

*A. N. Sissakian, A. S. Sorin*

## NICA: шаг в будущее

Проект нового коллайдера NICA для изучения сложного и загадочного явления — смешанной фазы кварк-глюонной материи — появился совсем недавно и уже успел получить известность среди экспертов в области физики высоких энергий. Сверхпроводящий высокоэнергетический ускорительный комплекс тяжелых ионов на встречных пучках NICA (Nuclotron-based Ion Collider fAcility), как следует из его названия, базируется на ускорителе ядер — нуклотроне Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина Объединенного института ядерных исследований. Сильные научные школы и традиции Дубны, заложенные основателями международного ядерного центра на российской земле — Н. Н. Боголюбовым, Д. И. Блохинцевым, Г. Н. Флеровым, И. М. Франком и другими крупнейшими учеными, стали основой для непрерывного развития Института. Даже в самые сложные времена физики Дубны продолжали свой путь к вершинам научного знания. Проект NICA — яркое продолжение

этого пути. Проекты такого рода обычно долго созревают и реализуются десятилетиями. Состоявшийся в Дубне очередной круглый стол по обсуждению физической программы NICA продемонстрировал стремительные темпы развития и осуществления проекта высокотехнологического ускорительного комплекса в России.

Россия хочет войти в группу лидеров инновационного развития, но это сложная задача. Быстро сдвинуть дело с мертвой точки могут только мощные научные проекты с дерзкой научной программой и высокими технологическими требованиями к технике и приборам. Именно они способны вызвать всплеск инновационного и промышленного развития.

Исследовательская группа Объединенного института ядерных исследований под руководством академика А. Н. Сисакяна задумала реализовать именно такой смелый проект под именем NICA — проект создания сверхпроводящего ускорительного комплекса тяжелых

*A. Sissakian, A. Sorin*

## NICA: Pacing Forward

The project of the new collider NICA for studies of an intricate and mysterious phenomenon — the mixed phase of the quark–gluon matter — has been only recently born; nevertheless, it has already won renown among experts in high energy physics. The superconducting high-energy accelerator complex of heavy ions with colliding beams NICA (Nuclotron-based Ion Collider fAcility), as it results from its name, is based on the nuclei accelerator — the Nuclotron of the Veksler and Balдин Laboratory of High Energy Physics at the Joint Institute for Nuclear Research. Robust scientific schools and traditions of Dubna, established by the founders of the international nuclear centre in the territory of Russia — N. Bogoliubov, D. Blokhintsev, G. Flerov, I. Frank and other famous scientists, laid the basis for continuous development of the Institute. Even in hardest times Dubna physicists kept working for new scientific results. The NICA project is a bright example of this tradition. The round-table discussion in Dubna on the NICA physics programme illustrated the fast tempo of the project development and construction of the high-technolo-

gy accelerator complex in Russia, though such projects usually take much time to mature and are implemented for decades.

It is vital for Russia to become a member of the team of innovation development leaders, but this task is far from being easy. Only vigorous scientific projects with a daring research programme and high technology requirements on the equipment can set the work moving. It is these projects that are capable of triggering off a breakthrough in innovation and industry development.

A research group of the Joint Institute for Nuclear Research, headed by one of the authors of this article Academician A. Sissakian, has conceived to implement exactly such a daring project, NICA, to develop a superconducting accelerator complex for heavy ions with colliding beams. Physicists from Dubna and other Russian scientific centres — the Institute for Nuclear Research of RAS, the Institute of High Energy Physics, the Budker Institute for Nuclear Physics, the Scientific Research Institute for Nuclear Physics of Moscow State University, the Institute of Theo-

ионов на встречных пучках. Эту суперсовременную машину физики Дубны и еще ряда российских институтов — ИЯИ РАН, ГНЦ ИФВЭ, ИЯФ им. Г. И. Будкера, НИИЯФ МГУ, ИТЭФ и др. — планируют использовать для поиска смешанной фазы ядерной материи. Разработка проекта ведется с середины 2006 г. в тесном сотрудничестве с ведущими институтами Российской академии наук, Росатома, Роснауки, Рособразования, МГУ и РНЦ «Курчатовский институт». В результате осуществления проекта будет создан уникальный ускорительный комплекс — каскад четырех ускорителей, один из которых уже существует и ныне действует — сверхпроводящий ионный синхротрон нуклотрон.

