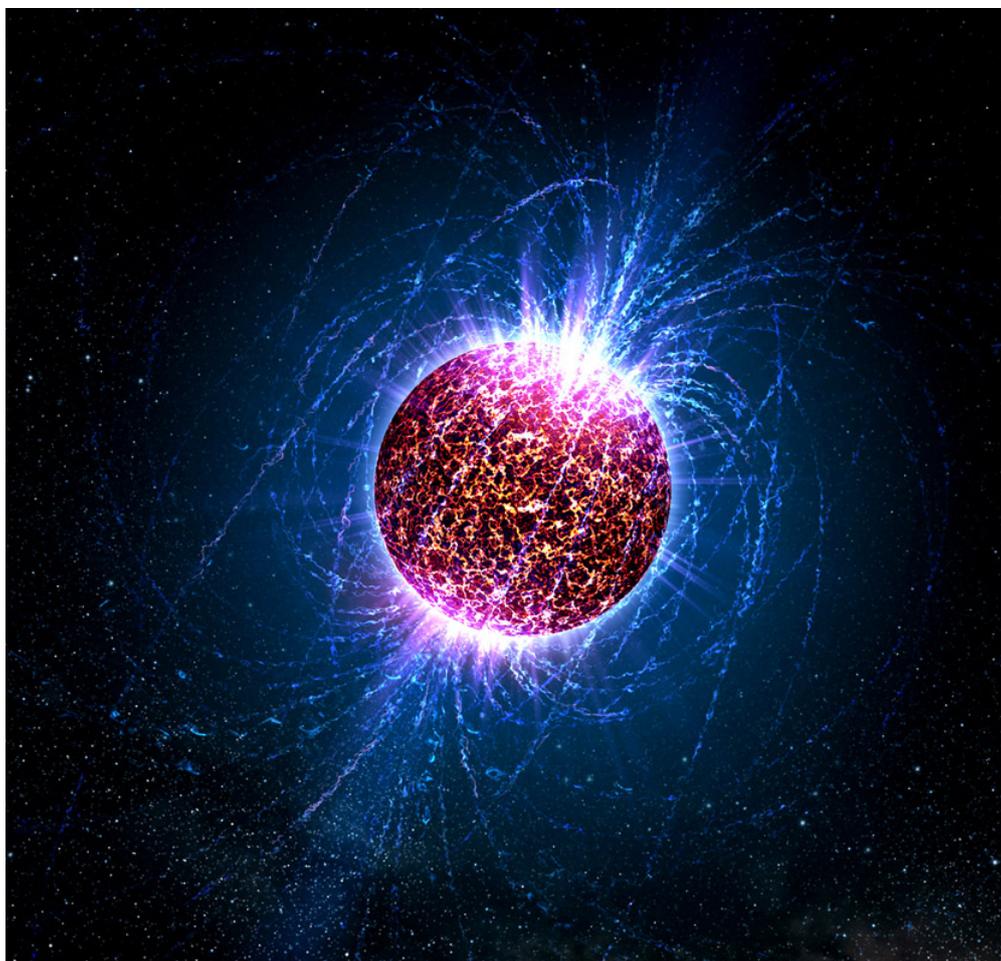




NICA — Минобрнауки РФ

## NICA: Вселенная в лаборатории

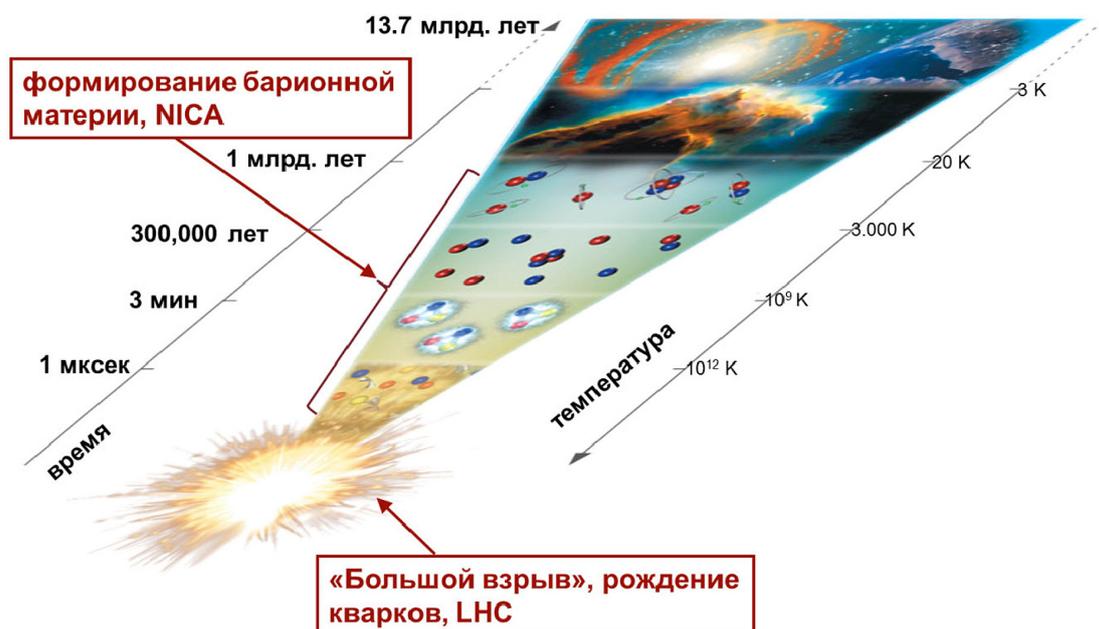
**Международный проект  
по изучению глобальной фундаментальной проблемы  
происхождения Вселенной  
и исследованию экстремальных состояний  
ядерной материи**



