



Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

Основные направления исследований и работ: Установки со встречными электрон-электронными и электрон-позитронными пучками, Физика элементарных частиц и атомного ядра, Физика ускорителей, Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез, Генерация и применение пучков синхротронного излучения, Мощные лазеры на свободных электронах, Промышленные ускорители электронов, Теоретическая физика.

Решение о создании Института было принято в **1958 году**. Это третий институт, построенный в Новосибирском Академгородке, всего за два года – в **1960 году**. Создатель ИЯФа **Герш Ицкович Будкер**, при поддержке Курчатова. С начала 1960-х годов Будкер активно занимается реализацией метода встречных пучков, в **1964 году в ИЯФ** захвачен первый пучок в накопитель **ВЭП-1**, а в 1967 году коллектив института получает Ленинскую премию за эксперименты на встречных пучках. В дальнейшем в институте для экспериментов по физике элементарных частиц строятся коллайдеры ВЭП-2, ВЭП-2М, ВЭП-4. В 1965 году Будкер впервые предлагает концепцию электронного охлаждения пучков протонов и ионов — метод, применяемый сейчас во многих лабораториях, работающих с тяжёлыми ионами...



Сегодня ИЯФ СО РАН – один из крупнейших академических институтов страны: к концу 2021 года он насчитывал **2842** сотрудника, из которых **860** человек непосредственно ведут исследовательскую деятельность. Среди **371** научного сотрудника Института – **6** академиков и **5** членов-корреспондента РАН, **64** доктора и **186** кандидатов наук. Особенностью ИЯФ является наличие крупного экспериментального производства (чуть менее 700 человек) с высоким уровнем технического и технологического оснащения.



Одновременно ИЯФ является базовым для 6-ти кафедр в НГУ и НГТУ (до 130 студентов и 81 аспирант), а также ведет работу по подготовке научных и инженерно-технических кадров.

ИЯФ СО РАН - один из ведущих мировых центров по ряду областей физики высоких энергий и ускорителей, физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза. Подробнее об Институте участники ВНКСФ-28 смогут узнать в самом начале программы визита, который состоится в период с **1 по 6 апреля 2024 года**.

Основу исследовательской инфраструктуры Института составляют **уникальные научные установки и стенды (УНУ)**. С их использованием выполняется большинство научных проектов Института, проводится большое количество совместных исследований с ведущими российскими и международными научными организациями. На базе УНУ работают три центра коллективного пользования (ЦКП).

В ходе визита участники ВНКСФ смогут ознакомиться с основными из них:

- УНУ Комплекс ВЭП-4 – ВЭП-2000
- УНУ Комплекс длинных открытых ловушек - ДОЛ (в т.ч. плазменные установки ГОЛ, ГДЛ)
- УНУ Протонный ускоритель Тандем-БНЗТ
- ЦКП Центр Синхротронного и Терагерцового Излучения (бункер СИ).

Адрес: г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 11, **сайт:** <https://inp.nsk.su/>

УНУ «Комплекс ВЭПП-4 – ВЭПП-2000»

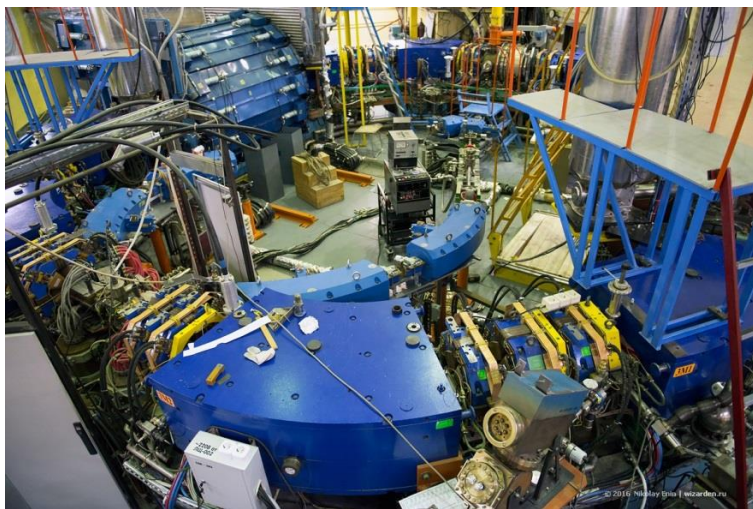
Основные направления научных исследований:

- физика высоких энергий, физика пучков заряженных частиц, синхротронное излучение;
- физика и техника ускорителей заряженных частиц, разработка детекторов и развитие методов регистрации частиц и излучений.

