

**Важнейшие достижения
Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН
за 2006 год.**

1.7. Ядерная физика

**1.7.1 Физика элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий
(Координатор академик А.Н. Скринский)**

Эксперименты с детектором КЕДР на комплексе ВЭПП-4 в 2006 году

Основной целью эксперимента являлось точное измерение массы тау-лептона. Такое измерение, при известных значениях времени жизни тау-лептона и вероятности его распада на электрон, нейтрино и антинейтрино, позволяет проверить гипотезу лептонной универсальности, одного из основных постулатов теории электрослабого взаимодействия Вайнберга – Салама. К настоящему времени масса тау-лептона была измерена с нужной точностью лишь в одном эксперименте с детектором BES (Институт физики высоких энергий, Пекин). Объявленная авторами точность равна ± 0.3 МэВ, хотя по этому поводу есть ряд вопросов. Измеренная детектором КЕДР зависимость сечения рождения тау-лептона вблизи порога показана на Рис. 1.

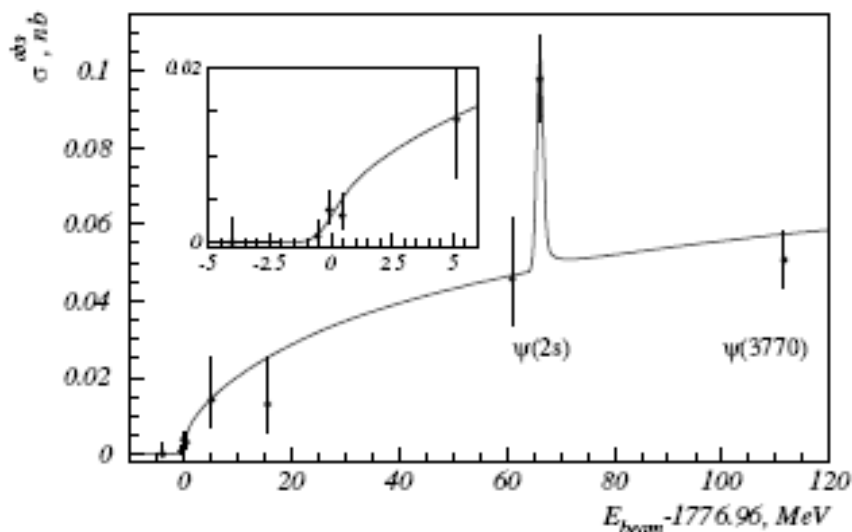


Рис. 1

Полученная на набранной статистике точность измерения массы равна т.н. среднемировой и превышает точности, полученные в измерениях как с детектором BES, так и с появившемся в 2006 году результатом детектора BELLE (Центр физики высоких энергий, Цукуба, Япония).

Результаты с детекторов КМД-2 и СНД

Продолжался анализ физических данных детекторов СНД и КМД, полученных в экспериментах на коллайдере ВЭПП-2М. Самым важным результатом является

измерение сечение процесса $e+e \rightarrow \pi^+, \pi^-$, которое дает максимальный вклад в адронную поляризацию вакуума, которая, в свою очередь, определяет расчетную точность аномального магнитного момента (АММ) μ_0 – мезона. Новые данные СНД и КМД докладывались на международных конференциях и вызвали всеобщий интерес, поскольку являются важным шагом в проверке Стандартной модели.

Полученные данные важны также для продолжения научной программы на новом коллайдере ВЭПП-2000, находящемся сейчас в режиме физического запуска.

В течение 2006 года успешно продолжались работы по изготовлению и тестированию систем нового детектора КМД-3 и модернизированного детектора СНД. Так, в рамках программы испытаний сверхпроводящего соленоида детектора КМД-3 было получено магнитное поле напряженностью 0,15 Тл. В настоящее время соленоид полностью собран для стендовых испытаний вместе с системами ввода магнитного поля и криогенного обеспечения. До конца года будут проведены его испытания с рабочим магнитным полем. На рисунке 2 показан сверхпроводящий соленоид в сборе с криогенной системой.



Рисунок 2. Сверхпроводящий соленоид детектора КМД-3 с криогенной системой.

