норвегии возглавляла профессор Х. Сандакер из Университета Осло, а помощь в организации оказывали ее коллеги и постоянно действующий оргкомитет из ЦЕРН и ОИЯИ.

Как известно, эта серия школ имеет особую популярность благодаря высокому уровню современных лекций, дискуссионных сессий, студенческих проектов и других мероприятий, программа которых постоянно совершенствуется.

На этот раз в работе школы приняли участие 102 студента 34 национальностей, в основном из стран-участниц ЦЕРН и ОИЯИ, а также из некоторых других регионов.

В рамках школы ведущими мировыми специалистами в различных областях физики высоких энергий было прочитано 32 лекции, которые сопровождались специальными дискуссионными сессиями для лучшего усвоения материала. Один из базовых курсов школы по космологии прочитал И. И. Ткачев (ИЯИ РАН), а руководителями двух дискуссионных групп были сотрудники ОИЯИ А. А. Сапронов и Р. Р. Садыков.

Всего от ОИЯИ в школе приняли участие 8 студентов, еще 4 приехали из российских институтов, и 9 студентов из институтов стран-участниц (Болгарии, Польши, Румынии, Словакии, Чехии и Венгрии) были дополнительно поддержаны ОИЯИ.

Большой интерес у участников школы вызвали лекции о научных программах и планах дальнейшего развития ЦЕРН и ОИЯИ, которые традиционно пред-

atmosphere in the breaks between sessions and during the traditional picnic one has a chance to discuss one's work with colleagues, get advice, and establish new scientific contacts and cooperation.

The presentations of ISINN-24 and materials of the previous seminars are available at the web page: <http://isinn.jinr.ru>.

On 25 May, a *seminar on the 60th anniversary of the Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics* was held at the conference hall of the Laboratory. Director of the Laboratory V. Voronov opened the seminar. JINR Director V. Matveev congratulated the community of the Laboratory and heartily thanked the veterans of BLTP for their grand contribution to science, establishment and development of one of the leading centres of theoretical physics in the world and urged young staff members to continue the traditions established by the Laboratory founders.

The agenda of the seminar included scientific reports by leading scientists of the Laboratory: “Multi-loop calculations at BLTP: 40 years of progress” by D. Kazakov, “Condensed matter theory at BLTP: We are 50!” by V. Osipov, “Gauge fields, non-linear realizations, super-

symmetry” by E. Ivanov. N. Antonenko spoke about the advances in the atomic nucleus theory at BLTP; A. Isaev spoke in his report about quantum symmetries, integrable models and gravitation.

Representatives of JINR laboratories' directorates warmly congratulated their colleagues and handed them souvenirs. A big group of BLTP staff members received Honorary Diplomas and Gratitude certificates of the RF Ministry of Education and Science, Governor of the Moscow region, Head of the city of Dubna, Honorary Medals, Diplomas and certificates of JINR. A number of scientists were conferred the title “Honorary Staff Member of JINR”.

From 29 May to 4 June, *the 19th International seminar on high energy physics “QUARKS-2016”* was held in St. Petersburg — one of the largest and prestigious events in physics in Russia. The seminar was organized by INR RAS, JINR, PINP after B. Konstantinov (RRC “Kurchatov Institute”), St. Petersburg State University and others. Leading scientists from Russia, the USA, Great Britain, Japan, and other countries took part in it.





Скайкампен (Норвегия), 15–28 июня. Организаторы и слушатели Европейской школы по физике высоких энергий, посвященной 60-летию ОИЯИ

Skeikampen (Norway), 15–28 June. Organizers and attendees of the European School on High Energy Physics dedicated to the 60th anniversary of JINR

Russian and foreign experts made reports on recent research in accelerator physics and physics of fundamental interactions of elementary particles and nuclei. Among the speakers were RAS Academicians A. Slavnov, V. Rubakov, V. Matveev, A. Starobinsky, leading physicists from St. Petersburg State University: RAS Academician L. Lipatov, Professors S. Afonin, A. Andrianov, et al.

The scientific programme of the seminar included plenary meetings, sections and discussions on specific topics and urgent issues in quantum field theory and elementary particle physics. The participants discussed physics beyond SM; cosmology, astrophysics and elementary particle physics; modern field theories and dynamics of strongly connected theories; aspects of mathematical physics and neutrino physics; quantum chromodynamics and ultra-high energy of space rays, and other issues.