Комплекс ВЭПП-4 – ВЭПП-2000 является единственным в России комплексом установок со встречными пучками. Комплекс включает в себя электрон-позитронные коллайдеры ВЭПП-4М с детектором частиц КЕДР и ВЭПП-2000 с детекторами КМД и СНД, многофункциональный накопитель электронов/позитронов ВЭПП-3 и инжекционный комплекс, предназначенный для производства пучков позитронов и электронов высокой интенсивности.



В детекторе КЕДР впервые в мире реализована идея практически гомогенного электромагнитного калориметра на основе сжиженного криптона. Физико-технические параметры комплекса позволяют осуществлять постановку экспериментов, уникальных не только для России, но и для всего мирового сообщества. Полученные результаты и разработанные методы находят широкое применение в научно-исследовательских организациях в России и в мире. Измеренные с рекордной точностью массы элементарных частиц используются для описания фундаментальных свойств материи и, таким образом, являются важной информацией для мирового научного сообщества.



Кроме физики высоких энергий, на комплексе проводятся эксперименты с использованием синхротронного излучения, выведенного из установок ВЭПП-3 и ВЭПП-4М. Например по исследованию свойств материалов, наноструктур, взрывных процессов, каталитических реакций, биологических объектов. Результаты этих экспериментов имеют как фундаментальное, так и прикладное технологическое применение.

Также продолжают эксперименты по ядерной физике на внутренней газовой мишени, представляющей собой рекордную по интенсивности струю газа (дейтерия или водорода), вводимую непосредственно в вакуумную камеру накопителя ВЭПП-3. Управляя поляризацией атомов газ-мишени, и изучая рассеяние пучка электронов на такой мишени, можно получить уникальную информацию о структуре и свойствах протона. В настоящее время такие эксперименты невозможны ни на одном другом циклическом ускорителе мира.

УНУ Комплекс длинных открытых ловушек - ДОЛ (в т.ч. плазменные установки ГОЛ, ГДЛ)

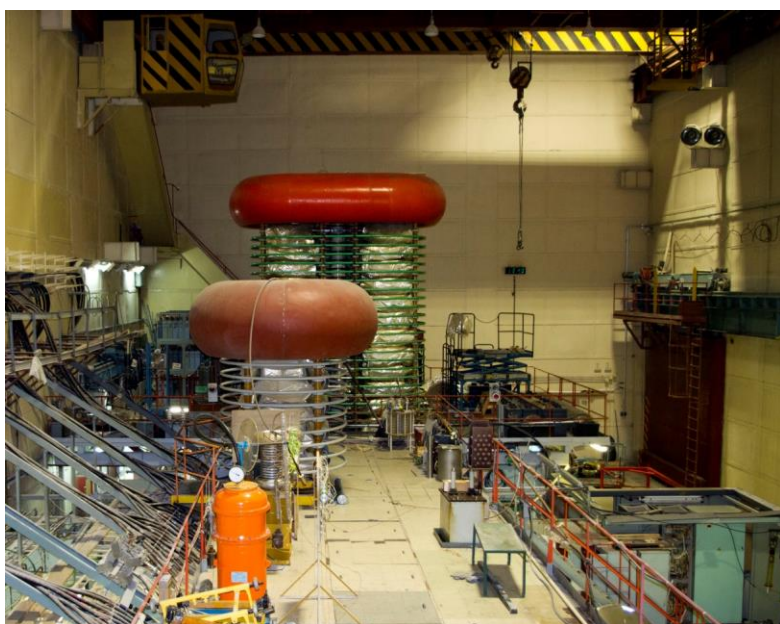
Одним из возможных решений энергетической проблемы считается **управляемый термоядерный синтез (УТС)** – энергия, получаемая при слиянии легких ядер. Наибольшие успехи в этой области достигнуты в установках с магнитным удержанием горячей плазмы. На европейской установке **JET** и японской **JT-60U** еще в 1990-х гг. было достигнуто термоядерное энерговыделение, превышающее затраты на создание и нагрев плазмы, строится опытная установка **ИТЭР** во Франции. Но остается актуальным вопрос – на основе какой системы с магнитным удержанием строить коммерческий термоядерный реактор. Сейчас наиболее развито направление **токамаков**, но и альтернативные системы обладают рядом достоинств и смогут его вытеснить, или сосуществовать с ним.