Нуклотрон Лаборатории физики высоких энергий с большим трудом и напряжением сил сотрудников Института был построен в сложные 1990-е и уже успел поработать на пользу мировой науки. Правда, из-за более чем скромного финансирования этот уникальный сверхпроводящий ускоритель не достиг тогда тех параметров пучка, для которых был задуман, — возможно-

сти доступного по тогдашним средствам вакуумного и криогенного оборудования не позволили «пойти вверх по энергиям». И вот теперь проект NICA вдохнул в нуклотрон новую жизнь и открыл перед физикой высоких энергий новые перспективы.

Исследование свойств ядерной материи — фундаментальная задача современной физики высоких энергий. Эксперименты здесь ведутся на сверхмалых масштабах — в миллион раз меньше нанометра. Решение же этой фундаментальной задачи не только открывает новые горизонты нашему взгляду на мир, позволяя разобраться в эволюции Вселенной, но и создает основу для развития новых технологий на сверхмалых масштабах.

Есть гипотеза, что подобно кипению воды, когда одновременно в кастрюле бурлят вода и пар, у кварк-глюонной материи тоже существует смешанная фаза. Смешанная фаза адронной материи должна включать одновременно свободные кварки, глюоны и протоны с нейтронами, внутри которых кварки уже связаны —

Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, 9 сентября. 4-й круглый стол «Физика на коллайдере NICA»



Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, 9 September. The 4th round-table discussion «Physics at the NICA Collider»

retical and Experimental Physics — plan to use this super modern facility to search for the mixed phase of nuclear matter. The project has been under development since 2006 in close cooperation with leading institutions of the Russian Academy of Sciences, the State Corporation on Atomic Energy Rosatom, the Federal Agency on Science and Innovations, the Federal Agency on Education, Moscow State University, and the Russian Scientific Centre «Kurchatov Institute». The accomplishment of the project will result in the construction of a unique accelerator complex — a cascade of four accelerators, one of which already

operates — the superconducting ion synchrotron called the Nuclotron.

The Nuclotron of the JINR Laboratory of High Energy Physics was constructed with much effort and hardship in the difficult times of the 1990s. Its operation was useful for the world science, but, due to insufficient financing, this unique superconducting accelerator did not manage to reach the scheduled beam parameters — the capacity of the affordable at that time vacuum and cryogenic equipment did not allow further energy increase. Today the NICA pro-

склеены глюонами. Если посмотреть на фазовую диаграмму в координатах температура–плотность барионов, то граница состояний «адронная и кварк–глюонная плазма» представляет собой вовсе не тонкую линию на этом графике, а целую область, размер и форму которой пока трудно предсказать. В этой области фазовой диаграммы, названной «дубненская поляна», как раз и существует смешанная фаза адронной материи.

Коллайдер NICA, строительство которого планируется завершить к 2015 г., схематично выглядит так. Источник тяжелых ионов KRION посылает ядра в линейный ускоритель, который будет создан специалистами Института физики высоких энергий (Протвино). Далее пучок попадает в бустер-синхротрон, где частицы разгоняются до нужной энергии. Оттуда 34 сгустка из 10 миллиардов ядер в каждом перемещаются в нуклотрон и, выстраиваясь там сверхпроводящими магнитами в тончайшую нить длиной 30 см, разлетаются в виде двух встречных пучков из 17 сгустков ядер — каждый в свое кольцо ионного коллайдера длиной 225 м.