Система Рентгеновского Контроля (СРК) «Сибскан» для досмотра людей.

Продолжались работы по улучшению эксплуатационных характеристик СРК «Сибскан» для досмотра авиапассажиров. С октября 2005 года две серийные установки работают в штатном режиме в аэропорту Домодедово. В 2006 году в таком же режиме работают две установки в аэропорту Пулково и одна – в Ханты-Мансийске. Ведется подготовка к установке «Сибскана» в аэропорту Толмачево.



Рис.3 СРК в а/п Ханты-Мансийска

1.7.2 Фундаментальные проблемы физики атомного ядра (Координатор - академик Л.М. Барков)

В экспериментах по исследованию электромагнитной структуры дейтона с помощью рассеяния электронов на дейтериевой мишени (накопитель ВЭПП-3, ИЯФ СО РАН) используется разработанная в Институте поляризованная мишень, базирующаяся на источнике поляризованных атомов дейтерия с рекордной интенсивностью $8.7 \cdot 10^{16}$ ат/сек. В 2006 году закончена обработка эксперимента по исследованию спиновых компонент ядерных сил, проявляющихся в реакции фотодезинтеграции поляризованного дейтрона. Новые измерения спиновых переменных в реакции фотодезинтеграции поляризованного дейтрона кардинально улучшили качество и расширили кинематическую область предыдущих измерений этих величин, что имеет большое значение для понимания природы нецентральных ядерных сил, зависящих от ориентации спинов протона и нейтрона относительно оси, соединяющей нуклоны.

Закончены все подготовительные работы для многообещающего эксперимента по измерению отношения дифференциальных сечений электрон-протонного и позитрон-протонного рассеяния, с помощью которого можно определить вклад двух-фотонного обмена в процесс упругого электрон-протонного рассеяния

1.7.3 Физика и техника ускорителей заряженных частиц (Координатор - член-корреспондент РАН В.В. Пархомчук)

Электрон – позитронный коллайдер ВЭПП- 2000

Начиная с 2000 года, в ИЯФ СО РАН ведется работа по строительству электрон-позитронного накопителя ВЭПП-2000 с энергией в системе центра масс до 2 ГэВ. Накопитель сооружается вместо успешно проработавшего в течение 25 лет коллайдера ВЭПП-2М с максимально возможным использованием всей

инфраструктуры комплекса. В 2006 году строительство было завершено, и сейчас комплекс ВЭПП-2000 находится в стадии физического пуска.

Инжекционный комплекс ВЭПП-5.

Инжекционный комплекс ВЭПП-5 является мощным современным источником интенсивных пучков электронов и позитронов на энергии 500 МэВ, который обеспечит потребности всех установок на встречных электрон-позитронных пучках в ИЯФ СО РАН на следующие 10 лет. Комплекс состоит из линейного ускорителя электронов на энергию 300 МэВ, линейного ускорителя позитронов на энергию 500 МэВ и накопителя-охлаждителя. Наиболее сложные и определяющие части этого комплекса уже испытаны на проектных параметрах, так, например, система производства позитронов показала рекордную эффективность.

В 2006 году был завершён монтаж и наладка системы диагностики пучка накопителя-охлаждителя. Введены в опытную эксплуатацию все системы накопителя-охлаждителя, включая систему управления. Кольцо подготовлено к приёму пучка.

В текущем году была произведена четвертая (последняя) ускоряющая структура третьего ускоряющего модуля форинжектора ВЭПП-5. Мощные СВЧ нагрузки находятся в производстве. Изготовленные части третьего модуля уже смонтированы в зале форинжектора.



Рисунок 4. Фотография линейного ускорителя позитронов.

Проведены испытания системы умножения СВЧ мощности 3-го ускоряющего модуля. Завершен монтаж и наладка магнитной и вакуумной систем линейного ускорителя позитронов. По завершению изготовления СВЧ нагрузок будет возможно ускорение электронов в третьем ускоряющем модуле и их последующая инжекция в накопитель-охлаждитель на проектной энергии величиной 500 МэВ.