ИЯФ СО РАН занимается одним из альтернативных направлений – **открытыми ловушками для удержания плазмы**. Работа проводится на уникальной экспериментальной базе: «Комплекс ДОЛ» (Длинные Открытые Ловушки). Это инфраструктурный комплекс, в состав которого входят несколько специализированных электрофизических установок, предназначенных для создания физической базы знаний, необходимых для сооружения термоядерного реактора на основе открытой ловушки, и для развития сопутствующих перспективных плазменных технологий. Установки комплекса ДОЛ могут использоваться совместно или по самостоятельным программам исследований и проходят регулярную модернизацию.

В настоящее время в состав УНУ «Комплекс ДОЛ» входят следующие электрофизические установки:

- установка **ГДЛ** (работает с 1986 г., существенно реконструирована в 2005 и 2015 годах), которая относится к классу открытых ловушек и служит для удержания плазмы в магнитном поле и является первой и наиболее успешной газодинамической ловушкой;
- установка **“Гофрированная Ловушка” (ГОЛ-3)** относится к классу открытых ловушек для удержания субтермоядерной плазмы во внешнем магнитном поле. Нагрев плазмы на установке осуществляется при помощи инъекции релятивистских электронных пучков в предварительно созданную дейтериевую плазму.



На установке проводятся эксперименты по физике удержания плазмы в открытых магнитных системах, физике коллективного взаимодействия электронных пучков с плазмой, взаимодействию мощных плазменных потоков с материалами, а также отработке плазменных технологий для научных исследований.

Хотя сейчас наиболее близки к реакторным параметрам токамаки (у них больше температура и время удержания), благодаря ГОЛ-3 многопробочные ловушки тоже

рассматриваются как вариант термоядерного реактора. Плотность плазмы в ГОЛ-3 в тридцать раз выше, чем в среднем у токамаков (плотность плазмы в JET $5 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$), и, в отличие от токамаков, нет ограничений по давлению плазмы... Сейчас неизвестно ни одной причины, которая принципиально бы ограничивала рост основных термоядерных параметров (n , T и время удержания) в многопробочных ловушках. Главная задача, стоящая перед коллективом установки ГОЛ-3, это разработка концепции многопробочного термоядерного реактора и последующая экспериментальная проверка основных положений этой концепции.