Два кольца коллайдера должны пересечься в двух точках, оснащенных детекторами. Один из них — многоцелевой детектор MPD (MultiPurpose Detector). Он сможет выявить наличие смешанной фазы и ряд других

закономерностей в этой области энергии. Детектор проектируется так, чтобы «засечь» частицы, вылетающие из точки соударения пучков по всем возможным направлениям. Для создания прибора с таким высоким уровнем чувствительности потребуются принципиально новые технологические решения.

Другой детектор планируется для спиновой программы исследований. Поляризация частиц — еще одна тайна мироздания. Теоретики Дубны лелеют надежду, что и эту тайну помогут раскрыть эксперименты на коллайдере NICA, проектируемом совместно со специалистами новосибирского Института ядерной физики им. Г. И. Будкера — первопроходцами ускорительных технологий на встречных пучках.

В Дубне полным ходом идут работы по модернизации нуклотрона: принципиально улучшен вакуум в кольце, полностью модернизирован криогенный комплекс — сердце сверхпроводящего ускорителя. Обновлена система питания, устанавливается современное диагностическое оборудование, идет работа по созданию нового источника ионов. Параллельно продвигается разработка технического проекта ускорительного комплекса NICA и концептуального проекта экспериментальной установки.

ject has inspired the Nuclotron with a new life and opened new prospects for high energy physics.

Studies of the properties of nuclear matter are a fundamental task for modern high energy physics. Experimental research is conducted in this domain on a super small scale — million times less than a nanometer. The solution of this fundamental task not only opens new horizons for our world perception, enabling us to decipher the Universe evolution, but also lays the basis for the development of new techniques on the super small scale.

In a certain hypothesis, quark–gluon matter has a mixed phase, like water that boils in the pot simultaneously with vapour. The mixed phase of hadron matter should include simultaneously free quarks, gluons and protons with neutrons inside which quarks are already constrained — glued with gluons. In the phase diagram in baryon temperature–density coordinates, the border of the states «hadron and quark–gluon plasma» is not a thin line but a domain whose size and shape is still difficult to predict. It is in this domain called «the Dubna meadow» where the mixed phase of hadron matter exists.

The NICA collider, whose construction is planned to have been accomplished by 2015, can be schematically de-

scribed as follows: the heavy-ion source KRION propels nuclei into the linear accelerator that will be constructed by specialists from the Institute of High Energy Physics in Protvino. Then the beam comes into the booster synchrotron where particles are accelerated up to the necessary energy. Thirty-four bunches consisting of 10 milliard nuclei each are transported into the Nuclotron and, being lined up into a thinnest thread 30 cm long with superconducting magnets, scatter in the form of two colliding beams of 17 bunches — each into its own ring of the 225 m long ion collider.

The two rings of the collider must intersect in two points equipped with detectors. One of them is the Multi-Purpose Detector (MPD). It will be able to detect the existence of the mixed phase and a number of other regularities in this energy range. The detector is designed to «spot» particles that dash from the beam colliding point in all possible directions. It will be necessary to apply principally new technological approaches to develop a device with the level of sensitivity that high.

Another detector is planned for the spin programme. Particle polarization is one more mystery of the Universe. Dubna theoreticians hope that they will be able to unravel it

В центре NICA, созданном в рамках Лаборатории физики высоких энергий, над проектом нового ускорительного комплекса и экспериментальных установок работает несколько групп высококлассных специалистов из разных лабораторий Института. Это теоретики, программисты, специалисты по ускорительной технике, методисты и физики-экспериментаторы. Общее руководство центром осуществляет соруководитель проекта NICA, заместитель директора Лаборатории теоретической физики профессор А. С. Сорин. Работами по созданию ускорительного комплекса руководит член-корреспондент РАН И. Н. Мешков. Его ученик — заместитель главного инженера ОИЯИ Г. В. Трубников — возглавляет процесс модернизации нуклотрона. Деятельность коллектива разработчиков многоцелевого детектора MPD направляет директор Лаборатории физики высоких энергий профессор В. Д. Кекелидзе.