## Вселенная в лаборатории: проект NICA

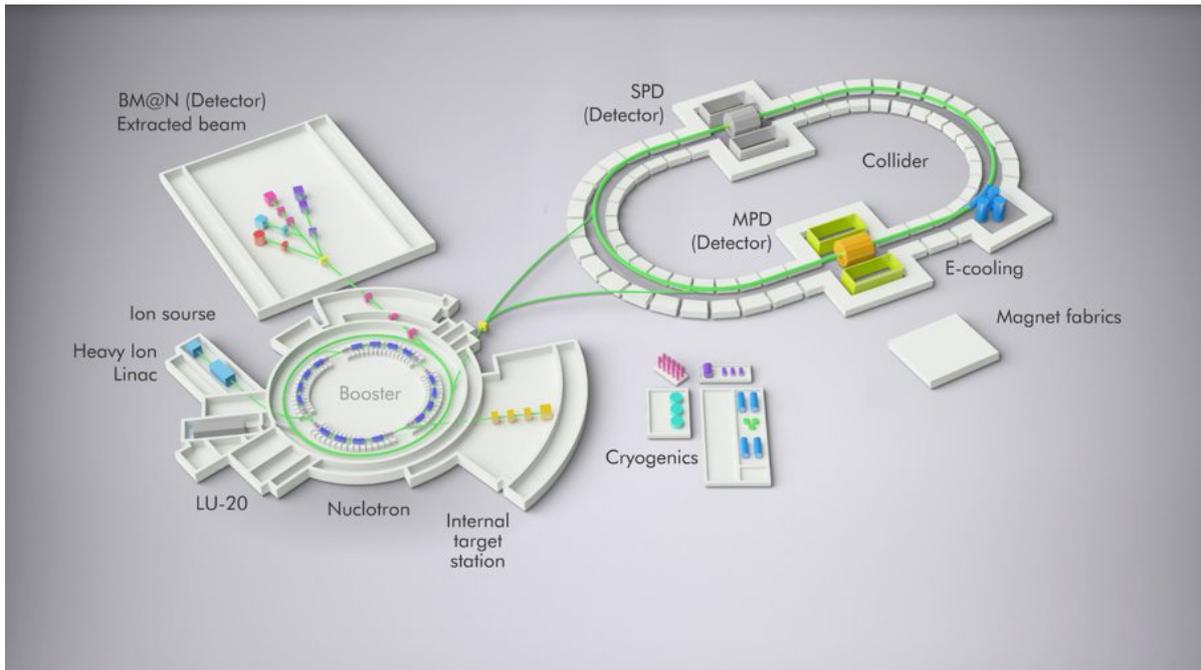
Реализуемый на территории России проект класса мегасайенс NICA\* (Nuclotron based Ion Collider fAcility) нацелен на воссоздание и исследование в лаборатории ядерной материи в экстремальных условиях, возникавших в природе на ранних стадиях эволюции Вселенной и в недрах нейтронных звезд.

Современная фундаментальная наука достаточно глубоко продвинулась в понимании законов природы, лежащих в основе нашего мира. Одним из блестящих результатов нового тысячелетия стало экспериментальное подтверждение существования бозона Хиггса, который вместе с кварками и глюонами является фундаментальным кирпичиком материи. Однако механизм формирования и эволюции Вселенной, как и ряд обнаруженных до настоящего времени особенностей окружающего нас мира, на сегодняшний день остаются «terra incognita». Все еще нерешенными проблемами являются загадки наблюдаемой иерархии масс и процесса формирования элементарных частиц из кварков и глюонов, особенности удерживающих их сил внутри адронов, а также поведение материи при экстремально высоких температурах и плотностях и ее новых состояниях, предсказываемых теорией. Эти проблемы являются базисом для понимания природы Вселенной, как в масштабах Космоса, так и в Микром мире.



Воссоздание в лабораторных условиях процессов, происходивших во Вселенной на разных стадиях ее эволюции, возможно при помощи современных ускорителей. Так, Большой адронный коллайдер (ЛНС) в ЦЕРН и коллайдер Брукхейвенской национальной лаборатории RHIC (США) сталкивают пучки частиц от протонов до тяжелых ионов с энергиями от сотен до тысяч миллиардов элек-

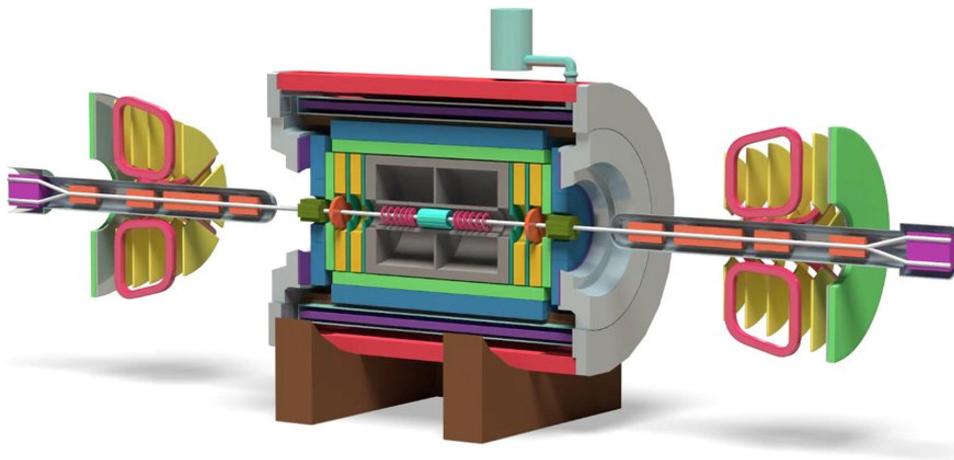
\* <http://nica.jinr.ru>



Ускорительно-экспериментальный комплекс NICA (Дубна, Россия)

тронвольт, что позволяет исследовать процессы, происходившие во Вселенной в первые мгновения ее эволюции после Большого взрыва, когда возникли кварки и глюоны — «кирпичики материи». Это состояние Вселенной — кварк-глюонная материя в процессе расширения и остывания — перешло в Мир, в котором мы живем, состоящий из протонов и нейтронов. Как кварк-глюонная материя, так и ее переход в привычный нам Мир могут быть воссозданы в экспериментах на ускорителях путем столкновения тяжелых ионов. Согласно современным представлениям, для этого необходимы не очень высокие энергии столкновения, гораздо меньшие, чем энергии Большого адронного коллайдера и RHIC, всего лишь от нескольких единиц до нескольких десятков миллиардов электронвольт!

Для проведения этих исследований в наиболее интересном диапазоне энергий сейчас создается ускорительно-экспериментальный комплекс NICA (ОИЯИ, Дубна, Россия).



