

Институту ядерной физики — 65 лет!



В мае 1958 года на базе Лаборатории новых методов ускорения Института атомной энергии в Москве, возглавляемого И. В. Курчатовым, в новосибирском Академгородке был создан Институт ядерной физики СО АН СССР.

Основателем и первым директором института стал Герш Ицкович Будкер. 1 мая 2023 года исполнилось 105 лет со дня рождения академика Будкера.

Поздравляем ияфовцев с этими знаменательными датами в истории нашего института!

Пучок в линаке СКИФ ускорен до 30 МэВ

Специалисты ИЯФ смонтировали и запустили первую очередь линейного ускорителя будущего источника синхротронного излучения СКИФ. После «тренировки» первой очереди ускорителя специалистам удалось ускорить пучок электронов до энергии 30 МэВ. Проектные параметры линейного ускорителя в составе всего комплекса — 200 МэВ, на них он выйдет в 2024 году, но уже сейчас можно говорить о том, что они будут достигнуты.

Линейный ускоритель (лиinak) — одна из основных частей ускорительного комплекса СКИФ. Именно в линаке формируется пучок электронов, который поступает сначала в бустер-синхротрон для дальнейшего

ускорения, а потом в накопитель — источник синхротронного излучения. В линейном ускорителе необходимо получить энергию частиц 200 МэВ, 55 сгустков электронов с периодом 5,6 нс, с зарядом в каждом сгустке 0,3 нКл. Длина каждого сгустка — несколько миллиметров.

В линаке электроны быстро набирают скорость, близкую к скорости света, а их траектория корректируется магнитной системой. Уже сформированные в линейном ускорителе сгустки электронов с частотой 1 Гц поступают в бустер-синхротрон. Здесь пучок ускоряется до 3 ГэВ и перепускается в накопитель. В накопителе пучки электронов движутся по круговой орбите, которая формиру-

ется поворотными магнитами, и испускают синхротронное излучение, поступающее пользователям центра: биологам, химикам, геологам, материаловедом и другим специалистам. С его помощью они проводят свои работы, например, определяют элементный состав вещества, изучают свойства новых материалов, исследуют быстротекающие процессы, расшифровывают структуру белков и многое другое.

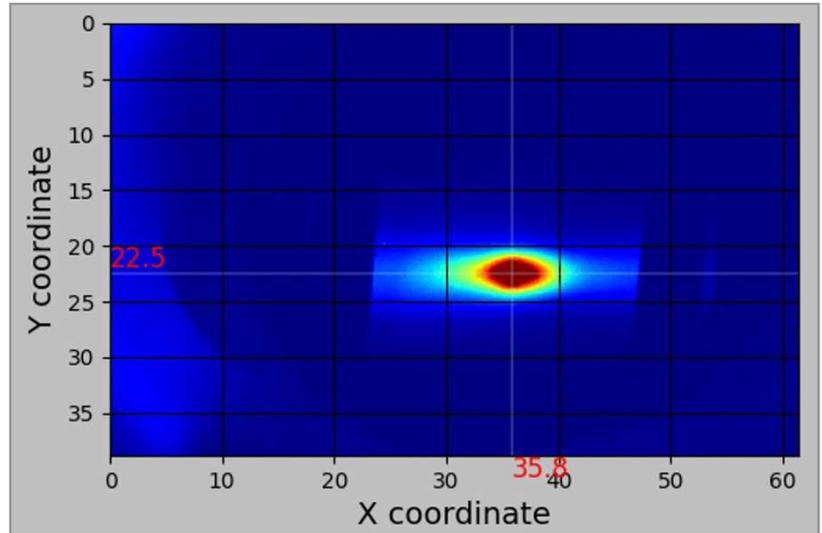
«В настоящее время первая очередь линейного ускорителя смонтирована и запущена. Линак полностью работоспособен, все его элементы в рабочем состоянии, — рассказал заведующий лабораторией ИЯФ кан-

Продолжение на стр. 2

Пучок электронов в линейном ускорителе строящегося комплекса «СКИФ» ускорен до энергии 30 МэВ

Начало на стр. 1

дидат физико-математических наук Алексей Евгеньевич Левичев. — На выходе из первой очереди ускорителя мы продемонстрировали энергию пучка около 30 МэВ при входной СВЧ мощности около 20 МВт, что полностью соответствует нашим расчетам. Также получен проектный заряд 0.3 нКл в каждой сгустке. Далее планируются рутинные измерения параметров пучка, его стабильности, характеристик, связанных с угловым и энергетическим разбросом. Но уже сейчас полученные результаты говорят о том, что все наши расчеты верны, и установка достигнет в дальнейшем своих проектных 200 МэВ».