Строительство современных экспериментальных установок невозможно без детальной технической проработки, и лаборатория старается привлекать наиболее квалифицированных инженеров-конструкторов. Один из них, Н. Д. Топилин, вернулся в Дубну из Швейцарии, где, работая в ЦЕРН, отвечал за создание торцевой калориметрии установки ATLAS на большом адронном

коллайдере. Сегодня он является главным конструктором комплекса NICA. То, что в Дубну возвращаются конструкторы, — хороший знак. Ведь именно они массово уехали на Запад, когда стала разваливаться российская наука. А там их высокая квалификация была и остается востребованной. Раз физики и инженеры едут в Дубну, значит, Объединенный институт ядерных исследований — на верном пути.

Создание ускорителя — дело живое, тесно связанное с течением реальных событий. Поэтому и программа такой машины, и, соответственно, концепция конструктивных элементов ускорительного комплекса находятся в динамике до самого начала строительства масштабного сооружения.

Весной нынешнего года вышла в свет первая версия издания «Белая книга проекта NICA». Книга постоянно пополняется новыми страницами и открыта для всех, кто хочет внести в нее свой вклад (<http://theor.jinr.ru/twiki-cgi/view/NICA/WebHome>). Ее содержание как раз и представляет собой физическую основу программы экспериментов на проектируемом ускорительном комплексе. Для обсуждения этой программы проводился четвертый круглый стол «Физика на коллайдере NICA». Ведь Дубна — неотъемлемая часть мирового научного сообщества, а это значит, что уровень иссле-

with the experiments at the NICA collider designed together with specialists from the Budker Institute for Nuclear Physics (Novosibirsk) — pioneers in colliding beam accelerator technology.

The upgrading of the Nuclotron is full underway in Dubna: the vacuum in the ring has been basically improved; the cryogenic complex — the heart of the superconducting accelerator — has been completely upgraded. The power system has been updated; modern diagnostic equipment is being installed; a new ion source is under development. Simultaneously, the technical project of the NICA accelerator complex and the project concept are elaborated.

Several groups of highly trained specialists from different laboratories of JINR work in the NICA Centre organized within the laboratory. They are busy implementing the project of the new accelerator complex and experimental facilities. There are theoreticians, programmers, accelerator engineers, coordinators and experimental physicists among them. Deputy Director of the Laboratory of Theoretical Physics Professor A. Sorin, a co-supervisor of the NICA project, is the general leader of the Centre. RAS Corresponding Member I. Meshkov heads the activities on the

accelerator complex development. His pupil, Deputy Chief Engineer of JINR G. Trubnikov, is the leader of the Nuclotron upgrading procedure. Director of the Laboratory of High Energy Physics Professor V. Kekelidze heads the team of designers of the MPD.

The construction of modern experimental facilities is impossible without a detailed technical analysis, and the laboratory seeks to involve most qualified engineers and designers in the process. One of them, N. Topilin, has come back to Dubna from Switzerland where, working at CERN, he was responsible for the elaboration of the front-end calorimetry of the ATLAS facility at the Large Hadron Collider. Today he is chief designer of the NICA complex. It is a good sign that designers come back to Dubna. Once they left for the West when the Russian Science was in decay. In western countries their high qualification has always been in demand. And the fact that physicists and engineers return to Dubna shows that the Joint Institute for Nuclear Research has chosen the right way.

The development of an accelerator is intimately connected with the course of real-time events. Therefore, the programme for such a facility and the concept of construction elements of the complex are dynamically interrelated

дований в Дубне, качество базовых установок должны быть самыми высокими и привлекать к совместной работе всех заинтересованных партнеров.