Установка MPD (NICA)

Для планируемого эксперимента в Дубне создается детектор MPD. Он будет расположен в точке столкновения пучков коллайдера NICA. Это уникальная по мировым масштабам экспериментальная установка, сравнимая с детекторами на Большом адронном коллайдере в ЦЕРН. Она позволит проводить фундаментальные исследования материи с экстремальными плотностями и температурами; физики адронов; природы спина нуклона и поляризационных явлений; ядерной и атомной физики, биофизики и астрофизики.

## Мегасайенс-проект в Российской Федерации

Мегапроект «Комплекс NICA» был представлен на заседании правительственной комиссии по инновациям и высоким технологиям, проведенном Председателем Правительства Российской Федерации В.В. Путиным 5 июля 2011 года в ОИЯИ, в Дубне, и был отобран из 28 предложений в число 6 возможных проектов масштаба мегасайенс, реализуемых на территории России. Перед проведением заседания В.В. Путин смог лично ознакомиться с имеющейся в ОИЯИ базой для реализации проекта и начатыми в его рамках работами.



В. В. Путин во время посещения ускорительного комплекса Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ в июле 2011 года

Реализация проекта «Комплекс NICA» предусмотрена государственной программой Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013–2020 гг. в рамках мероприятия 4.2 «Реализация на территории Российской Федерации проектов создания крупных научных установок класса мегасайенс». Создание комплекса NICA осуществляется в г. Дубне Московской области.

Уже более 300 ученых из 70 институтов 32 стран мира участвуют в подготовке и реализации проекта NICA. С вводом в строй новых элементов ускорительного комплекса NICA будет достигнуто новое качество и число участников проекта возрастет в несколько раз. В 2013 году Технический проект NICA успешно прошел Государственную экспертизу, в 2014 году начат выпуск рабочей документации, закончена подготовка строительной площадки, в сентябре 2015 года начался 1-й этап строительных работ.

## Междисциплинарность проекта NICA

Создаваемый ускорительный комплекс будет иметь пучки ионов в широком диапазоне энергий от нескольких килоэлектронвольт до 4500 мегаэлектронвольт. Это придает ему уникальный междисциплинарный и инновационный потенциал. Так, на пучках комплекса NICA планируется создание трех исследовательских зон: низких, средних и высоких энергий, позволяющих проводить исследования по материаловедению, нано- и пикотехнологиям, медицине, биологии, электронике, программам Роскосмоса, ядерной энергетике и безопасности, криогенной и сверхпроводящей технике.

Президентом России определены пять направлений инновационного развития РФ:

- энергоэффективность и энергосбережение;
- ядерные технологии;
- космические технологии;
- медицинские технологии;
- стратегические информационные технологии.

Инфраструктура комплекса NICA позволит использовать имеющиеся пучки для инновационных и технологических работ по всем указанным направлениям в РФ и других странах-участницах ОИЯИ.

## Энергоэффективность и энергосбережение

Энергосберегающие системы и технологии проникают во все сферы жизни, не говоря уже о научных установках. Будущее современных ускорителей — это сверхпроводящие (СП) магниты.

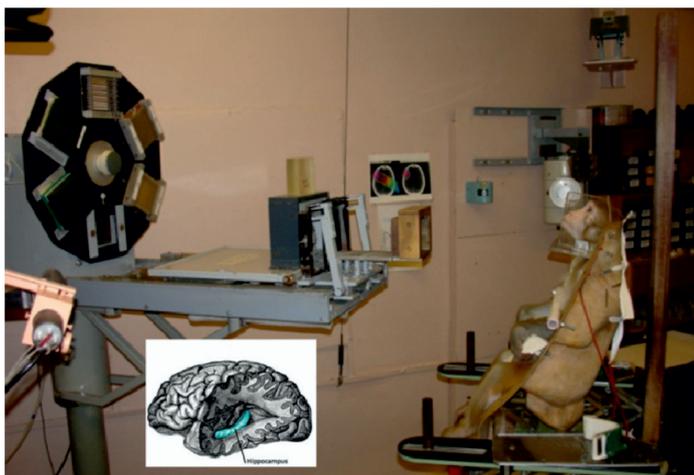
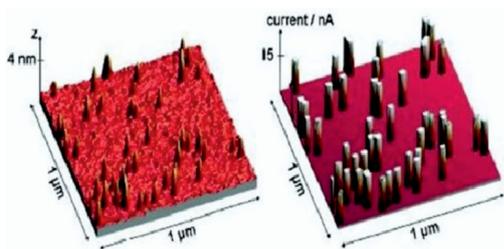
Гордостью ОИЯИ являются СП-магниты типа Нуклотрон. Они уникальны по своим параметрам и представляют интерес не только для комплекса NICA. Так, ускоритель SIS-100, создаваемый для проекта FAIR в Дармштадте, базируется на магнитах этого типа. Актуально их применение и при создании компактных промышленных ускорителей для ядерной энергетике, и в медицинских установках для радиотерапии (в том числе углеродной), использующей для создания пучков синхротроны с энергией 100–600 МэВ.

В ОИЯИ отработана методика комплексной диагностики криогенных систем, которая может быть использована в любом центре, где существуют подобные установки.

В ЛФВЭ создана уникальная методика диагностики двухфазного четырехкомпонентного потока «нефть–соль–газ–вода», позволяющая определять количественный состав указанных примесей в нефти.

Создание периодических наноструктур (отверстий  $5 \times 5$  нм), нанодиодов и др. с помощью «кулоновского взрыва» при бомбардировании ионами ксенона  $\text{Xe}^{44+}$  с энергией 10 кэВ

«Доставка» многозарядных ионов к областям клеток с точностью до 100 нм



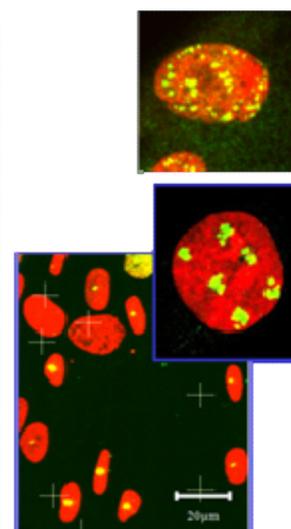
**Механизм нарушения** – повреждение глутаматэргической трансмиссии в синапсах гиппокампа: значительное уменьшение экспрессии NR1, NR2A и NR2B субъединиц глутаматэргического NMDA рецептора

Прикладные возможности пучков ионов активно используются в медицинской технике и для проведения биологических исследований

Еще одно перспективное инновационное направление связано с развитием «альтернативной энергетики». Исследования в этой области проводятся в рамках проекта «Энергия и трансмутация». В ЛФВЭ создана опытная установка, которая работает на пучке Нуклотрона. Она позволяет получать данные, необходимые для создания рабочих моделей, проектирования активной зоны промышленного реактора, переработки и утилизации отработанного ядерного топлива.