Новое поколение установок электронного охлаждения

Для обеспечения высокой светимости Большого Адронного Коллайдера (CERN) в ионной моде (Pb×Pb) в накопителе LEIR в 2005 году была установлена система электронного охлаждения, разработанная и созданная в ИЯФ СО РАН. Основной работой в 2006 году был запуск и испытания с ионными пучками этого электронного охладителя. **В мае 2006** были произведены испытания охлаждения ионов свинца. Полученная скорость накопления ионов свинца оказалась в несколько раз выше заказанного значения и заведомо обеспечит потребности самого большого в мире коллайдера LHC в высококачественных ионных пучках.



Рисунок 5 Установка электронного охлаждения после успешной проверки в накопительном кольце LEIR.

Ускорительный Масс Спектрометр AMS для измерения космогенных изотопов.

По заказу Сибирского Отделения в ИЯФ СО РАН создается первый в России комплекс для сверхчувствительной масс-спектрометрии изотопов углерода. Комплекс предназначен для Центра коллективного пользования, обеспечивающего потребности институтов СО РАН в радиоуглеродных датировках образцов (археология, геология, палеонтология и др.). В 2006 году начались первые опыты по измерению состава образцов. Для первых испытаний был выбран образец металлургического кремния. Этот образец содержит различные примеси в малых количествах, что удобно для настройки детектора. Образец был помещен в распылительный источник, и выходящий пучок отрицательных ионов анализировался как на входе AMS, так и после прохождения AMS. На низко энергичном входном пучке наблюдалось большое содержание молекулярных ионов Si_nH_m , которые мешали увидеть малые примеси. Но после ускорения и обдирки отрицательных ионов в перезарядной мишени удалось увидеть большое количество примесей на уровне сигналов детектора на 5 порядков меньше сигнала от основной компоненты Si_{28} . Измеренные соотношения между изотопами в примесях были близкими к натуральным значениям, что указывает на хорошее разрешение прибора.



Рис. 6 Ускорительный масс-спектрометр

Промышленные ускорители электронов

В 2006 году на промышленные предприятия России (Подольск-кабель и Роскат в Нефтегорске Самарской обл.), КНР, Республики Корея, Индии и Малайзии поставлены 8 ускорителей типа ЭЛВ, из которых 5 уже смонтированы и сданы в эксплуатацию. Мощный (400 кВт) ускоритель электронов ЭЛВ-12 для работы по очистке промышленных стоков красильного центра в г. Тэгу (Корея), сданный заказчику в конце 2005 года, успешно работает в штатном эксплуатационном режиме.



Рис. 7 Зал очистки стоков. Сверху – три выходных раструба ЭЛВ-12,

Интенсивно ведется разработка и создание нового ускорителя электронов типа ИЛУ с энергией 5 МэВ и мощностью пучка 300 кВт. для промышленного использования