Пучок в спектрометре в конце ускорителя. Предоставлено А. Е. Левичевым.

Разработана слабопроводящая керамика

В рамках нацпроекта «Наука и университеты» (Федеральный проект «Развитие масштабных научных и научно-технологических проектов по приоритетным исследовательским направлениям») в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН при участии ИЯФ СО РАН разработан новый тип слабо проводящей керамики (СПК) с заданной электропроводностью для снятия статического заряда с внутренних поверхностей вакуумных камер ускорителей. Кроме того, новый материал может быть использован для создания высоковольтных изоляторов в различных областях электротехники.

В современной высоковольтной и ускорительной технике широко используются изолирующие трубчатые вставки. Если на поверхность таких изолирующих вставок попадает небольшой электрический заряд или просто какие-либо посторонние частицы (например, пыль), то распределение электрического поля значительно меняется. Это может приводить к электрическим пробоям и даже разрушению изоляторов.

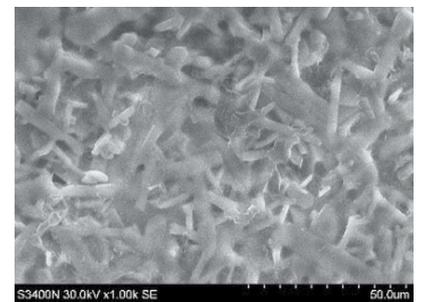
Для борьбы с этим нежелательным явлением широко применяются многосекционные изоляторы, состо-

ящие из чередующихся диэлектрических (обычно, керамических) колец и тонких металлических шайб. Соседние шайбы соединены друг с другом резисторами (сопротивлениями) с малой проводимостью. Это позволяет достигнуть одинаковой величины электрического поля во всем объеме диэлектрика.

Новосибирские ученые разработали и испытали другой подход к решению этой проблемы. Они создали керамику с малой проводимостью. Можно сказать, что в новых изоляторах описанные выше диэлектрические кольца, металлические шайбы и резисторы смешаны. В процессе работы были исследованы физико-механические характеристики керамики на основе соединений, образующихся при высокотемпературной обработке смеси оксидов алюминия и бария с токопроводящими добавками, с целью определения оптимальных составов и выяснения возможностей получения конструкционных композитов. Принципиальной особенностью метода получения керамических материалов в этой работе является использование порошков, подготовленных методом совместной механоактивации

в специально созданном для этого устройстве — высокоэнергетической планетарной мельнице, для получения однородной высокоактивной к спеканию смеси порошков. Химический состав нового материала запатентован.

Новые изоляторы могут быть перспективны, например, в качестве элементов ускорительных трубок в ускорителях заряженных частиц. Кроме того, они могут быть использованы для создания высоковольтных изоляторов в различных областях электротехники.



На фотографии, сделанной на сканирующем электронном микроскопе, показана поверхность одного из образцов новой керамики. Одно деление шкалы в нижней части рисунка — 5 микрон.

*Новости на стр. 1-2
подготовлены пресс-службой ИЯФ*



Научная сессия-2023

2 и 3 марта в ИЯФе прошла научная сессия, посвященная итогам 2022 года. Представители основных научных направлений рассказали о состоянии дел по проектам.

Заместитель директора ИЯФ к.ф.-м.н. **Дмитрий Евгеньевич Беркаев** представил статус инжекционного комплекса ВЭПП-5 и его подсистем. В катодном узле «10А» готовится новая электроника управления накалом и длительностью импульса, которая позволит более оперативно управлять параметрами пучка. Готово техническое задание на новый проект позитронного соленоида. Модернизирован модулятор 3-го клистрона. Получены 10 новых генераторов инфлекторов накопителя-охладителя, проведено их тестирование. Достигнуты успехи в области автоматизации комплекса для взаимодействия с ВЭПП-2000, ВЭПП-3 и ВЭПП-4М. Произошла модернизация системы термостабилизации: она была скорректирована таким образом, чтобы избежать проблем, связанных с нагревом дистиллята. В планах — повышение эффективности, надежности и стабильности работы комплекса.

О статусе комплекса ВЭПП-4М рассказал к.ф.-м.н. **Павел Алексеевич Пимин**. Традиционно большая часть времени уделена работам на КЕДРе и СИ. На КЕДРе ведутся эксперименты по набору статистики для двухфотонной физики на 3,5 ГэВ, набрано $\sim 12,4$ пб⁻¹ из 100-200 пб⁻¹. На лазерном поляриметре произведены калибровки на высокой энергии (3,5 ГэВ), идет отладка программного обеспечения и отработка режимов самого ускорителя; на тушевковском поляриметре произведены калибровки на низкой энергии (1,9 ГэВ). Начата работа по измерению и коррекции оптики для ВЭПП-4 и ВЭПП-3. Разрабатывается программное обеспечение для восстановления и коррекции оптики с помощью матриц обратных откликов (SmartCorrection). Проведены микросейсмические измерения вблизи здания ускорительного комплекса, а также в здании ускорителя. На накопителе установлен быстрый корректор, работа направлена на создание системы стабилизации орбиты для ВЭПП-4М.