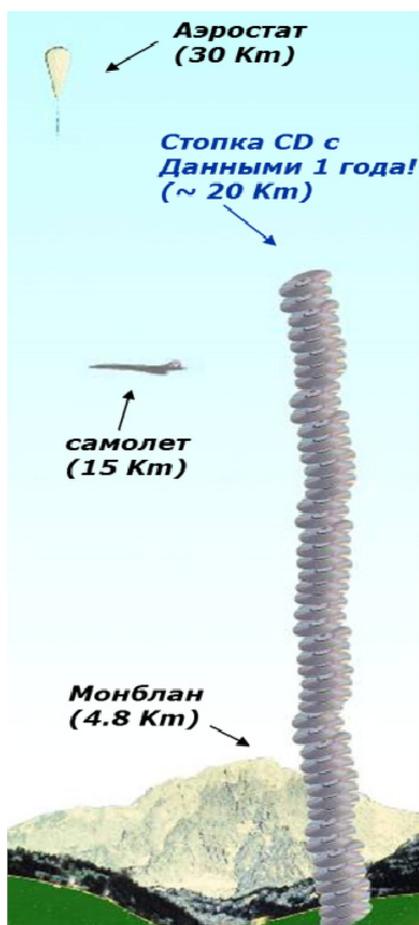
Тестирование электроники. Спутник PAMELA был оснащен электроникой, прошедшей тестирование в ОИЯИ



Программа по исследованию дальнего космоса. Справа показаны треки от тяжелых ионов (железо) на исследуемых клетках, визуализируются двунитевые разрывы ДНК

## Компьютерные технологии и образовательная среда

Проведение современных фундаментальных исследований в физике высоких энергий невозможно без создания распределенной системы передачи, обработки и хранения данных. В рамках реализации мегасайенс-проекта NICA будет создана защищенная гетерогенная информационно-вычислительная среда для коллективного использования возможностей комплекса NICA. Она должна объединить суперкомпьютерные, грид- и облачные центры, находящиеся в разных институтах и странах, с целью предоставления оптимальных подходов для решения различных типов задач.



Проекты класса мегасайенс являются идеальной площадкой для подготовки высокопрофессиональных научных и инженерно-технических кадров. При поддержке Росатома в рамках проекта FAIR (FAIR–Russia Research Center) и в рамках проекта NICA в ОИЯИ (Dubna Helmholtz Advanced Schools) проводятся регулярные зимние и летние школы для студентов и молодых ученых. За прошедшие 5 лет по этой программе получили поддержку более 40 аспирантов, сотни студентов, 40 стипендиатов.

Проект NICA выполняется на базе Объединенного института ядерных исследований в наукограде Дубна. Уже несколько десятилетий в ОИЯИ успешно работает Учебно-научный центр, в котором проходят обучение студенты и аспиранты ведущих учебных заведений России и стран-участниц ОИЯИ. В Дубне создан «университетский пояс», включающий университет «Дубна», филиалы МГУ, МИРЭА, а также кафедры МФТИ, МИФИ. Ежегодно более 400 молодых людей участвуют в школах и практиках, проводимых ОИЯИ. Около 30% участников проекта NICA моложе 35 лет.

## Международное сотрудничество

Проект NICA относится к классу мегасайенс. В его реализации заинтересованы и принимают участие ряд иностранных партнеров. Так, в проекте NICA участвуют представители 30 стран. С Германией, Китаем, США, ЦЕРН и ЮАР подписаны дополнительные соглашения. Заключены контракты со многими организациями России, Чехии, Австрии, Болгарии и Украины.

Австралия	Молдова
Азербайджан	Монголия
Армения	Польша
Белоруссия	Румыния
Болгария	Россия
Бразилия	Сербия
Вьетнам	Словакия
Германия	США
Греция	Чехия
Грузия	Украина
Индия	Узбекистан
Италия	Франция
Казахстан	ЮАР
Китай	Япония
КНДР	CERN
Куба	...



Участники проекта NICA

## Международная экспертиза

По запросу Министерства образования и науки России 17 мая 2013 года экспертная группа Евросоюза посетила ОИЯИ для ознакомления с проектом «Комплекс NICA».



19 июня 2013 года в Брюсселе состоялось заседание экспертной группы, на котором были заслушаны сообщения руководителей проекта и экспертов.

Экспертная группа высоко оценила проект, в частности, отметив: «NICA/ОИЯИ является частью общеевропейской научно-исследовательской инфраструктуры, что уже признано Европейским научным фондом. Группа экспертов рекомендует в полной мере учитывать проект NICA в ходе предстоящего обсуждения очередного обновления плана развития Европейского стратегического форума по исследовательским инфраструктурам (ESFRI)».

Мегапроект «Комплекс NICA» успешно прошел многоуровневую систему как российской, так и международной экспертизы, включая комитеты ОИЯИ, Президиум РАН и комиссии Евросоюза. «Комплекс NICA» рекомендован для включения в Европейскую исследовательскую инфраструктуру ESFRI RoadMap update 2016 и получил поддержку в рамках Европейской программы HORIZON 2020.

## Конкурентоспособность проекта NICA

В результате реализации проекта NICA будет создан уникальный, не имеющий аналогов в мире комплекс из линейных ускорителей, нескольких сверхпроводящих ускорительных колец и экспериментальных установок, основанных на самых передовых технологиях, позволяющий проводить исследования:

- на встречных высокоинтенсивных пучках ионов (вплоть до золота, Au79+) при средней светимости  $L = 10^{27} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  в диапазоне по энергии 4–11 ГэВ в системе центра масс нуклон–нуклон;
- на встречных пучках ионов разных типов;
- на встречных пучках поляризованных протонов и дейтронов (с продольной и поперечной поляризацией) со светимостью  $10^{32} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;
- на выведенных пучках от протонов до ионов золота с энергией 12,6 ГэВ (для протонов), 5,8 ГэВ (для дейтронов) и 4,5 ГэВ на нуклон для тяжелых ионов, а также на пучках поляризованных протонов и дейтронов с интенсивностью  $> 10^{10}$  частиц за цикл и энергией до 12,6 и 5,8 ГэВ соответственно;
- по multidisciplinary программам прикладных исследований на большом наборе выведенных пучков и в широком диапазоне энергий.