On 15–28 June, *the European School on High Energy Physics* was held in Skeikampen (Norway). It is traditionally organized by JINR with CERN and JINR Member States, each in its turn. Professor H. Sandaker from Oslo University headed the Organizing Committee in Norway, her colleagues and the permanent Organizing Committee from CERN and JINR assisted her in holding the event.

As is known, this series of schools is especially popular for its high level of modern lectures, discussion sessions, student projects and other events whose programme is constantly upgraded.

This time 102 students of 34 nationalities, mainly, from CERN and JINR Member States and other places attended the school.

Thirty-two lectures were given by leading world specialists in various fields of high energy physics in the framework of the school; they were accompanied by special discussion sessions for better mastery of the information. I. Tkachev (INR RAS) gave a basic course on cosmology, JINR staff members A. Sapronov and R. Sadykov were leaders of two discussion groups.

Eight students from JINR attended the school, four other students came from Russian institutes and nine students from institutes of Member States: Bulgaria, Poland, Romania, Slovakia, the Czech Republic, and Hungary. They had additional support from JINR.

Participants showed much interest in lectures on scientific programmes and plans of further development of CERN and JINR which were traditionally presented by the leaders of these scientific centres Professor F. Gianotti and Academician V. Matveev.

ставили руководители этих научных центров профессор Ф. Джанотти и академик В. А. Матвеев.

В программу школы нескольких последних лет уже включали краткий курс обучения методам представления научных результатов общественности. На этот раз после лекций журналистов BBC в качестве практических занятий проводился конкурс студенческих проектов, где каждая дискуссионная группа выступала на выбранную тему. Жюри конкурса возглавлял профессор Э. Лиллестол, успешно руководивший организацией этих школ на протяжении многих лет.

Школа в Норвегии запомнится также замечательными окружающими пейзажами и экскурсиями, во время которых от участников потребовались практически альпинистские навыки. Но главным, конечно, стало общение, в результате которого будущие ученые лучше узнали и стали понимать друг друга.

A brief course of methods to present scientific results to the public has been included in the agenda of the school for several recent years. This time, after the lectures by BBC journalists a competition of student projects was held as practice classes, where each discussion group spoke on a selected topic. Professor E. Lillestol, who had been a successful organizer of these schools for many years before, headed the competition jury.

The participants of the school will also remember wonderful landscapes and excursions where they had to demonstrate skills of mountain climbing. But the main pleasure was in contacts that resulted in better understanding among young scientists.

## О планах ЦЕРН на будущее

### Интервью генерального директора ЦЕРН Ф. Джанотти журналу «Symmetry Magazine» 8 февраля 2016 г.

Генеральный директор ЦЕРН с энтузиазмом рассказывает о прогрессе и будущей программе исследований на БАК, но это лишь часть ее задумок.

Физик Фабиола Джанотти приступила к своим обязанностям пятнадцатого по счету генерального директора ЦЕРН 1 января 2016 г. Отвечая на вопросы журнала «Symmetry», она рассказала, как продвигаются самые большие и важные задачи в исследованиях.

#### Второй цикл исследований на БАК уже вовсю идет. Что обещает научная программа в этом году?

Этот год будет очень важным. В прошлом году мы в 1,7 раза улучшили показатели энергии, и теперь мы не скоро сможем сделать еще один такой большой шаг.

Этот год будет годом «получения светимости», как мы говорим. Наша цель — предоставить экспериментаторам по крайней мере в пять-шесть раз больше данных, чем в прошлом году. Тогда можно будет проводить в экспериментах более точные измерения процессов Стандартной модели и частиц, включая бозон Хиггса. Нам необходимо еще более точно изучить эту очень особенную и относительно недавно открытую частицу, потому что она открывает дверь в мир новой физики. Также в экспериментах будут измеряться редкие процессы и проводиться поиск новых частиц. У нас появятся новые возможности для открытий новой физики, если матушка-природа будет благосклонна к нам и предоставит нам возмож-

## Q&A: The future of CERN

### Interview given by CERN Director General F. Gianotti to Symmetry Magazine on 8 February 2016.

CERN's Director General is enthusiastic about the progress and prospects of the LHC research programme, but it's not the only thing on her plate.

Physicist Fabiola Gianotti started her mandate as the fifteenth Director General of CERN on 1 January 2016. She recently answered a few questions for Symmetry about what her biggest priorities and challenges are moving forward.