Об экспериментах на комплексе ВЭПП-4 с детектором КЕДР рассказал д.ф.-м.н. **Владимир Евгеньевич Блинов**. В 2022 году произошла модернизация инженерных систем (заменены основной и резервный мотор-генераторы), произведена закупка оборудования по обновлению приборной базы с целью перехода на стандарт CAEN. Продолжились работы по новой дрейфовой камере. «Денисовский завод» изготовил золоченую медно-титановую проволоку для использования в качестве экранов между суперслоями. Командой БНЗТ, лабораторией 3-2 ИЯФ и лабораторией Новосибирского государственного университета в рамках коллаборации CMS проведена серия измерений с потоком быстрых нейтронов на литевой мишени. Изучалось, как ведут себя различные материалы (оптоволоконные кабели, преобразователи напряжения для камерной электроники, пластины из карбида бора и др.) под воздействием мощного потока нейтронного излучения. Исследования будут востребованы для модернизации систем крупных установок — Большого адронного коллайдера, Супер с-тау фабрики.

Доклад «Эксперименты с использованием СИ на ВЭПП-3 и ВЭПП-4М» представил к.ф.-м.н. **Константин Владимирович Золотарев**. В данный момент работы ведутся на десяти станциях комплекса ВЭПП-3 и шести станциях в бункере ВЭПП-4М. Реализуемые режимы — от 1,9 ГэВ до 4,5 ГэВ. В 2022 году заключены договоры о сотрудничестве с 41 организацией. Составлен отчет по итогам прошедшего года в рамках гранта «Новые подходы к созданию источников синхротронного излучения». Проведена международная конференция SFR-2022. Организовано участие в разработке пользовательских станций «СКИФ». Активно развивалась технологическая станция СИ, предназначенная для обучения будущих специалистов основам экспериментальной работы в форматах проведения экскурсий и выполнения курсовых и дипломных работ. Один из ярких результатов года — исследование с помощью синхротронной радиографии потока микрочастиц, которые образуются при отрыве от поверхности твердых материалов при прохождении ударных волн.

Юрий Анатольевич Роговский озвучил результаты 2022 года на комплексе ВЭПП-2000. Прошедший сезон ознаменовался большими темпами набора интеграла светимости. Набрано 300 пб⁻¹, что в пять раз превышает статистику за все годы работы коллайдера. Абсолютный рекорд пиковой светимости составил $\sim 9 \times 10^{31}$ см⁻² с⁻¹ на энергии 890 МэВ. Произведена модернизация оборудования для повышения стабильности и надежности работы коллайдера. В 2022 году были получены все источники питания ВЧ-500 для квадрупольной магнитной системы. Запланировано обновление источника мощности для выходного каскада бустера БЭП. Произведена замена импульсных элементов питания для канала перепуска из бустера в коллайдер. Закуплены четыре источника импульсного напряжения для инфлекторов ВЭПП-2000. Проработаны в виде чертежей основные элементы системы дистанционной заливки гелия, которая необходима для повышения полного набранного интеграла за сутки.

Заместитель директора ИЯФ д.ф.-м.н. **Иван Борисович Логашенко** рассказал про работу детектора КМД-3. В 2022 году произошел резкий рост набора статистики детектора. Продемонстрировал не только высокий темп набора, но и длительный, почти полугодовой, период работы ВЭПП-2000 и КМД-3 без существенных сбояв и задержек. Именно это позволило набрать большой интеграл светимости 300 пб⁻¹. Для эффективного завершения физической программы требуется апгрейд всех систем детектора, прежде всего создание Z-камеры, торцевой координатной системы, дрейфовой камеры. И. Б. Логашенко выделил два важных результата года на КМД-3. Первый связан с разработкой пакета кинематической реконструкции — важной методики, предназначенной для анализа данных с детектора КМД-3, и в перспективе для Супер с-тау фабрики. Еще один результат — первое наблюдение и анализ динамики процесса $e^+e^- \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^- \pi^+ \pi^- \pi^+$. В исследовании использована статистика с 2011 по 2021 годы. Анализ данных проведен достаточно быстро, уже подготовлена к публикации научная статья.