Создаваемый комплекс NICA обеспечит исключительные возможности для изучения горячей и плотной ядерной материи в диапазоне энергий, оптимальном для поставленной задачи.

В отличие от Большого адронного коллайдера в ЦЕРН и RHIC в Брукхейвенской национальной лаборатории (США), нацеленных на достижение максимальной энергии пучков, коллайдер NICA должен обеспечить максимальную барионную плотность возбужденной ядерной материи, возникающей в результате столкновения тяжёлых ионов.

Международная научная программа FAIR с участием России, направленная на решение сходных задач в экспериментах с фиксированными мишенями, реализуется в ускорительном центре GSI (Дармштадт, Германия).

Очевидно, что ускорительные комплексы в ОИЯИ и GSI являются, с одной стороны, конкурирующими, а с другой — взаимодополняющими как по диапазон энергии и времени запуска, так и по методике эксперимента (на выведенных и сталкивающихся пучках; коллайдерные эксперименты имеют ряд весомых преимуществ). По мнению международного сообщества и уже установившейся

практике, конкуренция независимых проектов является гарантом достоверности получаемых результатов исследований.

Актуальность и высокую значимость экспериментов в этом диапазоне энергий подтверждает и тот факт, что программа исследований на коллайдере RHIC в США предусматривает снижение энергий пучков с 200 ГэВ до 5 ГэВ на нуклон.

Все это позволяет России на равных правах участвовать в формировании единой программы исследований с пучками тяжёлых ионов и поляризованных частиц высоких энергий и создает благоприятную среду для её естественного интегрирования через международный научный центр — ОИЯИ — в мировую научно-исследовательскую инфраструктуру.

## Экспертиза в Российской Федерации. Заседание Президиума РАН

На заседании Президиума РАН 8 апреля 2014 года рассматривалось научное сообщение «Исследования ядерной материи на коллайдерах тяжелых ионов», представленное профессором В. Д. Кекелидзе (Объединенный институт ядерных исследований).

**В.Е.ФОРТОВ, академик, Президент РАН:**

*Мне хочется сказать, что Академия наук стояла у истоков этих проектов. Я убежден, что мы, конечно же, должны поддержать этот проект, потому что он удовлетворяет всем мыслимым и необходимым критериям, которые прилагаются к таким масштабным проектам.*

*Здесь много было сказано о прикладных вещах. Я хочу буквально два слова добавить к этой части.*

*Эта установка даст возможность проводить опыты с так называемой электромагнитной плазмой очень интересных параметров.*

*Это направление получения термоядерной энергии в последнее время имеет большое развитие... Тут возникают разного рода инженерные проблемы, которые решить обычным подходом, используя лазеры, не удастся... Такого рода ускорители создают инженерную основу для драйверов — систем, которые питают электростанцию. Оказывается, что эта технология обладает очень большим коэффициентом полезного действия и ресурсом. И это одно из интересных предложений.*

*Когда это произойдет, никто не знает. Эти опыты, наряду с фундаментальными вещами, которые, конечно, являются самыми главными, готовят технологическую базу и для термояда. Это будет работать.*

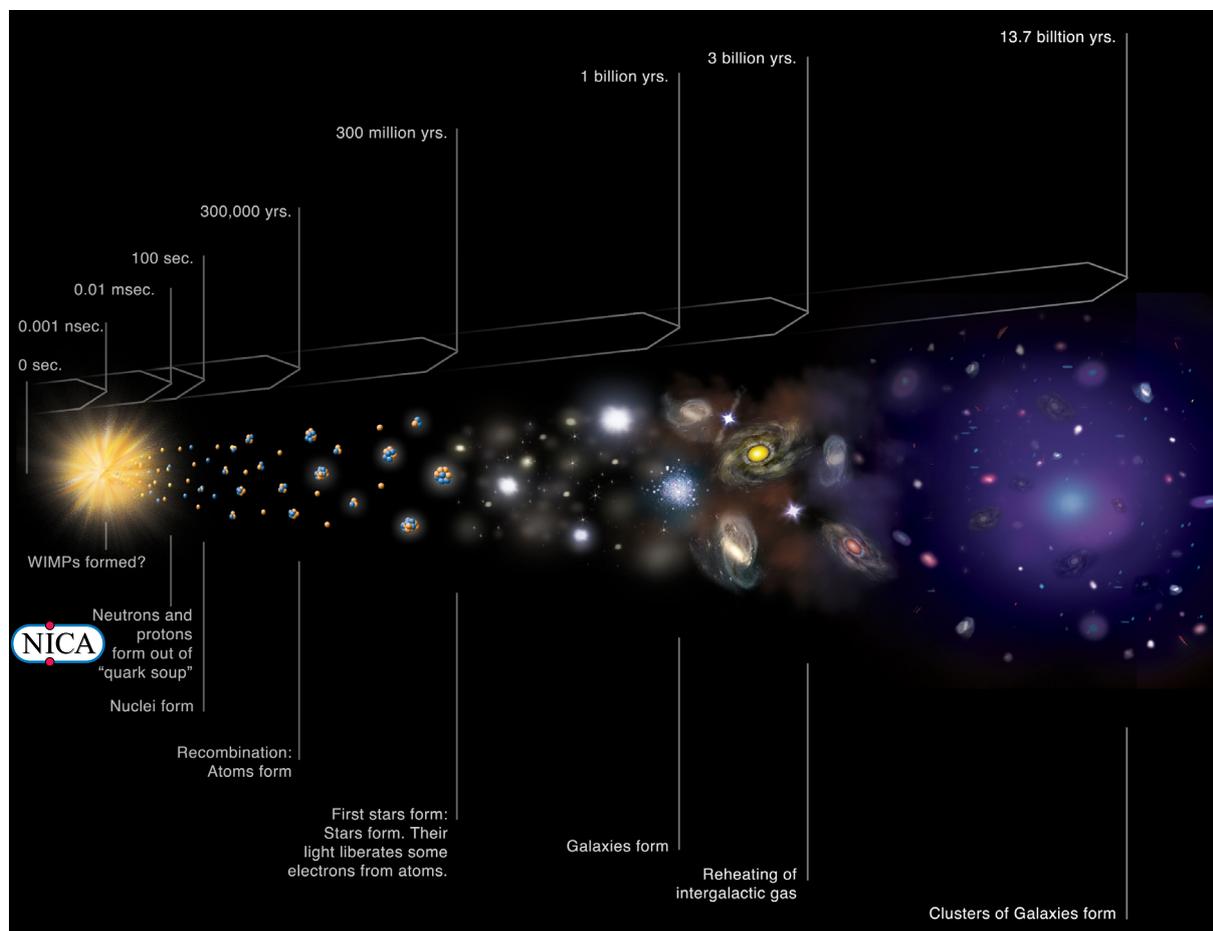
*Думаю, это общее мнение. Мы поддерживаем эти работы.*