#### LHC Run 2 is in full swing. What does the scientific programme promise for this year?

This year is going to be very important. Last year we made a big step in energy, a factor 1.7, and it will be a long time before another such step will be made in the future.

This year is going to be the year of “luminosity production”, as we call it. The goal is to deliver to the experiments at least a factor of five to six times more data than last year. With these data the experiments will be able to perform more precise measurements of Standard Model processes and particles, including the Higgs boson. We need to know this very special and relatively newly discovered particle with a much higher precision than today, also because it is a door into new physics. The experiments will also measure rare processes and look for new particles with increased opportunities to discover new physics, if nature



ность исследовать новую физику в энергетической шкале БАК.

**Каковы основные приоритеты и задачи Вашего плана работы в ЦЕРН на время Вашей работы в этой должности?**

Приоритеты — сохранять и приумножать высокие стандарты ЦЕРН во всех областях деятельности центра.

Наша первая задача — исследования в фундаментальной физике. Сейчас мы модернизируем и управляем самым мощным в мире ускорителем. У нас очень интересная научная программа разнообразных исследований. И мы думаем о будущем.

Для исследований в нашей области необходимы очень сложные высокотехнологичные приборы, поэтому другой важнейшей задачей для нас является разработка необходимых передовых технологий, которые затем будут передаваться обществу. Они включают ряд областей, таких как сверхпроводящие магниты, вакуум, криогеника, электроника, вычислительная техника. Следующим важным элементом является подготовка молодежи — и не только завтрашних молодых ученых, но и школьников, и школьных учителей. И последнее, но не менее важное, — это мирное сотрудничество, т.е. поддержание статуса ЦЕРН как центра, где люди со всех уголков мира могут работать вместе во имя науки.

is kind enough to have put new physics at the energy scale explored by LHC.

**What are the main priorities and objectives in your plan of work for CERN during your mandate?**

The priorities are to maintain and expand CERN's excellence in all its components.

Research in fundamental physics is our first mission. We are operating and upgrading the most powerful accelerator in the world. We have a compelling scientific diversity programme. And we are preparing for the future.

Our field requires very complex, high-tech instruments, so another essential component of our activity is to develop the needed cutting-edge technologies, which are transferred to society. They cover a variety of domains, including superconducting magnets, vacuum, cryogenics, electronics, computing. Another important element is training young people — not only tomorrow's scientists but also school kids and school teachers. Last but not least, peaceful collaboration, i.e., maintaining CERN as a place where people from around the world can work together in the name of science.

**And the main challenges for the next five years?**

Every day brings new challenges. In my opinion, the most important challenge for our community in the

**А какие основные задачи у Вас на ближайшие 5 лет?**

Каждый новый день приносит новые задачи. Как мне кажется, самая важная задача для нашего коллектива в эти ближайшие годы — подготовить для ЦЕРН будущее и создать порядок и дисциплину в Европе, в общемировом контексте. В 2019–2020 гг. мы обновим Европейскую стратегию по физике частиц (ЕСФЧ) и разработаем дорожную карту исследований в этой области на предстоящие годы. Это будет очень важное и напряженное время для нашего коллектива. Мы должны будем основываться на том, что мы уже узнали со времени предыдущей про-

Дубна, 5 апреля.

Генеральный директор ЦЕРН Ф. Джанотти выступает на торжественном заседании, посвященном 60-летию ОИЯИ



Dubna, 5 April. CERN Director General F. Gianotti is talking at the ceremonial meeting on the 60th anniversary of JINR

years to come is to prepare the future for CERN and the discipline in Europe, within the worldwide context. Between 2019 and 2020 we will update the European Strategy for Particle Physics and define the roadmap of the field for future years. It will be a very important and intense time for the community. We will have to build on what we've learned since the previous ESPP in 2013. A big role will be played by the LHC results — what we find at the LHC and what we don't find.



граммы ЕСФЧ 2013 г. Большую роль здесь сыграют результаты экспериментов на БАК — что мы обнаружим на БАК и что нет.

**В ЦЕРН уже планируют следующую установку, продолжающую исследования БАК?**

Мы уже думаем о будущем. Время еще есть; мы начали обсуждать строительство БАК в начале 1980-х, и ускоритель начал работать в 2010 г. Для этого проекта потребовалось 25–30 лет, от первых задумок до запуска установки.