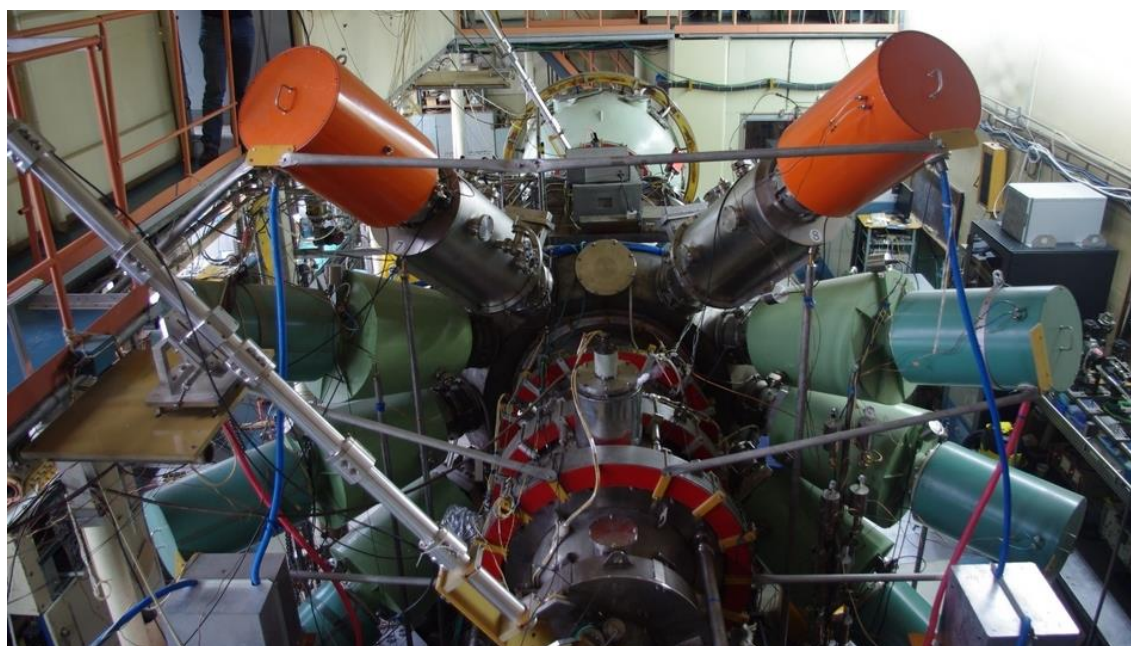
- установка ГОЛ-NB (создана в 1986 г, первая плазма получена в 2018 г.), которая впервые объединяет центральную газодинамическую ловушку и секции с многопробочным магнитным полем, уменьшающие потери плазмы;



- установка СМОЛА (работает с 2017 г.) – первая ловушка с геликоидальными пробками, в которой исследуется новая идея активного управления плазменным потоком;

- установка КОТ (запуск в 2020 г.), на которой будет исследоваться физика формирования и удержания компактного тороида с предельно высоким относительным давлением плазмы;
- установка ГОЛ-ПЭТ (работает с 2015 г.), в которой разрабатываются новые технологии генерации мощного электромагнитного излучения терагерцового диапазона в плазменной системе с сильноточным релятивистским электронным пучком;
- установка ЭЛМИ (работает с 1998 г., реконструирована в 2012 г.), предназначенная для разработки технологий генерации электромагнитного излучения микроволнового и терагерцового диапазонов в вакуумной системе с сильноточным релятивистским электронным пучком;
- конденсаторная батарея с энергозапасом до 25 МДж, предназначенная для импульсного питания магнитных систем установок комплекса;
- стенды для отладки мощных инжекторов пучков ускоренных атомов водорода, используемых для нагрева и диагностики плазмы.

Этот комплекс пучково-плазменных установок является уникальным объектом научной инфраструктуры Российской Федерации. Установки комплекса не имеют аналогов в нашей стране.



УНУ Протонный ускоритель Тандем-БНЗТ



Бор-нейтронозахватная терапия – перспективная методика терапевтического лечения злокачественных опухолей путём накопления в них стабильного изотопа бор-10 и последующего облучения нейтронами. В результате поглощения нейтрона бором происходит ядерная реакция с большим выделением энергии именно в той клетке, которая содержала ядро бора, что приводит к ее гибели.