## Почему нужна NICA? В чем интерес к ней у различных отраслей науки и экономики, а также слоев общества?

### Для государства NICA — это:

- создание уникального комплекса фундаментальных и прикладных физических исследований мирового уровня, подобного которому в России не было в последние 30 лет;
- создание потенциала открытий нобелевского уровня в исследованиях на комплексе NICA в области физики экстремальных состояний ядерного вещества и спиновой структуры ядерной материи;
- престиж России как страны, развивающей фундаментальную науку на переднем крае;
- привлечение в Россию ученых со всего мира;
- создание более двух тысяч новых рабочих мест для научных сотрудников и инженеров высшей квалификации;



— консолидация лучших научно-исследовательских институтов, университетов и научных школ страны (НИЦ, ФАНО, РАН, МГУ, СПбГУ, МИФИ, Росатом, Ростех, Роснано, Сколково и др.) в качестве полноправных партнеров вокруг мегасайенс-проекта на территории России в ОИЯИ;

— освоение и развитие уникальных критических технологий в рамках стратегии импортозамещения, укрепления безопасности страны (интеллектуальной и технологической);

— обеспечение баланса интересов (и интеллектуального обмена) в развитии международной кооперации при реализации международных мегапроектов на базе зарубежных научных центров и на территории Российской Федерации.

### **Для научного сообщества NICA — это:**

— получение новых знаний в исследовании фундаментальных законов природы на переднем крае современного естествознания;

— приближение к разгадке происхождения и формирования ядерного вещества (барионный генезис) на ранних стадиях эволюции Вселенной после Большого взрыва;

— ответы на вопросы о происхождении и природе нейтронных звёзд;

— изучение принципиально новых состояний ядерной материи и взаимопревращение адронной и кварк-глюонной фаз вещества (фазовые переходы и критические точки);

— ответы на вопросы о природе спина нуклонов и понимании динамики взаимодействия фундаментальных составляющих нуклонов: кварков и глюонов.

### **Для высокотехнологичной промышленности NICA — это актуальный запрос на развитие:**

— нового поколения метрологии с точностями измерения 1 микрон, в том числе при криогенных температурах до 4 К;

— технологии производства и использования высокотемпературных сверхпроводящих материалов;

— культуры и производства оборудования на основесверхвысоковакуумных технологий:  $10^{-11}$  Торр ( $10^{-9}$  Па),

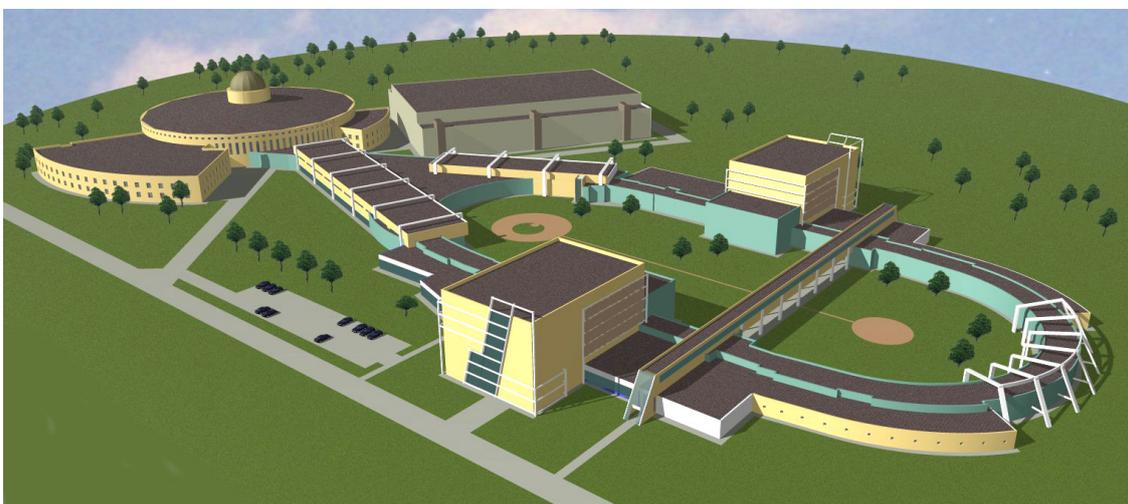
— нанесения тонкопленочных покрытий (графен, ниобий, арсениды и нитриды);

— отечественной нанолитографии ( $\lambda = 13$  и  $6,5$  нм) и новой электроники, способной распознавать траектории и объекты (образы) с точностью на уровне фемтометров и пикосекундным временным разрешением;

— сверхвысокочастотного высокомошного оборудования (СВЧ-приборы большой мощности).

**Для индустрии и тяжелой промышленности (металлургия, химическое производство, тяжелое машиностроение) NICA — это создание:**

- специальных плавков для изготовления сверхпроводящих магнитов и криостатных оболочек коллайдера;
- металлических тонкостенных многослойных оболочек, выдерживающих перепады давления в 10–12 атмосфер;
- крупных сверхпроводящих устройств (до 7–8 метров в диаметре);
- специальных сплавов и новых технологий сварки различных металлов (сталь, медь, титан, ниобий, вольфрам и др.);
- новейших полимерных материалов с высокой механической и радиационной стойкостью, работающих при температурах жидкого гелия.