Продолжение на стр. 4



Научная сессия-2023

Начало на стр. 3

Д.ф.-м.н. **Михаил Николаевич Ачасов** представил результаты работы детектора СНД. В 2022 году был набран самый большой интеграл светимости — 260 пб^{-1} . Кроме набора данных происходило развитие электроники системы сбора данных (ССД) СНД и велся анализ данных ранее набранной статистики (всего с 2010 по 2021 годы — 355 пб^{-1}). Продолжались работы по обновлению электроники, в частности были установлены и включены в ССД платы Т200 (54 шт.), предназначенные для оцифровки сигналов с проволочек дрейфовой камеры. Эти платы позволяют передавать данные по сети. Также были произведены новые платы DA-NET для чтения битовых данных для регистрации срабатываний аргументов триггера и пропорциональных трубок мюонной системы. В 2023 году платы DA-NET должны быть включены в ССД СНД. Переход на новую электронику увеличивает быстродействие ССД. Основное достижение детектора — измерение сечения рождения пары нейтрон-антинейтрон. Работа «Экспериментальное изучение процесса e^+e^- аннигиляции в пару нейтрон-антинейтрон на коллайдере ВЭПП-2000» была признана ученым советом ИЯФ лучшей за 2022 год по физике частиц.

О развитии проекта «Супер с-тау-фабрика» рассказал к.ф.-м.н. **Александр Юрьевич Барняков**. В конце 2021 года было организовано партнерство (прото-коллорабация) вокруг проекта, куда вошли семь организаций. В 2022 году завершено обновление физической программы исследований на Су-

В статье «Чудо охлаждения», опубликованной в предыдущем номере «Э-И» (№3 за 2023 год), допущена ошибка. В первом абзаце в предложении «Метод электронного охлаждения стал сенсацией в ускорительной физике, когда в 1974 году группа ученых института достигла успеха и охладила электронный пучок, который сжался в тысячу раз» следует читать «протонный пучок». Приносим извинения читателям.

пер с-тау-фабрике. Программа стала более детализированной, в ее разработке приняли участие физики из ИЯФ, НГУ, ФИАН, ВШЭ. Негативным фактором в развитии проекта стало нарушение сотрудничества с рядом европейских партнеров. Однако появились новые каналы финансирования научно-исследовательских работ, в частности через РФЯЦ ВНИИЭФ ГК Росатом, благодаря чему ИЯФом выполнено три договора на сумму около 100 млн рублей. В г. Саров проведена первая летняя научная школа «Супер с-тау фабрика» для молодых ученых, планируется сделать мероприятие ежегодным. Необходимым является публикация физической программы, расширение состава участников партнерства, улучшение финансирования НИР по проекту.

Проект программы развития встречных электрон-позитронных пучков в ИЯФ представил чл.-корр. РАН **Евгений Борисович Левичев**. В настоящее время есть два перспективных пути развития встречных e^+e^- пучков и экспериментов с ними. Один реализован на ВЭПП-2000 (круглые пучки), второй — в SuperKEKB (плоские пучки, или crab waist). По сравнению с круглыми пучками, плоские, пересекающиеся под небольшим углом, обещают дать на один-два порядка большую светимость. Предлагаемая для обсуждения программа предусматривает последовательное и постепенное развитие встречных («крабовых») электрон-позитронных пучков в ИЯФ, имея целью создание в России Супер с-тау фабрики с рекордными параметрами и минимизированными рисками. Самый реалистичный проект — достижение частичного crab waist на ВЭПП-4. Для проверки физических и технических аспектов crab waist встречи потребуются переделка ВЭПП-4М в тестовую установку. Нужно разработать программу развития встречных электрон-позитронных пучков в России и представить правительству для получения финансирования в форме адресной программы.

Алексей Валентинович Петрожицкий рассказал про исследования в ЦКП «Ускорительная масс-спектрометрия НГУ-ННЦ», в состав которой входят



ИЯФ СО РАН, ИАЭТ СО РАН, ИК СО РАН и НГУ. Исследования проводятся на двух установках: ускорительном масс-спектрометре ИЯФ и MICADAS швейцарского производства. В апреле 2022 года завершилось международное кросс-тестирование The Glasgow International Radiocarbon Inter-comparison (GIRI), в рамках которого ЦКП УМС НГУ-ННЦ провел полный цикл измерений 17 разных образцов. Результаты совпали на УМС ИЯФ и MICADAS и в целом хорошо соотносились с мировыми результатами. В лаборатории проводятся работы по дальнейшему повышению производительности и стабильности измерения ^{14}C . Международное кросс-тестирование УМУ УМС ИЯФ в составе совместной лаборатории Golden Valley было выбрано одним из важнейших достижений ИЯФа за 2022 год.