Подготовка будущих проектов проходит по трем направлениям: мощная научно-исследовательская программа и конструкторские разработки для ускорителя; конструкторские разработки коллайдеров высоких энергий, включая CLIC и FCC; а также изучение дополнительных возможностей ускорительно-го комплекса ЦЕРН — в дополнение к коллайдерам высоких энергий. На самом деле сегодня в физике частиц так много интересных задач, и только одного метода недостаточно, чтобы решать их.

**Как Вы представляете себе положение и роль ЦЕРН в глобальной картине большой науки сегодня?**

В фундаментальной науке еще много открытых вопросов: от темной материи до темной энергии, от асимметрии материи-антиматерии до проблемы ароматов и т. д. Ни один отдельный проект, ни одно неоспоримое доказательство не могут позволить нам

дать на них ответ. Единственный путь успешно решать их — использовать весь набор подходов, созданных в данной области. Это и ускорители высоких энергий, и подземные детекторы, которые ищут темную материю или распад протонов, и изучение космоса, и эксперименты с нейтрино и т. д.

Ни одна страна, ни один регион не может построить и реализовать такие проекты. Поэтому физика частиц и астрочастиц все больше становится общемировой. Мы должны предоставлять наши установки другим, чтобы оптимизировать человеческие, технологические и финансовые ресурсы. Мы должны сотрудничать, сохраняя соревновательный дух, который всегда очень полезен и помогает продвижению к успеху.

*Журнал «Symmetry Magazine» Министерства  
энергетики США,  
совместное издание Fermilab/SLAC  
symmetrymagazine.org*

**Is CERN already making plans for a successor to the LHC?**

We are already preparing for the future. It's not too early; first discussions of the LHC took place at the beginning of the 1980s, and the LHC started operation in 2010. This project required 25 to 30 years from first ideas through first operation.

Preparation for the future proceeds along three lines: a vigorous accelerator R&D programme; design studies of future high-energy colliders, including CLIC and FCC; and exploration of additional opportunities offered by the CERN accelerator complex — complementary to high-energy colliders. Indeed, the outstanding questions in today's particle physics are so numerous and difficult that a single approach is not sufficient.

**How do you see CERN and its role in the global picture of big science today?**

The open questions in fundamental physics cover a broad range of issues, from dark matter to dark energy, from the matter-antimatter asymmetry to the flavor problem, etc. There is no single project, no single smoking gun that allows us to answer them all. The only way to address them successfully is to deploy the full set of approaches that the field has developed. These include high-energy accelerators, underground detectors

looking for dark matter or proton decay, cosmic surveys, neutrino experiments, etc.

No single country, no single region can build and run all these projects. That's why particle and astroparticle physics are becoming more and more global. We have to share the facilities in order to optimize the human, technological and financial resources. We have to collaborate, still maintaining a little bit of competition, which is always very healthy and very stimulating.

*From Symmetry Magazine,  
a joint Fermilab/SLAC publication,  
US Department of Energy, Office of Science  
symmetrymagazine.org*

