

Годовой отчет Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН
Важнейшие научные результаты за 2000 год

Основной целью Института является проведение фундаментальных и прикладных научных исследований по темам:

- физика высоких энергий;
- развитие метода встречных электрон - позитронных пучков;
- физика плазмы и управляемый термоядерный синтез;
- синхротронное излучение и лазеры на свободных электронах.

Кроме того, Институт разрабатывает и изготавливает промышленные ускорители, некоторые виды медицинской техники и высокотехнологичные элементы научно – исследовательского оборудования для российских и зарубежных лабораторий и научных центров.

Все ведущиеся в Институте работы выполняются в рамках утвержденных планов НИР, государственных программ, грантов отечественных и международных фондов, проектов, финансируемых СО РАН, и договоров со сторонними научными организациями.

ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ:

Эксперименты на ВЭПП2-М:

В 2000 году были завершены продолжавшиеся более 25 лет эксперименты на e^+e^- - коллайдере ВЭПП-2М. Суммарная интегральная светимость на детекторах КМД-2 и СНД составила более 65 обратных пикобарн. Общий объем накопленной информации для 4 миллиардов записанных событий e^+e^- столкновений составляет около 5 Терабайт. Записанные данные хранятся, в основном, на компактных магнитных лентах системы DAT и на дисках высокой плотности. Для обработки информации созданы два UNIX-кластера, включающие в себя до 50 вычислительных машин и распределенных терминалов. Полный анализ данных займет несколько лет.

В настоящее время в зале ВЭПП-2М начаты работы по подготовке к монтажу элементов коллайдера нового поколения ВЭПП-2000.

Основные физические результаты, полученные в 2000 году.

- впервые обнаружены переходы $\rho, \phi \rightarrow 4\pi$ (детектор КМД-2);
- впервые обнаружены переходы $\rho, \omega \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$ (детектор СНД);
- подтверждено наличие структуры в сечении процесса рождения трех π -мезонов в области энергии $2E=1200$ МэВ, обнаруженной в 1999 году. Эта структура может быть связана с новым резонансом из семейства ω -мезонов;
- произведена проверка $e - \mu$ универсальности в распаде ϕ -мезона с точностью порядка 1% (детектор СНД)..

ВЭПП-3 – Работы по ядерной физике.

В 2000 году на накопителе ВЭПП-3 закончен набор статистики в эксперименте по измерению анализирующих способностей реакций упругого и квазиупругого рассеяния электронов на дейтронах. В эксперименте использовался рекордный по интенсивности криогенный струйный источник поляризованных атомов дейтерия как основной элемент поляризованной дейтериевой мишени. Набран богатый статистический материал, превышающий более чем на порядок по объему аналогичный материал, полученный в предыдущих экспериментах на ускорителях ВЭПП-3 и AmPS (Амстердам).

Такие данные позволяют установить полную картину электромагнитной структуры дейтрона. Так, предварительная обработка данных упругого рассеяния уточняет положение дифракционного минимума электрического монополюсного формфактора дейтрона, которое теперь можно принять равным 4.13 ± 0.05 фм⁻¹.

Работы по детектору КЕДР (ускорительный комплекс ВЭПП-4М)

- Произведена сборка детектора в полном объеме (за исключением черенковских счетчиков).
- Успешно проведен запуск сверхпроводящей обмотки детектора КЕДР (диаметр обмотки 3.5 м, длина 3 м). Получено поле 4 кГс.
- На ВЭПП-4М проведены эксперименты по запуску детектора и наблюдению J/Ψ - мезонов.

Аэрогелевые черенковские счетчики

Впервые проведены испытания качества идентификации частиц в черенковском счетчике нового типа. Метод основан на использовании аэрогеля в качестве излучателя фотонов, регистрация фотонов производится с помощью трансформаторов спектра (шифтеров) и фотоумножителей (метод АШИФ). Первые оценки данного метода авторы опубликовали в 1992 году. На основе метода АШИФ разработан проект системы счетчиков детектора КЕДР. Аэрогель с лучшими в мире оптическими параметрами производится в Новосибирске совместно Институтом катализа и ИЯФ.

Испытания счетчиков проведены совместно Институтом ядерных исследований РАН и ИЯФ СО РАН. Испытания показали высокое качество идентификации частиц. Принято решение о производстве счетчиков для детектора КЕДР. По сравнению с методом прямого сбора света на ФЭУ метод АШИФ позволил на порядок уменьшить суммарную площадь фотокатодов ФЭУ.

Рентгеновские детекторы

В рамках контракта осуществлен успешный запуск однокоординатного рентгеновского детектора класса ОД-3 на источнике СИ Spring-8 (Япония). Еще один детектор ОД-3 подготовлен для отправки во Францию. Получены первые результаты с прототипом нового однокоординатного детектора с углом регистрации 120 градусов.