Доклад об экспериментах по генерации излучения на новосибирском ЛСЭ представил к.ф.-м.н. **Олег Александрович Шевченко**. Перспективные работы, которые ведутся в лаборатории — создание нового ондулятора с переменным периодом для 1-го ЛСЭ и работа по получению коротких пикосекундных электронных ступков с большим зарядом. В 2022 году для расширения диапазона генерации 1-го ЛСЭ работа на комплексе велась при пониженной энергии электронного пучка. Оказалось, что при достигнутой энергии 7,7 МэВ можно получить генерацию с существующим электромагнитным ондулятором на длине волны 430 мкм. В результате того, что максимальная энергия была понижена, диапазон работы ЛСЭ колебался от 180



до 400 мкм. Интересный результат заключался в достижении достаточно быстрой перестройки длины волны. Возникла задача, при которой нужно было провести сканирование в широком диапазоне за короткое время (порядка 10 минут). Ее удалось решить путем использования заранее настроенных режимов. Если два режима отличаются незначительно (настроены на одну энергию, имеют близкие токи ондулятора), то можно переключать эти режимы, не выключая пучок.

Заместитель директора ИЯФ к.т.н. **Андрей Георгиевич Штепов** рассказал про экспериментальное производство и научно-конструкторский отдел в 2022 году. Осенью ИЯФ прошел инспекционный аудит на соответствие системы менеджмента качества ISO и подтвердил действие сертификата. Была проведена плановая модернизация оборудования. В числе крупных работ минувшего года — заказы, связанные с инжекционным комплексом и основным кольцом СКИФ, установки для БНЗТ и рядом других крупных проектов. По приоритетным направлениям, таким, как ЦКП СКИФ, ЭП ИЯФ перевыполнило план. По ряду международных проектов, таких как FAIR, наоборот, произошло недовыполнение плана, что связано с приостановкой сотрудничества с западными партнерами. Впервые за много лет на 1 января 2023 года находящихся в производстве заказов оказалось больше, чем было запланировано.

Результаты работы теоретического отдела представил к.ф.-м.н. **Петр Александрович Крачков**. Всего в 2022 году вышло 24 публикации — две книги, 16 статей (11 по госзаданиям и 5 по грантам РФ) и шесть препринтов arXiv. По теории сильных взаимодействий вышло семь публикаций; по методам многопетлевых вычислений и их приложений — шесть; связанных с квантовой электродинамикой — четыре; с космологией и гравитацией — одна. Количество научных сотрудников теоретического отдела уменьшается, в результате чего снижается число публикаций. Однако, благодаря отдельному курсу по квантовой механике в НГУ, в отделе появляются студенты и магистранты.

Ученый секретарь ИЯФ к.ф.-м.н. **Алексей Викторович Резниченко** рассказал про публикационную активность института. Выполнение госзада-

ния оценивается по комплексному баллу публикационной результативности (КБПР). По результатам 2022 год этот плановый показатель составил 565. На 2023 год установлен примерно такой же план. Годовой КБПР по лабораториям — 609, что немного превышает плановые показатели. Традиционно высокие баллы у теоретического отдела, который размещает публикации в высокорейтинговых журналах с малым числом соавторов (формула КБПР это поддерживает), а также 9 и 10 лабораторий. Эта формула подразумевает учет всех публикаций, исходя из их международного рейтинга. В минувшем году некоторые западные базы данных, такие как Web of science и Scopus, приостановили сотрудничество с Россией. Делать выгрузки из этих баз стало затруднительно. Необходимы меры по стимуляции публикационной активности, особенно среди молодых научных сотрудников и аспирантов.

О статусе работ, связанных со сверхпроводящими вигглерами и ондуляторами для ЦКП «СКИФ», рассказал д.т.н. **Виталий Аркадьевич Шкаруба**. Сверхпроводящие вставные устройства будут основными источниками генерации излучения на СКИФе. В докладе представлены параметры сверхпроводящих вигглеров первой очереди СКИФ (один с периодом 48 мм и полем 4,5 Тл и один с периодом 27 мм и полем 2,7 Тл) и ондуляторов (два с периодом 15,6 мм и полем 1,25 Тл и один с периодом 18 мм и полем 1,6 Тл). Все устройства будут изготовлены в 2023 году, запланировано импортозамещение по вакуумным камерам и источникам питания — они будут произведены в ИЯФе. Важной работой является изготовление сверхпроводящих намоток. Для комплекса необходимо изготовить около 3 тыс. катушек, что требует масштабирования производства.

Доклад к.ф.-м.н. **Алексея Евгеньевича Левичева** был посвящен линейным ускорителям. ИЯФ продолжает вести исследования различных фотокатодов. В 2022 году продолжились работы с Институтом автоматики и электрометрии СО РАН, где установлен стенд с ультрафиолетовым лазером. В декабре лаборатория ИЯФ получила собственный лазер и оптический стол, и теперь независимо от других институтов может

ПОЗДРАВЛЯЕМ

Федора Андреевича
ДАРЬИНА



с защитой диссертации
на соискание
ученой степени
кандидата
технических наук!