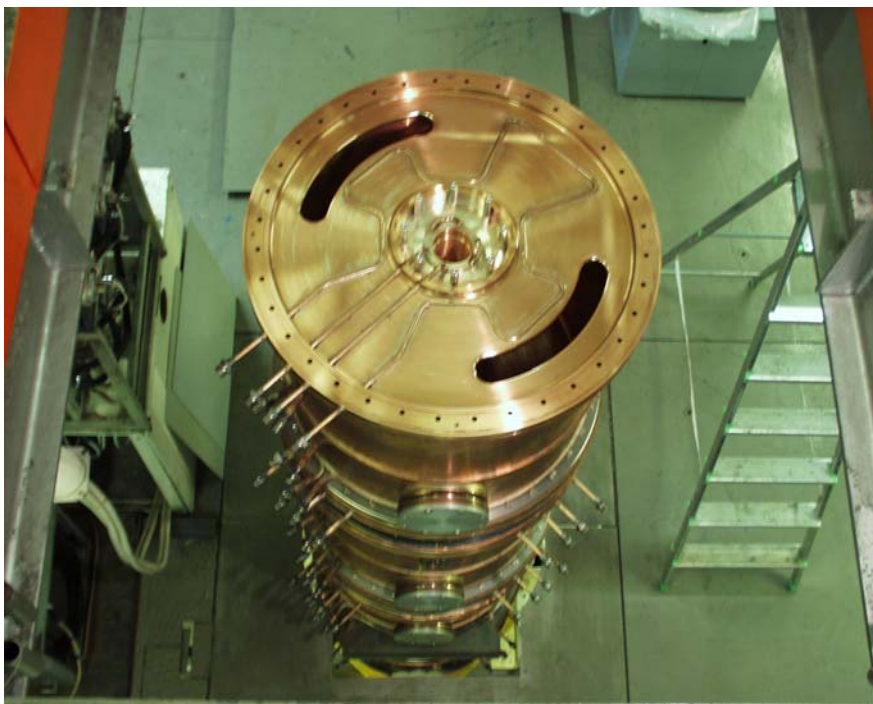


Рис. 8 Ускоряющая структура прототипа ускорителя

Протонный ускоритель – тандем для бор-нейтронзахватной терапии рака.

Начаты пуско-наладочные работы на первой очереди ускорителя – тандема с энергией протонов до 2 МэВ. Проведены первые успешные эксперименты по проводке пучка отрицательных ионов водорода через ускорительный тракт, его конверсии в протоны и их последующему ускорению до энергии 1,8 МэВ.

1.7.4 Создание интенсивных источников синхротронного излучения и других ускорителей для исследований в различных областях науки, в технологиях, охране окружающей среды и медицине. (Координатор – академик Г.Н. Кулипанов)

В 1981 году на базе лабораторий ИЯФ СО РАН и имеющихся накопителей электронов/позитронов – источников синхротронного излучения (СИ) был создан Сибирский Центр синхротронного излучения. В связи с запуском мощного лазера на свободных электронах (ЛСЭ) и появлением экспериментальных станций терагерцового излучения (ТИ) с 2005 года название Центра было расширено, и теперь он называется Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения. В Центре действует 12 экспериментальных станций СИ и 4 станции ТИ. В процессе создания находятся еще 2 новых станции СИ и 2 станции ТИ. Имеющиеся возможности источников СИ и ТИ, а также экспериментальных станций с рядом отработанных методик исследований позволяют выполнять широкий круг фундаментальных и прикладных работ по пяти приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ.

В 2005-2006 годах на исследования с пучками СИ было выделено более 4400 часов пучкового времени, и более 600 часов было выделено на исследования с пучками ТИ. Услугами Центра воспользовалось 59 организаций в рамках более 60 программ, проектов, грантов, договоров о научно-техническом сотрудничестве, тематических планов бюджетных организаций. По результатам выполненных работ опубликовано более 200 научных статей, тезисов, препринтов. Аттестован ряд методик выполнения измерений. На 128 млн. руб. пополнен парк научного оборудования Центра. Проведены Первое рабочее совещание "Генерация и применение терагерцового излучения", российско-британский семинар молодых ученых "Терагерцевое излучение: наука и технологии", XVI Международная конференция по использованию синхротронного излучения СИ-2006.

Разработана концепция развития Центра на 2005-2010 годы. Одними из ключевых элементов концепции являются разработка и создание специализированного компактного источника СИ с использованием сверхпроводящих магнитов, а также второй очереди ЛСЭ как мощного генератора терагерцового излучения.