**Для IT индустрии NICA — это заказ на создание и развитие в самое ближайшее время:**

- хранилищ данных на 20–50 Тбайт;
- гетерогенного суперкомпьютерного центра с производительностью на уровне ~0,1–1 Петафлопс;
- высокоскоростных каналов передачи данных с пропускной способностью >100 Гбайт/с;
- облачных технологий и прочих технологий BigData.

**Для университетов участие в проекте и в создании Российского центра коллективного пользования на базе комплекса NICA — это:**

- возможность стать пользователем уникального оборудования в лабораториях по материаловедению, наноэлектронике, computer science, радиационным исследованиям и ядерным технологиям, в том числе с использованием облучений на пучках протонов, нейтронов, легких и тяжелых ионов;

— огромный потенциал бакалаврских и магистерских работ (до сотен в год), в перспективе защита диссертаций с присуждением научных степеней советом ОИЯИ;

— возможность соавторства в научных публикациях в самых престижных реферируемых журналах (десятки в год);

— организация целевых выборов, научно-исследовательская и инженерная практика по самым приоритетным научным и техническим направлениям.

**Для учащихся и всех интересующихся NICA — это возможность приобщиться к высокой науке и технике, посещая:**

— с экскурсиями комплекс коллайдера, экспериментальные установки с детекторами частиц и излучений, в том числе инновационные установки;

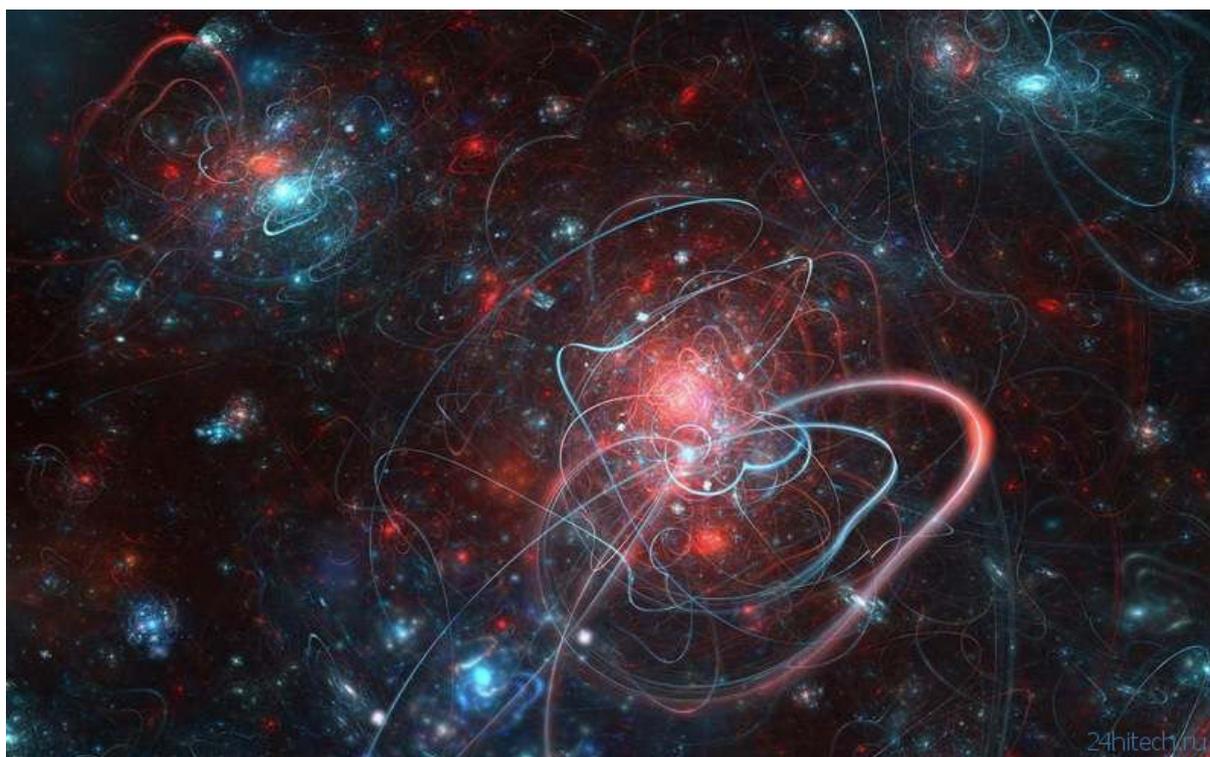
— публичные лекции и технологические выставки типа «экспериментариум» в ОИЯИ;

— виртуальный сайт проекта NICA с инфографикой.

**Для инвестиционных государственных и частных компаний в области инноваций NICA интересна уже имеющимися и развиваемыми know-how и экспериментальной базой:**

— ускорители и каналы для протонной и углеродной пучковой терапии онкологических заболеваний (центр радиационной медицины);

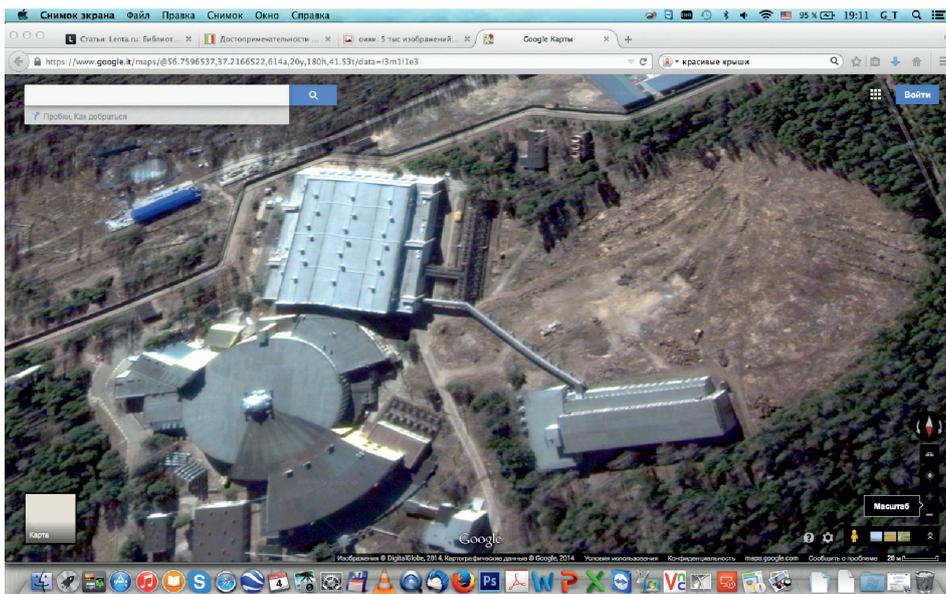
— крупнейший в России ожижительный гелиевый комплекс — для НИОКР и испытания больших криогенных систем, в т.ч. для транспортировки сжиженного газа;



- уникальный технологический завод по разработке и испытанию оборудования, использующего традиционные и высокотемпературные сверхпроводники;
- проведение радиобиологических исследований для длительных космических экспедиций на другие планеты;
- комплекс ускорителей для исследования радиационной стойкости космических и спутниковых систем.