В Институте ядерной физики СО РАН предложен и создан ускорительный источник нейтронов **VITA**, состоящий из

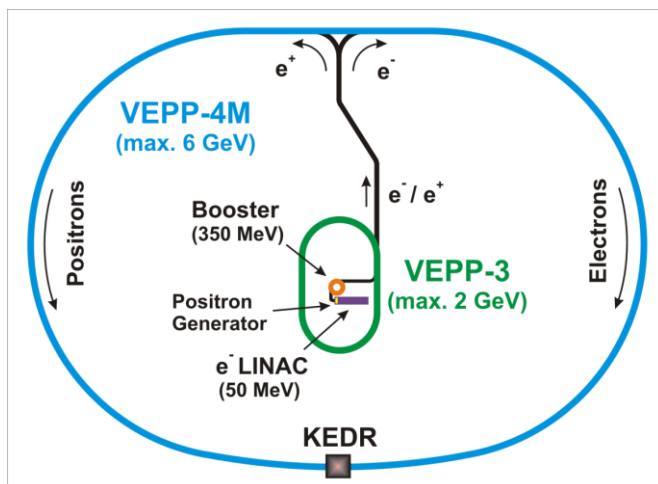
тандемного электростатического ускорителя заряженных частиц оригинальной конструкции, названный со временем ускорителем-тандемом с вакуумной изоляцией, для получения стационарного пучка протонов с энергией до 2,3 МэВ, током до 10 мА, литиевой мишени для генерации нейтронов в реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ и системы формирования пучка нейтронов для получения терапевтического пучка эпитепловых нейтронов, в наибольшей степени удовлетворяющего требованиям БНЗТ.

Ускорительный источник нейтронов VITA на площадке ИЯФ СО РАН активно используют для развития методики БНЗТ, включая тестирование новых препаратов адресной доставки бора, разработку средств и методов дозиметрии, лечение домашних животных со спонтанными опухолями. Также на установке проводят радиационное тестирование и модификацию перспективных материалов, в том числе для ИТЭР и ЦЕРН, разрабатывают литий-нейтронозахватную терапию, привносящую новое качество – 100 % выделение энергии в клетках опухоли, измеряют сечение ядерных реакций, получают пучок холодных нейтронов для нейтронографии и пр.

Второй ускорительный источник нейтронов VITA поставлен в БНЗТ клинику г. Сямынь (Китай), в которой с 9 октября 2022 г. приступили к лечению больных. Благодаря этому Китай стал второй страной в мире, внедрившей методику БНЗТ в клиническую практику. Следующие ускорительные источники нейтронов VITA для Национального медицинского исследовательского центра онкологии им. Н.Н. Блохина в Москве.



ЦКП Центр Синхротронного и Терагерцового Излучения (бункер СИ)



Российский научный центр для проведения исследований с использованием синхротронного и терагерцового излучений. Основан в 1981 году на базе лабораторий ИЯФ СО РАН.

В центре исследуются и разрабатываются новые технологии с применением синхротронного излучения (СИ) накопителей ВЭПП-3 и ВЭПП-4М, для работы с синхротронным излучением здесь изготавливается экспериментальное оборудование: рентгеновская оптика, детекторы, экспериментальные станции,

каналы, монохроматоры. В центре создают излучающие устройства: ондуляторы, вигглеры, а также ускорители (специализированные источники синхротронного излучения), лазеры на свободных электронах.

Проводятся международные конференции, обучение и профессиональная стажировка студентов и аспирантов.

Работы с использованием СИ начались в ИЯФ СО РАН в 1973 году на базе накопителей ВЭПП-2 и ВЭПП-3. Сам центр СИ был создан постановлением Президиума СО АН СССР 1 декабря 1981 года.