В 2000 году закончена разработка ионизационной камеры – нового детектора для малодозной цифровой рентгенографической установки «Сибирь», используемого теперь вместо применявшейся ранее многопроволочной пропорциональной камеры. Применение нового детектора резко улучшило практически все параметры установки – пространственное разрешение, динамический диапазон, контрастную чувствительность, время сканирования. Существенно повысилась надежность, снизилась себестоимость, упростилась эксплуатация. Ионизационные камеры освоены в производстве Института и на ГНПП «Восток».

Теория:

Трехпетлевые радиационные поправки в нерелятивистских эффективных теориях

Построен и реализован алгоритм вычисления трехпетлевых диаграмм в эффективной теории тяжелого кварка. Его использование позволит улучшить точность теоретических предсказаний для константы лептонного распада В-мезона из решеточного моделирования и правил сумм квантовой хромодинамики.

Вычислены радиационные поправки $\alpha^3 \ln(\alpha)$ к тонкому расщеплению основного состояния позитрония и мюония, а также к аннигиляции пара- и орто-позитрония. Это позволило, в частности, получить наиболее точное значение отношения масс мюона и электрона.

Развитие квазиклассических методов в КЭД при высоких энергиях

В рамках квазиклассического подхода рассмотрено влияние многократного рассеяния реальных и виртуальных заряженных частиц на ряд процессов КЭД при высоких энергиях. Для процессов, изучавшихся ранее (испускание фотона, рождение электрон-позитронных пар) ответы получены с большей точностью, в частности, учтены кулоновские поправки. Влияние среды на аномальный магнитный момент электрона и на амплитуду когерентного рассеяния фотона рассмотрено впервые. Во всех случаях влияние среды приводит к подавлению амплитуд процессов.

Получены выражения для квазиклассических функций Грина (КФГ) уравнений Дирака и Клейна-Гордона с учетом первой поправки в произвольном локализованном электрическом поле. С их помощью найдены волновые функции в приближении, аналогичном приближению Фарри-Зоммерфельда-Мауэ. Особенности использования КФГ и их отличие от полученных в приближении эйконала продемонстрировано на примерах вычисления амплитуд малоуглового рассеяния заряженной частицы и рассеяния фотона вперед.

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ВСТРЕЧНЫХ ПУЧКОВ:

ВЭПП-4М

Летом 2000 г. произведен заход по набору светимости на энергии J/ψ - мезона. Данная работа подтвердила работоспособность всех систем установки после смены квадрупольных линз финального фокуса и реализации нового цикла перемагничивания магнитной системы ВЭПП-4М.

Впервые было проведено изучение поведения пучка в накопителе с включенным продольным полем детектора КЕДР. Измерения велись до величины поля 1.3 кГс и показали, что влияние поля на динамику пучка, даже без дополнительной компенсации, мало. Измеренная величина связи бетатронных колебаний хорошо совпадает с оценками, полученными из модельного представления поля КЕДР.

ВЭПП-5

Форинжектор:

В течение 2000 года проводились работы по сборке и настройке системы группировки электронного пучка, в результате выведена на проектный режим работы система группирователя на основной частоте линейного ускорителя, продолжаютя пусконаладочные работы на системе субгармонической группировки. Закончено формирование модуля системы управления комплексом, собрано два модуля из четырёх необходимых. Произведено за год четыре ускоряющих структуры из 12, необходимых для комплекса, подготовлено производство СВЧ - нагрузок. В результате к концу 2000 года удалось полностью укомплектовать линейный ускоритель электронов на энергию 300 МэВ.

Накопитель-охладитель:

На накопителе-охладителе в 2000 году завершено производство магнитной системы, смонтирована система охлаждения магнитов, проложены трассы питания магнитной системы, смонтирована третья часть источников питания, закончено строительство помещений под источники питания. Начата установка и выставка элементов магнитной системы.

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ И УПРАВЛЯЕМЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ:

Эксперименты на установке ГДЛ

Продолжен цикл экспериментов с инжекцией мощных атомарных дейтериевых пучков, в которых наблюдается выход термоядерных нейтронов Д-Д реакции. В экспериментах наблюдалось смещение положения максимумов нейтронного выхода из-за искажения магнитного поля диамагнитными токами в плазме. Этот результат свидетельствует о том, что скорости торможения и углового рассеяния быстрых ионов в плазме высокого ($\beta \approx 30\%$) давления близки к классическим, определяемым парными кулоновскими столкновениями. Полная интенсивность нейтронного потока в максимуме составляет $\sim 10^{10}$ н/сек.

С помощью приосевого поддува газа удалось получить мишенную плазму с малым поперечным размером ~ 4 см, оторванную от лимитеров. Предварительные эксперименты показали, что изменение радиального профиля электрического потенциала в этих условиях (за счет изменения потенциалов лимитеров) приводит в определенных условиях к улучшению устойчивости периферийной плазмы и соответствующему снижению поперечных потерь. Плотность плазмы удается поддерживать постоянной в течении всего импульса инжекции. Этот результат крайне важен для оптимизации рабочих режимов в будущем источнике нейтронов на основе ГДЛ.