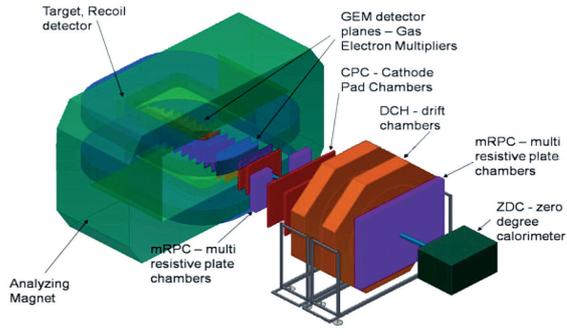
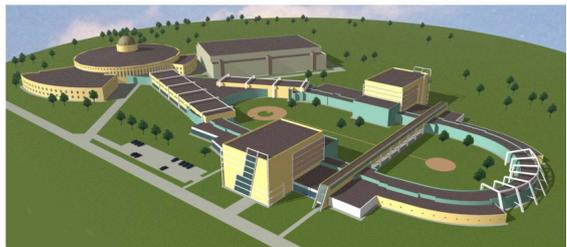
## Что такое проект NICA и почему он лучше других?

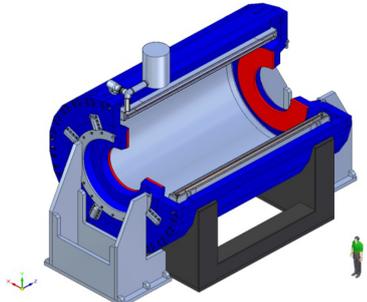
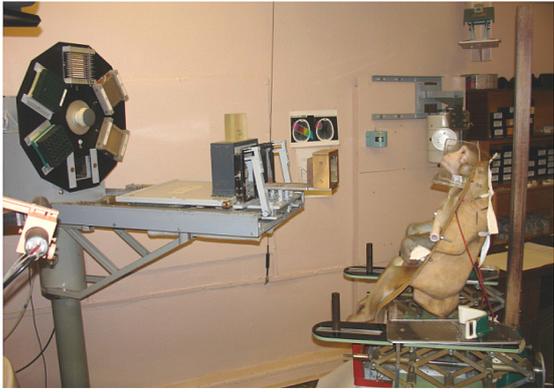
- NICA — это проект создания в Дубне на территории России уникального сверхпроводящего коллайдера с пучками тяжелых ядер экстремальной плотности усилиями международного научного сообщества (70 научно-исследовательских организаций из 24 стран мира).
- Изучение свойств сверхплотной и горячей ядерной материи, состоящей из кварков и глюонов, динамики фазовых переходов и критических явлений, обладает высоким потенциалом открытий. Возможности коллайдера NICA (высокая светимость в самом интересном диапазоне энергий) недоступны другим центрам мира.
- Масштаб проекта NICA задает высочайшую планку для развития самых современных инженерных и электронных систем. График сооружения проекта подразумевает 2 фазы: стартовая версия и набор данных — в 2020 году, а затем полномасштабная версия с максимальной светимостью в самом широком диапазоне энергий — в 2023 году.
- За последние 30 лет это — крупнейшая физическая установка, создаваемая в России, такой проект необычайно привлекателен для самых ярких отечественных и иностранных инженеров, ученых, политиков.



nica.jinr.ru

## Пусковые объекты комплекса NICA (до 2018 года)

Год	Установка	Финансы, млн руб.		
		ОИЯИ	Мега-проект РФ	
2017	<p><b>Запуск установки Baryonic Matter at Nuclotron (BM@N)</b></p> <p>Позволит начать программу фундаментальных исследований на комплексе NICA по изучению свойств плотной ядерной материи в условиях, недоступных на других ускорительных центрах мира.</p>	340	748	
2017	<p><b>Запуск Бустера (Booster)</b></p> <p>Обеспечит пучки тяжелых ионов с уникальными характеристиками для установки BM@N и коллайдера NICA.</p>	1432		
2018	<p><b>Экспериментальный павильон MPD с необходимой инженерной инфраструктурой</b></p> <p>Позволит разместить уникальную по характеристикам многоцелевую установку MPD, нацеленную на изучение свойств ядерной материи с максимальной плотностью, недостижимой в других научных центрах мира.</p>		580	

Год	Установка	Финансы, млн руб.		
		ОИЯИ	Мега- проект РФ	
2018	<p><b>Сверхпроводящий соленоидальный магнит</b></p> <p>Уникальный по масштабам и характеристикам магнитного поля базовый элемент установки MPD.</p>	400	1100	
2018	<p><b>Выведенные пучки для прикладных исследований</b></p> <p>Обеспечат тесты электроники для космических объектов; медико-биологические пучки. Набор этих пучков (от протона до золота) с энергиями 1–13 ГэВ недоступен в европейских ускорительных центрах.</p>		870	
2018	<p><b>Информационно-вычислительный центр комплекса NICA</b></p> <p>Обеспечит накопление, обработку и анализ петабайтных объемов данных, поступающих с экспериментов комплекса NICA.</p>	60	520	
2018	<p><b>Центр коллективного пользования NICA с конференц-холлом</b></p> <p>Обеспечит размещение базового элемента информационно-вычислительного комплекса, лабораторных помещений для прикладных исследований и офисов для ученых из России, стран-участниц ОИЯИ и др. стран. В конференц-холле будут проводиться международные конференции уровня В и С.</p>		760	