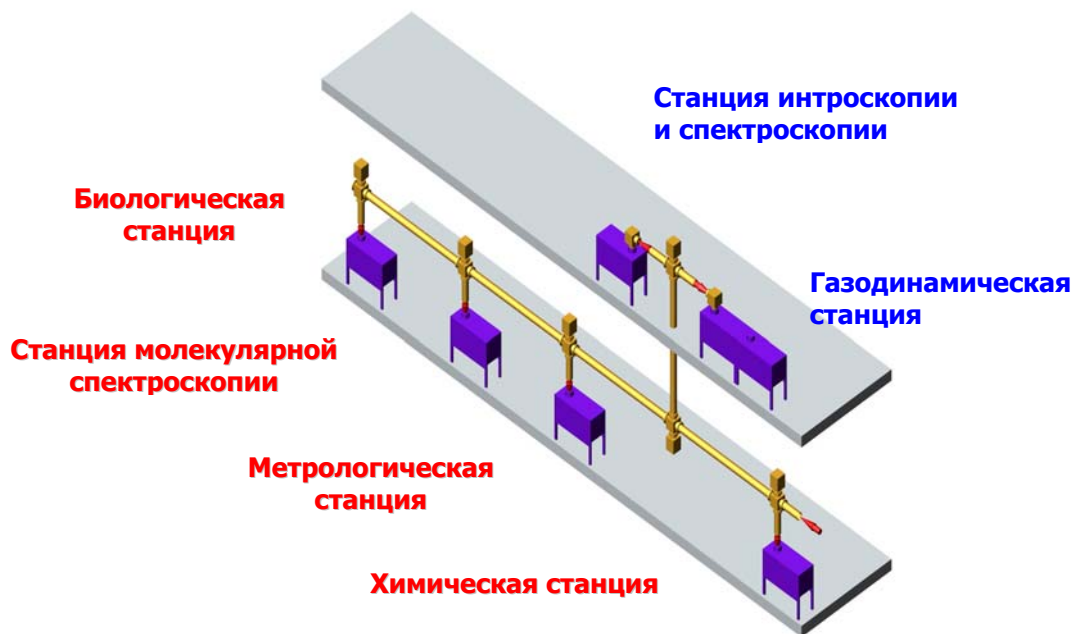


Рис. 9 Экспериментальные станции на пучках терагерцового излучения (внизу -4 работающих и сверху - 2 создаваемые)