Установка ГОЛ-3-II

На установке ГОЛ-3-II завершен важный этап работ - преобразование установки в полноценную многопробочную ловушку. В такой ловушке горячая плазма удерживается в соленоиде с гофрированным (переменным по продольной координате) магнитным полем. Получены первые физические результаты по пучковому нагреву и удержанию плотной плазмы в многопробочной системе.

Для этого магнитоплазменная система и силовое питание установки были перестроены так, что вблизи торцов 12-метрового соленоида с полем до 5 Тл было сформировано два участка с гофрированным полем ($H_{\max}/H_{\min}=1.5$, по 10 элементов гофрировки длиной 22 см каждый). В результате перехода к многопробочной системе энергетическое время жизни горячей плазмы улучшилось более чем на порядок по сравнению с тем, которое было в первоначальном варианте установки ГОЛ-3-II.

Амбиполярная ловушка АМБАЛ-М

На полностью аксиально-симметричной амбиполярной ловушке АМБАЛ-М в 2000 г. начат эксперимент по получению и исследованию плотной горячей плазмы в длинном соленоиде. Для проведения эксперимента готовая часть центрального соленоида состыкована с имеющейся концевой системой. Создание горячей плазмы в соленоиде производится турбулентной плазменной струей, генерируемой источником плазмы, расположенным в запробочной области. Термоизоляция плазмы соленоида поддерживается за счет создания электронного термобарьера во входной пробке.

В результате начальных экспериментов в центральном соленоиде получена МГД - устойчивая плазма длиной 6 м, диаметром ~ 30 см, плотностью $\sim 5 \cdot 10^{12}$ см⁻³, с энергией ионов ~ 200 эВ, температурой электронов ~ 60 эВ.

Установка ГОЛ-М

Исследование сильной ленгмюровской турбулентности в магнитоактивной немаксвелловской плазме

1. Методом коллективного лазерного рассеяния экспериментально исследовано дисперсионное соотношение для длинноволновых ионно-звуковых колебаний. Обнаружено снижение частоты ионного звука во время возбуждения сильной ленгмюровской турбулентности в магнитоактивной плазме. Этот результат может быть объяснён вкладом высокочастотного давления ленгмюровских колебаний в баланс сил, определяющих низкочастотные колебания.
2. Другим важным проявлением давления высокочастотных колебаний может служить известный эффект волнового коллапса. При возбуждении в плазме сильной ленгмюровской турбулентности удалось зарегистрировать динамические провалы в электронной плотности плазмы. В этих экспериментах использовался метод некогерентного томсоновского рассеяния излучения лазера на неодимовом стекле; кроме того, ток электронного пучка, возбуждающего турбулентность, был увеличен в 4-6 раз по сравнению с предыдущими экспериментами.

ЭЛМИ

_____ На установке ЭЛМИ проведена серия экспериментальных исследований по генерации мощных импульсов 4-х миллиметрового излучения в лазере на основе ленточного пучка (1 МэВ / 2кА /5 нс / $S_b=0.4 \times 12$ см). Оптимизация длины планарного резонатора с двумерными брэгговскими отражателями в соответствии с теоретическими предсказаниями позволила поднять электронный КПД в два раза, и он достиг 10%. Мощность излучения была масштаба 100 МВт, а длительность импульса лимитировалась СВЧ-пробоем на уровне 100 нс. Экспериментальная зависимость мощности излучения от величины ондуляторного поля имеет резко выраженный максимум, величина и положение которого хорошо соответствует предсказаниям теории.

Теоретические исследования проводились совместно с сотрудниками ИПФ РАН (г. Н-Новгород). Было показано, что замена на выходе резонатора двумерных брэгговских решеток на одномерные дает возможность подавить СВЧ-пробой и существенно поднять генерируемую мощность. Выдвинута концепция многократного повышения выходной мощности за счет перевода лазера в режим усилителя и путем создания многоканальной синфазной структуры.

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ЛАЗЕРЫ НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

Разработаны и созданы уникальные магнитные системы для генерации излучения (рентгеновского и ультрафиолетового) с управляемой поляризацией. Такие системы (т. н. эллиптические вигглеры и спиральные ондуляторы) устанавливаются на электронные накопители и используются при исследовании зависимости оптических свойств образцов (например, ферромагнетиков) от поляризации излучения.

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ:

Промышленные ускорители

Закончена разработка и начато производство мощных электронных ускорителей серии ИЛУ с энергией до 5 МэВ и мощностью до 50 Квт. Подписан контракт на поставку первых 6 ускорителей.

Отработана технология облучения высоковольтных диодов для улучшения их технических характеристик, в результате достигнуты параметры, необходимые для создания приборов ночного видения нового поколения. Совместно с НППЗ производится выпуск этих диодов.

Поставлено в Корею три ускорителя электронов серии ЭЛВ, в том числе два мощностью по 100 кВт для кабельного завода "LG Cable". Поставлен ускоритель в Китай.