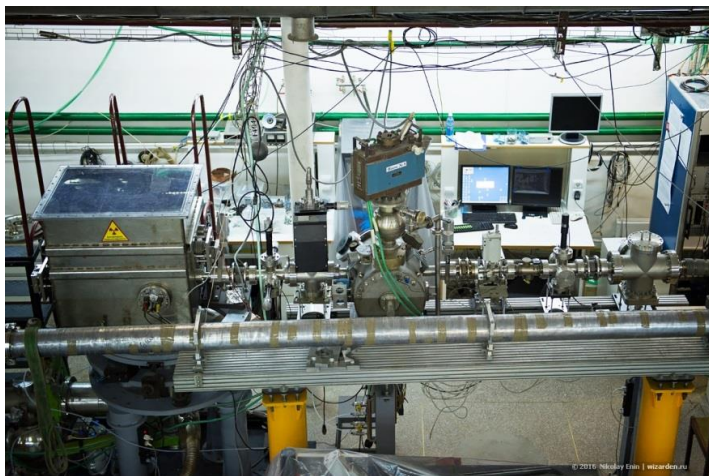
Для Курчатовского института в 1978—1999 годы были разработаны и построены специализированные источники Сибирь-1 и Сибирь-2, а также аналогичный ускорительный комплекс (ТНК) для НИИ физических проблем им. Ф. Лукина в Зеленограде. В 1997 году сотрудники центра предложили новую концепцию источника синхротронного излучения четвёртого поколения на базе микротронов-рекуператоров — MARS, данная концепция получила мировое признание.

В 2005 году научный центр получил новое имя — Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения (СЦСТИ)[8] в связи с началом работы первой очереди Новосибирского ЛСЭ. С 2016 года ведётся разработка источника СИ новейшего поколения 4+, получившего название СКИФ — Сибирский кольцевой источник фотонов.

Действующие пользовательские станции СИ

ВЭПП-3 - электронный синхротрон с энергией 2 ГэВ и станции на нём

- LIGA-технология и рентгеновская литография
- "Взрыв" – субмикросекундная диагностика
- Прецизионная дифрактометрия и аномальное рассеяние
- Локальный и сканирующий рентгенофлуоресцентный элементный анализ
- Дифрактометрия в жестком рентгеновском излучении
- Рентгеновская микроскопия и микротомография
- Дифракционное "кино" (дифрактометрия с временным разрешением) и малоугловое рассеяние
- Люминесценция с временным разрешением
- Прецизионная дифрактометрия

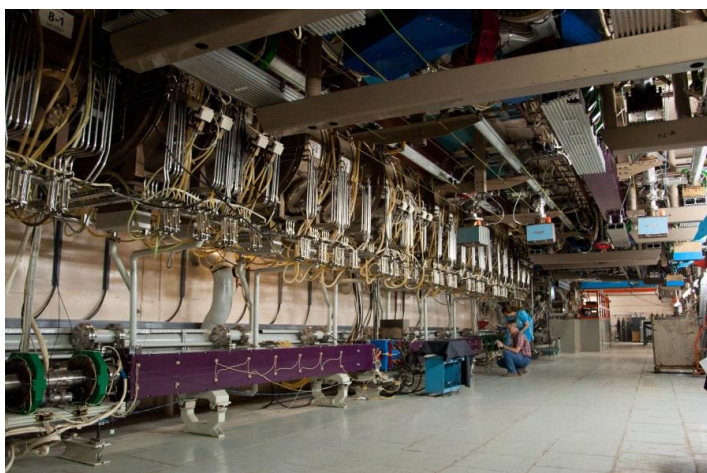


- EXAFS-спектроскопия
- Метрология и EXAFS-спектроскопия в мягком рентгеновском диапазоне

ВЭПП-4М - электронный синхротрон с энергией 4.5 ГэВ, и станции на нём:

- Метрологическая станция «КОСМОС»
- «Детонация» на ВЭПП-4
- Прецизионная дифрактометрия и рефлектометрия
- Жёсткая рентгеноскопия
- Плазма

Новосибирский лазер на свободных электронах - источник терагерцового и инфракрасного излучения. Действующие станции



- Станция физико-химических и биологических исследований
- Метрологическая станция ЛСЭ
- Станция молекулярной спектроскопии
- Химическая станция и другие

Каждая станция Центра является сложной уникальной установкой, разработанной и созданной в ЦКП СЦСТИ. За последние годы большинство экспериментальных станций было модернизировано для расширения их возможностей и создания условий выполнения исследований на

современном мировом уровне или выше. Продолжается также завершение создания нескольких новых станций.