работать с фотокаатодами. Это позволит освоить технологию СВЧ фотопушки (источника электронов для Супер с-гау фабрики). Разработан источник интенсивных электронных пучков кольцевого типа на основе электронной пушки с термокатодом. «С нуля» создана ускоряющая структура с миллиметровым резонаторами и полностью готова к установке на СКИФ. Было решено начать производство нового клистрона взамен клистрона II, который перестал работать из-за деградации катода. Идет тренировка клистрона III. В ИЯФе установлен стенд инжектора СКИФ.

К.т.н. **Сергей Викторович Синяткин** представил статус работ по созданию оборудования для ускорительного комплекса СКИФ. Транспортный канал-1 (линейный ускоритель — бустер) практически полностью собран («в железе»). Транспортный канал-2 (бустер — накопитель) находится в стадии проработки и изготовления, поскольку запуск канала запланирован на более поздний срок. На данный момент полностью закончили и протестировали основные элементы бустера СКИФ. Также высокий процент выполнения по источникам питания — большинство уже в сборке. По графику на 2022 год большинство работ выполнено.

Заместитель директора ИЯФ д.ф.-м.н. **Петр Андреевич Багрянский** рассказал о «дорожной карте» термоядерной программы и работах ИЯФ в этом направлении. В 2020 году был

Продолжение на стр. 6



Научная сессия-2023

утвержден паспорт комплексной программы «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в РФ на период до 2024 года». В состав программы входит Федеральный проект «Разработка технологий управляемого термоядерного синтеза и инновационных плазменных технологий». В зоне ответственности ИЯФа три направления: экспериментальная верификация эффективных методов удержания плазмы в существующих и перспективных линейных системах; разработка и испытание мощных систем инжекции атомарных пучков для нагрева плазмы и поддержания тока, в том числе стационарных; создание источников атомарных и ионных пучков нового поколения. Эксперименты ведутся на установках ГДМЛ, ГДЛ, ГОЛ-NB, СМОЛА и новой установке КОТ. Начало пути международного движения к термоядерной электростанции было положено Г. И. Будкером на Международной конференции в МАГАТЭ в 1968 году.

К.ф.-м.н. **Елена Ивановна Содаткина** рассказала о работах, которые проводились в 2022 году на установках ГДЛ и КОТ. На установке ГДЛ проводились две больших экспериментальных кампании, первая была посвящена изучению кинетических неустойчивостей горячей плазмы, вторая — увеличению относительного давления плазмы установки. В рамках программы обновления приборной базы института был закуплен новый гиротрон для ГДЛ с мощностью 800 киловатт, на который возложены большие экспериментальные надежды. На установке КОТ проведена оптимизация конструкции плазменной пушки, создающей мишенную плазму; получены параметры стартовой плазмы, требуемые для последующего эффективного поглощения мощности атомарных пучков; Завершен монтаж системы питания атомарных инжекторов и начаты отладочные работы основных систем и узлов системы атомарной инжекции, а также создана и отлажена система управления основными узлами установки, а также система сбора данных.

К.ф.-м.н. **Дмитрий Иванович Сквородин** рассказал о развитии комплекса ГОЛ-3. В 2022 году продолжились

экспериментальные работы на установках ГОЛ-NB и СМОЛА. Основной фокус исследований на ГОЛ-NB был сосредоточен на изучении режимов заполнения и нагрева плазмы в центральной ловушке. Установка пока работает в режиме прямых пробок, в 2023 году планируется переход в многопробочную конфигурацию. На СМОЛЕ проводилось изучение "аномальной столкновительности" (для изучения возможности работы при термоядерных параметрах). Также проводились исследования по взаимодействию мощных пучков с плазмой, взаимодействие плазмы с поверхностью и велись плановые работы по проекту ЛИУ. Продолжились контрактные работы по проекту ИТЭР. Участие России в проекте сохраняется в полном объеме, ИЯФ также стремится выполнить все обязательства и планы.

Результаты, достигнутые командой БНЗТ, представил д.ф.-м.н. **Сергей Юрьевич Таскаев**. В 2022 году китайские ученые вошли в историю благодаря успеху, достигнутому на установке для БНЗТ, которую создал в значительной степени ИЯФ. Китай стал первой в мире страной, которая использовала электростатический ускоритель для внедрения в медицинскую практику. ИЯФ ведет разработку ускорительного источника нейтронов для НМИЦ онкологии им. Н. Н. Блохина, в 2022 году завершилось оформление рабоче-конструкторской документации и были сданы заказы в цех. К концу 2023 года планируется полная сборка источника нейтронов для онкоцентра. В числе важных результатов года — измерение сечения ядерной реакции ${}^7\text{Li}(p,\alpha){}^4\text{He}$. Данные внесены в экспериментальные базы данных IBANDL и Exfog и будут востребованы в термоядерных реакторах с литиевыми стенками. Кроме того, проведено исследование по воздействию лития-6 на раковые клетки лабораторных животных. Исследование проведено впервые в мире и знаменует собой начало эры литий-нейтронозахватной терапии.