- *Малахов А. И.* Люди высоких энергий: документальная повесть. — М.: Академика, 2016. — 253, [2] с.: цв. ил.  
*Malakhov A. I.* People of High Energy: A Documentary Novel. — М.: Akademika, 2016. — 253, [2] p.: colour ill.
- Fundamental Interactions & Neutrons, Nuclear Structure, Ultracold Neutrons, Related Topics: XXIII International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei Dedicated to the Centenary of the Birth of Fyodor L. Shapiro (1915–1973) (ISINN-23), Dubna, Russia, May 25–29, 2015: Proceedings of the Seminar. — Dubna: JINR, 2016. — 500 p.: ill. — (JINR; E3-2016-12). — Bibliogr.: end of papers. — Spread head: ISINN-23. Neutron Spectroscopy, Nuclear Structure, Related Topics.
- *Загребяев В. И.* Ядерные реакции с тяжелыми ионами: учебное пособие. — Дубна: ОИЯИ, 2016. — 184 с.: ил. — (Учебно-научный центр ОИЯИ. УНЦ; 2015-57). — Библиогр.: с. 183–184.  
*Zagrebaev V. I.* Nuclear Reactions with Heavy Ions: A Manual. — Dubna: JINR, 2016. — 184 p.: ill. — (JINR University Centre. UC; 2015-57). — Bibliogr.: P. 183–184.
- Fundamental Interactions and Neutrons, Nuclear Structure, Ultracold Neutrons, Related Topics: XXIV International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei (ISINN-24), Dubna, Russia, May 24–27, 2016: Abstracts of the Seminar. — Dubna: JINR, 2016. — 94 p.: ill. — (JINR; E3-2016-32).
- *Елисеева Е. А., Лебедев А. М., Левитин А. А., Самойлов В. Н., Тюпикова Т. В.* Финансовый менеджмент в системе управления предприятием. В помощь студентам при подготовке к зачетам и экзаменам. — Дубна: ОИЯИ, 2016. — 98 с. — (ОИЯИ; 2015-46). — Библиогр.: с. 96–98.  
*Eliseeva E. A., Lebedev A. M., Levitin A. A., Samoilov V. N., Tyupikova T. V.* Financial Management in Administration System of an Enterprise. For students in preparation to tests and examinations. — Dubna: JINR, 2016. — 98 p. — (JINR; 2015-46). — Bibliogr.: P. 96–98.
- International Conference on Small Angle Neutron Scattering (3; 2016; Dubna). III International Conference on Small Angle Neutron Scattering Dedicated to the 80th Anniversary of Yu. M. Ostanevich, Dubna, June 6–9, 2016: Book of Abstracts. — Dubna: JINR, 2016. — 158 p.: ill. — (JINR; E13,14-2016-34). — Bibliogr.: end of papers. — Spread head: Joint Institute for Nuclear Research. Frank Lab. of Neutron Physics.
- *Пенионжкевич Ю. Э., Калпакчиева Р. Г.* Легкие ядра у границы нейтронной стабильности. — Дубна: ОИЯИ, 2016. — 383 с.: цв. ил. — (ОИЯИ; 2015-12). — Библиогр. в конце глав. — В надзаг.: Объединенный институт ядерных исследований.  
*Penionzhkevich Yu. Eh., Kalpakchieva R. G.* Light Nuclei at the Border of Neutron Stability. — Dubna: JINR, 2016. — 383 p.: colour. ill. — (JINR; 2015-12). Bibliogr.: end of chapters. — In Heading: Joint Institute for Nuclear Research.
- Объединенный институт ядерных исследований. Научно-техническая библиотека. Книги, монографии сотрудников ОИЯИ, 1956–2016: К 60-летию ОИЯИ: Библиографический указатель / Сост.: Е. В. Иванова, В. В. Лицитис. — Дубна: ОИЯИ, 2016. — 91 с. — (ОИЯИ; 2016-30).  
Joint Institute for Nuclear Research. Scientific-Technical Library. Books, Monographs by JINR Staff Members, 1956–2016: To the 60th Anniversary of JINR: Bibliographic Index / Comp.: E. V. Ivanova, V. V. Litsitis. — Dubna: JINR, 2016. — 91 p. — (JINR; 2016-30).
- Symmetry in Integrable Systems and Nuclear Physics. Humboldt Kolleg / The Third International School, Tsakhkadzor, Armenia, July 3–13, 2013: Book of Lectures / Eds.: G. S. Pogosyan, E. A. Kolganova, S. I. Vinitisky. — Dubna: JINR, 2016. — 155 p.: ill. — (JINR; E2-2016-36). — Bibliogr.: end of papers.
- Лабораторная работа №1 по электронике. Знакомство с измерительными приборами: мультиметр (тестер) и осциллограф. Теоретические основы пайки: учебное пособие / Сост.: Д. С. Белозеров. — Дубна: ОИЯИ, 2016. — 12 с.: цв. ил. — (Учебно-методические пособия Учебно-научного центра ОИЯИ. УНЦ; УНЦ-2016-58).  
Laboratory Research Num. 1 on Electronics. Measuring Devices: Multimeter (Tester) and Oscilloscope. Basics of Brazing. Theory: A Manual / Comp. D. S. Belozеров. — Dubna: JINR, 2016. — 12 p.: colour ill. — (Study guides of the JINR University Centre. UC; UC-2016-58).
- International Workshop on Few-Body Systems (FBS-Dubna-2016), Dubna, Russia, July 4–7, 2016: Program and Abstracts. — Dubna: JINR, 2016. — 33 p.: ill. — (JINR; E4-2016-45). — Bibliogr.: end of papers.
- Distributed Computing and Grid-Technologies in Science and Education: Book of Abstracts of the 7th International Conference (GRID 2016), Dubna, 4–9 July, 2016. — Dubna: JINR, 2016. — 161 p.: ill. — (JINR; D11-2016-41). — Bibliogr.: end of papers.