Для участия в разработке физической программы коллайдера в Дубну на круглый стол были приглашены 82 активно работающих в области физики тяжелых ионов эксперта из самых известных ядерных центров 16 стран мира (в том числе из 6 государств-участников ОИЯИ и 4 государств, являющихся ассоциированными членами Института). Заинтересовались программой и методиками экспериментов на установке NICA и друзья-конкуренты — представители экспериментальных коллабораций ведущих крупных ускорителей, предназначенных для аналогичных исследований, — RHIC/BNL (США), SPS/CERN (Швейцария) и FAIR/GSI (Германия). Из Германии прибыла самая многочисленная иностранная делегация — 9 экспертов, в числе которых был и руководитель коллаборации CBM на установке FAIR профессор П. Зенгер.

Канвой для дискуссии за круглым столом стали тематические направления, заданные возможностями коллайдера NICA. Эксперты обсуждали общие аспекты исследования ядерной материи в экспериментах по столкновению релятивистских тяжелых ионов; новые состояния ядерной материи при высоких барионных

плотностях; локальное нарушение  $P$ - и  $CP$ -четности в горячей ядерной материи (киральная магнитная эффект); электромагнитные взаимодействия и восстановление киральной симметрии; механизмы многочастичного рождения; корреляционную фемтоскопию и флуктуации; эффекты поляризации и спиновую физику на ускорителе NICA. Исходя из физической программы уточнялись детали стратегии развития многоцелевого детектора MPD и планируемого спинового детектора SPD.

Большую активность в разработке проекта проявили родственные ОИЯИ российские и зарубежные физические институты. Активно поддержала развитие проекта NICA в Дубне и российская научная диаспора за рубежом, в том числе выходцы из Дубны. Например, Брукхейвенскую национальную лабораторию (США) в дискуссии представлял руководитель теоретического отдела лаборатории профессор Д. Харзеев. И это показатель высокого, мирового уровня заявленных дубненскими физиками и инженерами возможностей для перспективных научных исследований.

Резюмируя итоги события, можно сказать, что в отношении целесообразности и осуществимости проекта NICA в мировом экспертном научном сообществе произошли существенные, качественные изменения по

from the very beginning of the erection of this large-scale machine.

The first version of «The White Book of the NICA Project» has been issued in spring this year. It is constantly replenished with new pages and is open for everybody who wants to contribute to the project (<http://theor.jinr.ru/twiki-cgi/view/NICA/WebHome>). Its contents are actually the physics basis of the experimental programme at the accelerator complex. The fourth round-table discussion «Physics at the NICA Collider» dealt exactly with this programme. It should be kept in mind that Dubna is an integral part of the world scientific community, and it means that the research level in Dubna and the quality of the facilities must be the highest and attract all interested partners to join the work.

Eighty-two experts in heavy ion physics from most famous nuclear centres in 16 countries of the world (including those in 6 JINR Member States and 4 JINR Associate Members) were invited to take part in the round-table discussion. Representatives of experimental collaborations of leading large accelerators for the similar kind of research — our friends and rivals — RHIC/BNL (USA), SPS/CERN (Switzerland) and FAIR/GSI (Germany) also

showed interest in this programme. The delegation from Germany was the most representative — 9 experts, including the leader of the CBM collaboration at FAIR P. Zenger.

Specifications of the NICA collider were the main topic of the discussions: experts analyzed the main aspects of nuclear matter research in experiments on relativistic heavy ion collisions; new states of nuclear matter at high baryonic densities; local  $P$ - and  $CP$ -parity violation in hot nuclear matter (the chiral magnetic effect); electromagnetic interactions and restoration of the chiral symmetry; mechanisms of multiparticle production; correlation femtoscopy and fluctuations; polarization effects and spin physics at the NICA accelerator. Based on the physics programme, details of the strategy to develop the multipurpose detector MPD and the spin detector SPD were discussed.