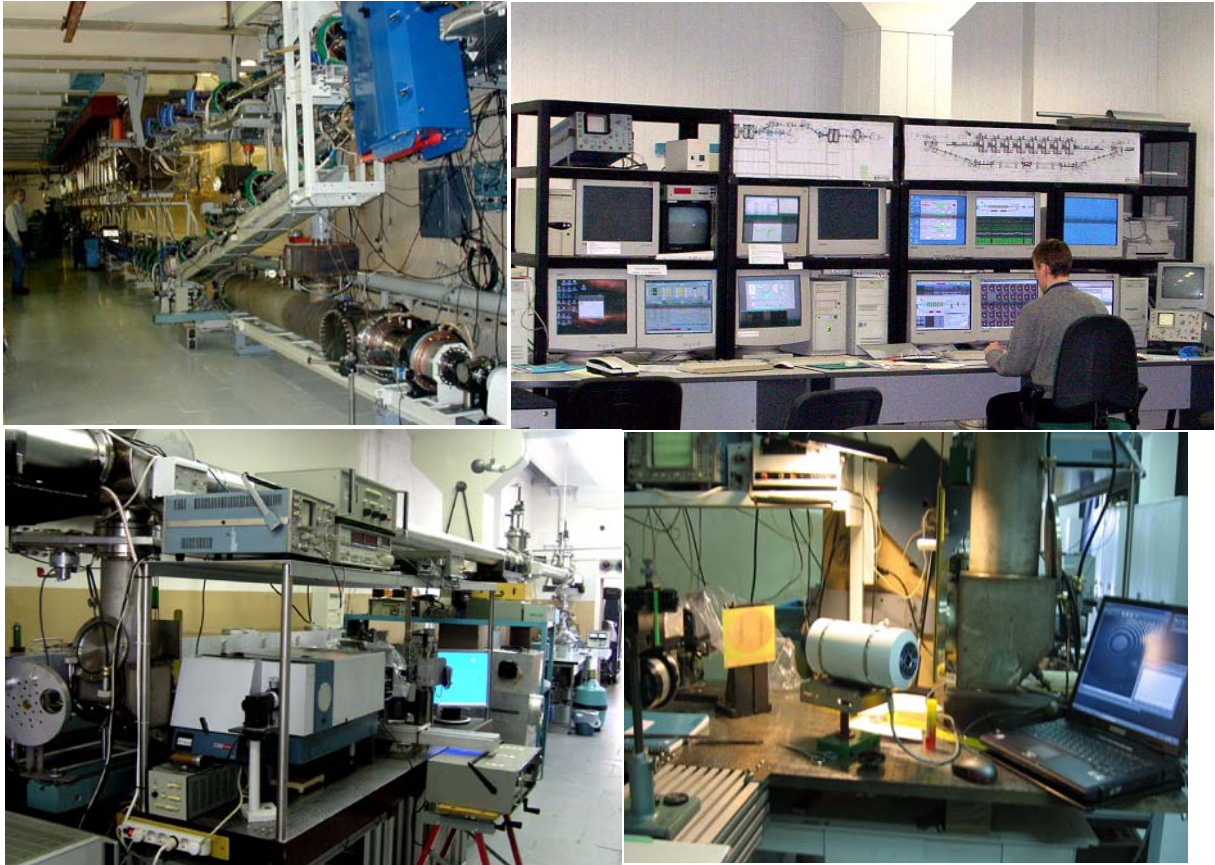


Рис. 10 Новосибирский терагерцовый лазер на свободных электронах и экспериментальные станции

В 2006 г. работы на пучках СИ были сосредоточены на накопителе ВЭПП-3. Для проведения работ на 11 экспериментальных станциях было выделено 2229 часов рабочего времени накопителя ВЭПП-3. Еще одна станция обеспечивала стабилизацию положения пучков СИ на всех действующих станциях. Две новых экспериментальных станции находилось в процессе создания – одна на накопителе ВЭПП-3, другая – на накопителе ВЭПП-4М. В проведении фундаментальных и прикладных исследований на пучках СИ в 2006 году приняли участие 36 российских (из них: 22 института СО РАН и СО РАМН, 1 институт УрО РАН, 7 институтов РАН, 4 отраслевых института, 2 ВУЗа) и 10 зарубежных организаций в рамках более 60 программ, проектов, грантов, договоров о научно-техническом сотрудничестве, тематических планов бюджетных организаций. Проведившиеся работы покрывали широкий спектр тематик по шести приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ. Выполнена аттестация 4 методик выполнения измерений и сертифицирована 1 станция.

Организованы и проведены традиционная XVI Международная конференция по использованию синхротронного излучения СИ-2006 и конференция студентов и аспирантов Центра. По результатам выполненных исследований опубликована 181 работа.

Рентгеновская микроскопия и микротомография

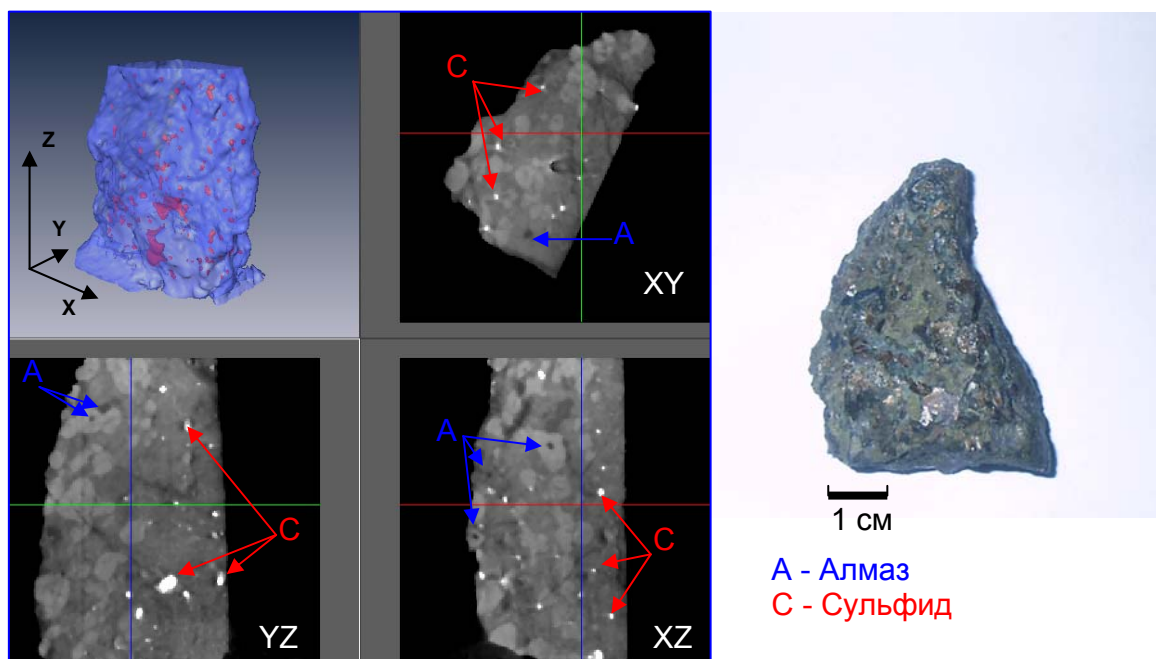


Рис. 11 Исследование алмазоносных ксенолитов эклогитов из кимберлитовой трубки Удачная (Якутия) с помощью метода рентгеновской компьютерной томографии.