К.ф.-м.н. **Игорь Владимирович Шиховцев** рассказал о развитии ионных источников и атомарных инжекторов в ИЯФ. В рамках ФП «Разработка технологий управляемого термоядер-

ного синтеза и инновационных плазменных технологий» создан стенд атомарного инжектора с энергией пучка 15 кэВ, током 150 А и мощностью атомарного пучка 1,7 МВт и ионный источник с мощностью пучка 3,5 МВт и энергией 100 кэВ (мероприятие 1.1.4). Разработаны два ионных источника на основе отрицательных ионов водорода с током пучка 1,5 А и 9 А и энергией 120 кэВ для инжекторов мегаэлектронвольтового диапазона энергии (мероприятие 3.4). Ведется модернизация инжекторного стенда источника отрицательных ионов для ускорителя БНЗТ. Разрабатывается проект ВЧ источника отрицательных ионов с током 15 мА для клинических испытаний.

Чл.-корр. РАН **Юрий Анатольевич Тихонов** рассказал об участии ИЯФ в зарубежных экспериментах по физике элементарных частиц. В 2022 году часть международных связей была прервана. В частности, прекращены контакты ИЯФ с FAIR по проектам PANDA, CBM. Взаимодействие с ЦЕРН по проектам ATLAS, LHCb, CMS продолжается в рамках заключенных ранее договоров. По «чарм-тау физике» взаимодействие продолжается с Китаем (проекты BES-III и STCF). Продлено участие в коллаборации g-2 по измерению аномального магнитного момента мюона в Fermilab и JPARC.

В заключении научной сессии директор института академик **Павел Владимирович Логачев** обратился к сотрудникам с призывом осваивать новые пути решения научных задач. «В последнее время мы всё реже идем в неизведанное. Нужно искать новые области, где мы могли бы использовать предыдущий опыт, чтобы оригинально подходить к решению текущих задач и получать доселе неизвестные эффекты. Это продлит жизнь нашего института. В истории ИЯФа всегда ценились попытки ученых вырваться из привычного круга. И сейчас нам тоже совершенно необходимо выходить из зоны комфорта — хотя бы для того, чтобы у нас появлялись талантливые молодые люди, которые обеспечат нашей организации достойную жизнь в будущем», — сказал П. В. Логачев.

Подготовила Юлия Ключникова



Задача Будкера

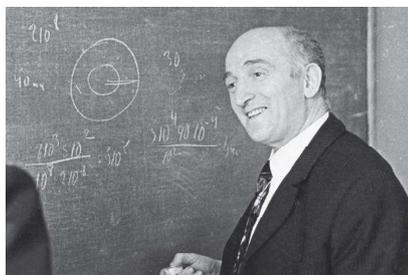
Из выступления Бориса Валериановича Чирикова на семинаре, посвященном 75-летию со дня рождения Г. И. Будкера в мае 1993 г.

В течение многих лет наша небольшая группа (В. В. Вечеславов, Ф. М. Израйлев, Д. Л. Шепелянский и я) занимается исследованием так называемого динамического хаоса. Это удивительное явление позволяет понять природу и механизм статистических законов (таких, как знаменитый закон возрастания энтропии, т.е. беспорядка или хаоса), играющих столь значительную роль в природе.

А началось всё с «простой» задачи Будкера, как мы говорим теперь, а фактически с очень интересных (как всегда с Андреем Михайловичем) обсуждений или, лучше сказать, горячих споров о судьбе заряженных частиц в магнитной ловушке...

В том далеком 1954 году молодой Андрей Будкер выдвинул свой подход к решению проблемы управляемых термоядерных реакций (УТР), решению, казавшемуся тогда таким близким. Вместо того, чтобы удерживать заряженные частицы плазмы вместе с магнитными линиями (как предложили А. Д. Сахаров и И. Е. Тамм), Андрей Михайлович предполагал преградить путь частицам вдоль магнитного поля с помощью, как он шутил, железных пробок. Дело, конечно, не в самих пробках, а в областях повышенного магнитного поля, от которых и отражаются вращающиеся частицы. Простейший вопрос, на который нужно было дать немедленный ответ, чтобы можно было серьезно рассматривать это предложение, состоял в следующем: способна ли такая «ловушка с магнитными пробками» удерживать достаточно долго (миллионы колебаний) хотя бы одну заряженную частицу? В этом и состояла задача Будкера. И хотя на первый взгляд она казалась очень простой, Андрей Михайлович сразу понял или, лучше сказать, интуитивно почувствовал, что теоретическое решение здесь едва ли возможно.