Russian and foreign physics institutions took an active part in the elaboration of the project. Russian scientists who work abroad, including those who come from Dubna, were also eager supporters of the NICA project. For example, in the discussions the Brookhaven National Laboratory (USA) was represented by the leader of the theoretical department of the laboratory Professor D. Kharzeev. These facts demonstrate the high world-class level of advantages

сравнению с недалеким прошлым. «Мы твердо поддерживаем реализацию проекта коллайдера NICA и убеждены, что если этот проект будет реализован в планируемые сроки, то он внесет выдающийся вклад в наши знания о свойствах сверхплотной материи... Уникальная возможность реализовать проект NICA в Дубне не должна быть упущена», — пришли к мнению участники дискуссии в совместном меморандуме по итогам обсуждения.

Развитие исследований в области физики тяжелых ионов будет поддержано в ОИЯИ изданием нового научного журнала «Столкновения тяжелых ионов», первый выпуск которого появится уже в 2010 г.

Подтверждением того, что Объединенный институт ядерных исследований стал играть еще более заметную роль на международной арене, стал выбор Дубны в качестве места проведения в 2010 г. одной из самых значительных международных конференций в области тяжелоионных столкновений при высоких энергиях «Critical Point and Onset of Deconfinement» («Критическая точка и начало деконфайнмента»). Эстафету Дубне передала Брукхейвенская национальная лаборатория.

proposed by Dubna physicists and engineers for advanced scientific research.

Summing up the events, it is possible to say that the expediency and feasibility of the NICA project on the world scientific expertise level has had considerable qualitative evaluations. «We strongly support the implementation of the NICA collider project and we are sure that if the project is completed in time it will make an outstanding contribution to our knowledge about the properties of the superdense matter... The unique opportunity to put the NICA project into action in Dubna must not be missed», says the joint Memorandum on the discussion results.

A new scientific journal «Heavy Ion Collisions» will accompany the research in the field of heavy ion physics at JINR. Its first issue will be released in 2010.

Dubna has been chosen the place to hold one of most important international conferences on heavy ion collisions at high energies «Critical Point and Onset of Deconfinement» in 2010. It was the Brookhaven National Laboratory that passed the baton to Dubna.

*A. B. Зарубин, С. В. Шматов*

## Участие ОИЯИ в проекте CMS

В течение 2008–2009 гг. усилия группы ОИЯИ в эксперименте CMS [1] были сконцентрированы на техническом обслуживании, вводе в эксплуатацию и калибровках детекторов в рамках ответственности ОИЯИ за изготовление торцевого адронного калориметра (HE) [2] и камер передних мюонных станций (ME1/1) [3].

С целью получения калибровок для «первого дня работы LHC» были обработаны и проанализированы данные, набранные CMS во время различных измерений: комбинированного теста калориметрической системы CMS на пучках SPS, на космических мюонах при включенном и выключенном магнитном поле и первого сеанса на пучках LHC в 2008 г. [4]. Изучены энергетическое разрешение комбинированной торцевой калориметрии, включая адронную (HE), электромагнитную

*A. Zarubin, S. Shmatov*

## JINR Participation in the CMS Project

During 2008–2009 shutdown, efforts of the JINR group in the CMS experiments [1] have been focused on the maintenance, commissioning and calibration of the inner endcap detectors, where RDMS bears full responsibility on Endcap Hadron Calorimeters (HE) [2] and First Forward muon Stations (ME1/1) [3].

To derive the «first-day» calibration coefficients, the experimental data collected by the CMS detectors during Magnetic and Cosmic Test (MTCC) 2006, combined endcap calorimetry test beam 2007, Global Runs with and without magnetic fields, and the first LHC run (Halo Beam Data) in 2008 were processed and analyzed [4]. The energy resolution (with and without corrections) of combined endcap calorimetry, including hadron calorimeter (HE), electromagnetic calorimeter (EE) and preshower (ES), as well