1.5. Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез

1.5.1. Физика высокотемпературной термоядерной плазмы.

(Координатор академик Э.П. Кругляков)

Работы на установке ГОЛ-3

В 2006 году на многопробочной ловушке ГОЛ-3 была проведена модернизация системы транспортировки и сжатия греющего мощного электронного пучка (энергия ~ 1 МэВ), что позволило увеличить удельное энергосодержание плазмы и перейти к систематическим экспериментам по исследованию удержания в ловушке плазмы с термоядерными параметрами. В этих экспериментах получена электронная температура 2-4 КэВ, ионная температура достигала величины 2 КэВ. Измерена зависимость энергетического времени жизни плазмы в многопробочной ловушке от плотности. Эксперименты проведены вплоть до плотности плазмы $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Показано, что абсолютное значение энергетического времени жизни плазмы (~ 1 мс) соответствует теоретическому для условий эксперимента на многопробочной ловушке ГОЛ-3. В то же время обнаружено, что при плотности плазмы ниже $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ время удержания существенно превышает предсказываемое классической теорией значение.

Для корректного сравнения с экспериментом было проведено уточнение и развитие теории продольного удержания плазмы в гофрированном магнитном поле. Сравнение теории с экспериментами на многопробочной ловушке ГОЛ-3 позволило сделать вывод, что эффективное сечение рассеяния ионов турбулентными колебаниями σ_{eff} , по крайней мере, в 30 раз больше, чем классическое сечение σ кулоновских столкновений. Этот факт является благоприятным с точки зрения перспектив

многопробочной ловушки как термоядерного реактора.

На установке ГДЛ экспериментально показано, что устойчивое удержание плазмы реализуется при наличии перепада радиального электрического потенциала в плазме даже при выключении внешних МГД стабилизаторов. Увеличение времени удержания плазмы наблюдалось при создании радиальных электрических полей в диапазоне 15–40 В/см, которые вызывали сдвиговое течение слоев плазмы возле границы лимитера (кривая А на Рис.1). Время жизни в этом режиме составляло 1.63мс, что соответствует газодинамическим вытеканию плазмы через пробки. Режим удержания, в котором все радиальные электроды были заземлены (кривая В), характеризовался как неустойчивый с малым временем удержания плазмы (0.63мс) по сравнению со временем газодинамического истечения плазмы. Также показано, что простой контакт плазмы с радиальными электродами существенен для устойчивости в ГДЛ, но полностью ее не обеспечивает.

С помощью специального комбинированного зонда проведены измерения поперечного потока плазмы, позволившие заключить, что потери частиц поперек магнитного поля пренебрежимо малы по сравнению с продольными потерями и не играют роли в режимах с дифференциальным вращением.

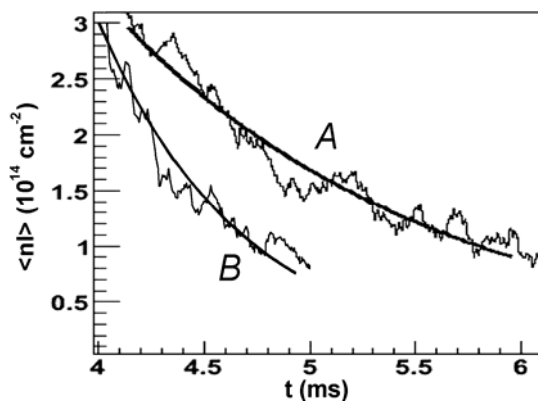


Рис.12. Временная зависимость линейной плотности плазмы после отключения плазменного генератора и системы атомарной инжекции.