Интуиция Будкера оказалась весьма глубокой: как выяснилось впоследствии, его задача была не просто очень сложной, но и принципиально неразре-



шимой полностью, как и знаменитая задача «трех тел» в небесной механике. В обоих случаях движение системы может стать, при определенных условиях, хаотическим, т.е. весьма запутанным и непредсказуемым, несмотря на обманчивую простоту уравнений движения и отсутствие в системе каких-либо случайных параметров или шума.

Не зная всего этого, Будкер предложил другое решение задачи — изящный эксперимент с трением в магнитном поле, который и был быстро осуществлен С. Н. Родионовым. Эксперимент показал, что электроны распада трения действительно удерживаются в ловушке достаточно долго, а значит предложение Будкера не закрывается, по крайней мере, столь тривиально. Работа пошла.

Однако в эксперименте выяснилось также, что время жизни электрона в ловушке является всё же конечным, хотя и очень большим. Каким-то образом электроны медленно «выползают» из ловушки. В чём дело? Каков механизм такой медленной неустойчивости движения? Андрей Михайлович не предполагал проведение дальнейших исследований этого тонкого явления, справедливо считая, что проблема УТР совсем не в этом. Однако зерна чисто научного интереса были брошены и дали всходы. Впоследствии были проведены и «настоящие» (лабораторные) эксперименты с реальными электронами, магнитными полями, выпрямителями, ускорителями и прочей экспериментальной «кухней». Но вскоре стало ясно, что такие простые системы, как одна частица в магнитном поле (в отличие от плазмы в целом), гораздо

проще и эффективнее исследовать с помощью так называемых численных экспериментов, т.е. путем численного интегрирования уравнений движения на компьютере. Основным преимуществом численного эксперимента является полная информация о состоянии и движении системы, недостижимая в лабораторных экспериментах. Вот тут-то мы и увидели этот удивительный динамический хаос. Частица двигалась так, словно на нее действовали какие-то случайные силы, хотя никаких других сил, кроме простой силы Лоренца, в магнитном поле на самом деле не было. Со времен Больцмана с его гипотезой «молекулярного хаоса» считалось, что подобное нерегулярное движение возможно лишь в очень сложных системах с огромным числом степеней свободы. А здесь — всего лишь одна частица в аксиально симметричном магнитном поле, всего две степени свободы! Открылась какая-то совершенно новая область явлений, и оторвать нас от этих исследований было уже невозможно. Возникло новое, хотя и небольшое, направление работ в нашем институте.

Андрей Михайлович был не в восторге от такого поворота дел, поскольку это направление уходило в сторону от основной тематики ИЯФ. Однако перед лицом нашего энтузиазма он проявил понимание и терпение к исследованиям, которые были во всяком случае не бесполезны для физики. В свое оправдание перед моим Учителем Андреем Михайловичем Будкером могу лишь сказать, что работы эти никогда не отвлекали сколько-нибудь заметных сил и средств ИЯФ, а их результаты время от времени даже использовались при разработках ускорителей и плазменных установок института. Конечно, мы были не единственными и не первыми в мире, и даже в нашей стране, исследователями динамического хаоса. Однако, благодаря задаче Будкера, мы оказались в числе первых и очень немногих в то время физиков, рискнувших заняться такой проблемой.

Полный текст выступления Б. В. Чирикова опубликован в «Э-И» №6 за 1993 г.



Вот еще совсем юный, «чумазый» от строительной пыли, а вот — уже вполне опрятный, утопающий в зелени и цветах. Здесь ели еще совсем крошечные, а здесь — выше пятого этажа! Тут на фасаде красуется знаменитая эмблема, а тут, если приглядеться, можно прочесть надпись «Слава советской науке». В любой год, в любой сезон, ты неизменно узнаваем, родной институт!

Благодарим начальника ОНИО М. В. Кузина за предоставленную фотоподборку.



Адрес редакции: г. Новосибирск,
Пр. ак. Лаврентьева, 11, к. 423.
Редактор Ю. В. Ключникова.
Телефон: (383) 329-49-80
Yu.V.Klyushnikova@inp.nsk.su
Выходит один раз в месяц.

Издается
ученым советом и профкомом
ИЯФ СО РАН.
Отпечатано в типографии
«Техноком-Сибирь»,
г. Новосибирск.

ISSN 2587-6317



9 772587 631007 >

Тираж 500 экз. Бесплатно.